

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

СЫЧЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЙ МОНТАЖ
БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ
В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

Специальность 05.23.08 – «Технология и организация строительства»

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант: д-р техн. наук, профессор,
Ю.Н. Казаков

Санкт-Петербург – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
Глава 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ	15
1.1. Обзор современного состояния технологий быстровозводимых полносборных зданий в условиях Крайнего Севера.....	15
1.2. Классификация строительно-конструктивных систем с учетом быстровозводимости объектов	24
1.3. Принципы высокотехнологичного монтажа многоуровневых зданий в условиях Крайнего Севера.....	32
1.4. Многофакторный анализ оценки значимости факторов высокотехнологичного возведения многоуровневых зданий в условиях Крайнего Севера.....	41
1.5. Концептуальные решения модернизации возведения индустриальных энергоэффективных полносборных зданий в условиях Крайнего Севера...	48
1.6. Основные принципы проектирования оснований фундаментов полносборных зданий на вечномерзлых грунтах	54
Выводы по главе 1.....	58
Глава 2. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОТЕХНОЛО- ГИЧНОГО МОНТАЖА БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ТРАНСФОРМИРУЕ- МЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА.....	61
2.1. Повышение уровня индустриализации и системы управления качеством модульного строительства.....	61
2.2. Метод многоступенчатого анализа поливариантного проектирования высокотехнологичного монтажа зданий из трансформируемых модулей заводской готовности.....	69
2.3. Метод выбора высокотехнологичных и энергоэффективных схем монтажа полносборных зданий в условиях Крайнего Севера.....	77
2.4. Метод сравнительной оценки дифференцированного высокотехноло- гичного монтажа зданий из модульных систем с учетом корреляционной	

связи технико-экономических и технологических параметров.....	82
2.5. Структурно-функциональное моделирование многоуровневых и многокритериальных связей прогнозных высокотехнологичных процессов скоростного возведения полносборных зданий	88
2.6. Теоретико-игровой подход к проектированию скоростного высокотехнологичного монтажа зданий в условиях неопределенности.....	99
2.7. Обратный многофакторный анализ динамичной высокотехнологичной системы монтажа укрупненных трансформируемых матриц повышенной заводской готовности в условиях Крайнего Севера	103
2.8. Квалификационно-матричная система ранжирования высокотехнологичных строительных систем с учетом близости к рациональному варианту инженерно-технологических решений	108
2.8.1. Исследование аддитивных факторов, совершенствования технологии скоростного возведения полносборных зданий в условиях Крайнего Севера.....	108
2.8.2. Выбор рационального варианта монтажного элемента высокотехнологичной строительной системы.....	114
2.8.3. Выбор рациональной технологии скоростного возведения полносборных зданий в условиях полной определенности	117
2.8.4. Выбор рациональных энерго-ресурсосберегающих режимов высокотехнологичного монтажа полносборных зданий из модулей...	121
Выводы по главе 2.....	136
Глава 3. ТРАНСПОРТНО-МОНТАЖНЫЙ ПРОЦЕСС И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СБОРКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА.....	140
3.1. Средства и методы обеспечения точности высокотехнологичного монтажа зданий из модулей повышенной заводской готовности.....	140
3.2. Комплектно-блочный монтаж зданий из высокотехнологичных модулей и систем повышенной заводской готовности.....	155
3.3. Системно-функциональное моделирование энергоэффективной техно-	

логии монтажа и выверки зданий из высокотехнологичных модулей	159
3.4. Детерминированный факторный анализ дефектов монтажа и эксплуатации модульных и полносборных зданий.....	163
3.5. Целевая (ориентированная) методика формирования эффективной транспортно-технологической системы комплектно-блочного строительства в условиях Крайнего Севера, и территорий приравненных к нему...	178
Выводы по главе 3.....	202
Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО МОНТАЖА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЛНОСБОРНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА.....	205
4.1. Обоснование скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем....	205
4.2. Универсальная высокотехнологичная строительная система (УВСС) скоростного возведения зданий в условиях Крайнего Севера.....	211
4.3. Способ интенсивного скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем....	222
4.4. Способ автоматизированного скоростного возведения в условиях Севера многоцелевых полносборных зданий из УВСС.....	227
4.5. Способ роботизированного скоростного возведения многоцелевых полносборных зданий в условиях Крайнего Севера из систем УВСС.....	231
4.6. Структурно-функциональная схема роботизации скоростного монтажа полносборных зданий из модулей УВСС.....	255
4.7. Способ интерактивного монтажа полносборных зданий в условиях Крайнего Севера из УВСС.....	261
4.8. Функциональные аспекты высокотехнологичного интерактивного монтажа полносборных зданий.....	268
Выводы по главе 4.....	276
Глава 5. АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО МОНТАЖА БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА.....	279

5.1. Исследования по нормативно-технологическому обеспечению процесса монтажа быстровозводимых модульных зданий.....	279
5.2. Технологичность скоростного монтажа полносборных зданий из строительной системы УВСС.....	287
5.3. Внедрение технологии возведения полносборных зданий в практику строительства в условиях Крайнего Севера.....	299
5.4. Практика применения интерактивного монтажа при скоростной высокотехнологичной сборке зданий.....	305
5.5. Оценка эффективности скоростного возведения зданий при обратном факторном анализе в условиях Крайнего Севера из высокотехнологичных строительных систем.....	310
5.6. Практические рекомендации повышения эффективности скоростного возведения зданий из высокотехнологичных строительных систем.....	321
Выводы по главе 5.....	323
Общие выводы.....	326
Библиографический список.....	329
Приложение 1.....	353
Приложение 2.	363
Приложение 3.....	375
Приложение 4.....	380
Приложение 5.....	392
Приложение 6.....	396
Приложение 7.....	401
Приложение 8.....	404
Приложение 9.....	416

СОКРАЩЕНИЯ

- БМС – быстровозводимые модульные системы
БПМЗ – быстровозводимые полносборные модульные здания
ВМ – информационная модель здания
ВМ – внецентренный монтаж
ВО – встроенное оборудование
ВС – высокотехнологичный монтаж
ВСМ – высокотехнологичный строительный модуль
ВП – виртуальное проектирование
ГОСТ – государственный стандарт
ДСК – домостроительный комбинат
иППР – интерактивный проект производства работ
МП – матрица-перекрытий
МТ – модуль-трансформер
МР – монтажный робот
МТП – монтажная телескопическая платформа
ПО – программное обеспечение
ПОС – проект организации строительства
ППР – проект производства работ
ПСККС – пассивные системы контроля качества строительства
САПР – системами автоматизированного проектирования
СМР – строительно-монтажные работы
СНиП – строительные нормы и правила
СП – свод правил
ТБ – технологический блок
ТК – технологическая карта
ТЭЗ – трансформируемые элементы здания
УВСС – универсальная высокотехнологичная строительная система
ЧС – «чистое» строительство
ШСМ – шарнирно-сочленённый модуль УВСС

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Развитие быстровозводимого строительства полносборных зданий обусловлено растущей потребностью в строительстве новых зданий. Многократно возрастает дефицит многофункциональных полносборных зданий из модулей высокой заводской готовности при одновременном повышении требований скорости, безопасности, надежности и качества транспортировки, монтажа, эксплуатации объектов в условиях Крайнего Севера. В настоящее время отмечается неполная загрузка существующих мощностей домостроительных комбинатов и слабая проработанность вопросов современного применения многоцелевых полносборных зданий и модульных комплексов в сложных, суровых и экстремальных условиях строительства.

Развитием науки и практики применения модульных и полносборных строительных систем, повышением эффективности и ускорением монтажа занимались ведущие ученые: А. А. Афанасьев, В. А. Афанасьев, Г. М. Бадьин, А. Х. Байбурин, А. Н. Бирюков, С. А. Болотин, Н. И. Ватин, В. В. Верстов, Ю. А. Вильман, Е. М. Израилев, Ю. Н. Казаков, Н. Н. Карасёв, Л. М. Колчеданцев, Е. А. Король, А. А. Лapidус, О. О. Литвинов, Е. П. Матвеев, Ю. Б. Монфред, А. А. Магай, С. В. Николаев, Э.К. Завадскас, П. П. Олейник, Б. И. Петраков, В. И. Теличенко, В. И. Торкатюк, А. Ф. Юдина, Т. Н. Цай, В. И. Швиденко, *Adam M., Anderson M., Bergmann J., Blomberg K., Ehmann S., Feireiss L., Fudge J., Knaack U., Lawson R., Lee Chang Ju, Nadim W.* и др.

Актуальность темы состоит в проведении комплекса научно-исследовательских и экспериментальных разработок новейших строительных систем, монтажных средств, систем автоматизированной диагностики и проектирования скоростного высокотехнологичного монтажа полносборных трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера.

Целью исследования является разработка научных и практических основ высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в суровых условиях Крайнего Севера, в том числе для нужд Министерства

обороны и МЧС.

Задачи исследования:

- сформулировать новые научно-практические основы высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий;
- разработать новые концептуальные решения модернизации изготовления и сборки быстровозводимых зданий по всем элементам технологического цикла от завода до объекта строительства;
- установить количественную и качественную взаимосвязь времени, трудозатрат и качества монтажа при использовании нового специального монтажного оборудования в условиях Крайнего Севера;
- разработать систему комплексно-интерактивной сборки зданий и оценки технологичности заложенных решений в проектах производства работ с учетом многофункциональной рационализации;
- разработать новые оперативные методы контроля качества, в том числе точности высокотехнологичного скоростного монтажа и применения комбинированных монтажно-транспортных средств на Крайнем Севере;
- разработать новые способы использования роботизированных телескопических монтажных платформ и строительные трансформируемые системы для автоматизированного возведения полносборных зданий;
- произвести хронометражную оценку фактических затрат процесса высокотехнологичного монтажа в климатических условиях Крайнего Севера;
- произвести оценку эффективности и определить допустимые границы внедрения элементов высокотехнологичного монтажа в условиях Крайнего Севера.

Рабочая гипотеза состоит в разработке принципиально нового высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера, за счёт изменения структуры трудового и энергетического баланса монтажного процесса, позволяющее выйти на высокоэффективные конструктивно-технологические и организационно-

технологические решения, трансформируемых матриц-перекрытий (модулей) - универсальной высокотехнологичной строительной системы (УВСС) с автоматическим позиционированием модулей и интерактивных систем контроля качества монтажа, использованием роботизированных телескопических монтажных платформ.

Объект исследований – многоцелевые полносборные, модульные и трансформируемые здания и строительно-монтажные работы по их возведению.

Предмет исследований – высокоэффективные технологии скоростного строительства полносборных зданий, включая транспортно-монтажный конвейер, автоматизацию и роботизацию производственных процессов.

Научная новизна полученных результатов:

1. Сформулированы новые научно-практические основы высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера, основанные на объединяющей системе новых методов и способов скоростного строительства объектов из матриц-перекрытий (УВСС).

2. Разработаны новые концептуальные решения модернизации изготовления и сборки быстровозводимых зданий по всем элементам технологического цикла от завода до объекта строительства с учётом минимизации времени и трудозатрат, сокращения этапов производственных циклов, максимизации скорости и производительности работ. Разработана информационно-технологическая модель перспективной системы УВСС.

3. Установлена количественная и качественная взаимосвязь времени, трудозатрат и качества монтажа при использовании нового специального монтажного оборудования в условиях Крайнего Севера.

4. Разработана новая система комплексно-интерактивной сборки зданий и оценки показателей технологичности заложенных решений в проектах производства работ с учетом многофункциональной и объемно-планировочной рационализации способов высокотехнологичного монтажа полносборных зданий.

5. Разработаны новые методы оперативного контроля качества, в том числе точности высокотехнологичного скоростного монтажа полносборных модульных зданий и применения комбинированных монтажно-транспортных схем с учетом минимизации трудо- и энергозатрат.

6. Разработаны новые способы применения роботизированных телескопических монтажных платформ для автоматизированного возведения полносборных зданий из строительных трансформируемых матриц-перекрытий (УВСС) с автоматическим позиционированием модулей и контролем выполнения технологических операций при монтаже.

7. Проведена хронометражная оценка фактических затрат при монтаже УВСС и определен уровень достаточности технологического оснащения и технического обеспечения процесса высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в климатических условиях Крайнего Севера.

8. Проведена оценка эффективности строительства объектов и определены допустимые границы внедрения высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера.

Методика научного исследования: включает структурно-функциональное моделирование многоуровневых и многокритериальных связей технологических процессов; многофакторный анализ динамичной системы монтажа промышленных трансформируемых матриц-перекрытия в условиях Крайнего Севера; многоступенчатый анализ поливариантного проектирования; выбор высокотехнологичных и энергоэффективных схем монтажа; технологические основы роботизации монтажа; детерминированный факторный анализ дефектов монтажа и выверки зданий из высокотехнологичных модулей с использованием лазерного и оптического современного инструментария, обеспечивающих достаточную точность и сходимость результатов.

Практическая значимость исследований заключается в создании научной базы комплексной модернизации производства и строительства

полносборных зданий; в разработке методов оперативного контроля качества монтажного процесса, обеспечивающих качество, технологичность и безопасность полносборных зданий; в обосновании комплексной роботизации монтажных работ в полносборном строительстве, предложенных структурах, алгоритмах управления и методиках проектирования роботизированных монтажных систем; в разработке технологических регламентов, а также в создании новых запатентованных способов монтажа и контроля качества работ.

Значимость работы для теории и практики методологии заключается в многоступенчатом анализе поливариантного проектирования высокотехнологичного монтажа зданий из трансформируемых модулей повышенной заводской готовности, в выборе высокотехнологичных и энергоэффективных схем монтажа полносборных зданий, сравнительной оценке дифференцированного высокотехнологичного монтажа зданий с учетом корреляционной связи технико-экономических и технологических параметров; структурно-функциональном моделировании многоуровневых и многокритериальных связей прогнозных высокотехнологичных процессов и многофакторном анализе динамичной высокотехнологичной системы монтажа укрупненных трансформируемых матриц повышенной заводской готовности, теоретико-игровом подходе к проектированию скоростного высокотехнологичного монтажа зданий в условиях неопределенности; квалификационно-матричной системе ранжирования высокотехнологичных строительных систем с учетом близости к рациональному варианту инженерно-технологических решений; методика интерактивной скоростной сборки зданий и формирования эффективной транспортно-технологической системы в условиях Крайнего Севера.

Положения, выносимые на защиту:

- научно-практические основы высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера;
- концептуальные решения модернизации изготовления и сборки быстровозводимых зданий по всем элементам технологического цикла от

завода до объекта строительства;

- методика выбора рациональной системы высокотехнологичного монтажа полносборных быстрособираемых зданий с учётом количественных и качественных связей;

- система комплексно-интерактивной сборки зданий и оценки показателей технологичности решений при составлении ППР и многофункциональная рационализация способов высокотехнологичного монтажа полносборных модульных зданий, с учётом параметров технологических операций;

- новые оперативные методы контроля качества высокотехнологичного монтажа и эффективного применения комбинированных монтажно-транспортных средств с учетом принципа минимизации трудо- и энергозатрат;

- новые способы автоматизированного и роботизированного возведения полносборных зданий из строительных трансформируемых систем УВСС;

- хронометражная оценка фактических затрат процесса высокотехнологичного монтажа;

- оценка эффективности высокотехнологичного монтажа зданий на основе разработанной УВСС.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 05.23.08: п. 2 – «разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительно-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации».

Достоверность результатов теоретических и экспериментальных исследований обоснована обобщением и дальнейшим развитием предшествующих трудов отечественных и зарубежных исследователей, высокой сходимостью данных, проведенных на макетах, испытательных стендах, по результатам физического и компьютерного моделирования монтажа, возведение объектов на Северо-Западе и Крайнем Севере, расхождение между которыми не превысило 5%; значительными объемами

выборок обследований — 128 зданий; поверенными средствами измерений, теории систем, системотехники строительства, основными законами робототехники, теории вероятностей и математической статистики, теории технологии и организации строительства.

Внедрение. Результаты работы использованы в деятельности ряда крупных проектно-строительных организаций при проектировании и строительстве объектов Санкт-Петербурга, Ленинградской, Московской и Тюменской областях: ЗАО «Ленуренгойстрой» (2007–2016), ООО «ПКТИ «Запсибнефтегазстрой» (2016), ООО «Архитектурная мастерская Полторацкого» (2016), ФПГ «РОССТРО» (2012–2013), ГК «ИНТАРСИЯ» (2008), ООО «ЯмалЖилСтрой» (2006–2007) и ООО «Межрегионжилстрой» (2006–2007), а также в организациях, эксплуатирующих быстровозводимые здания, построено жилье для военнослужащих в РФ по программе «Конверсия» в 2005–2008 годах (подпрограмма «Модуль»). Многофункциональная рационализация методов высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий дает снижение расходов материалов 45,2 %, увеличение полезного объема разработанного модуля 42,9 %, увеличение срока службы модульных зданий до 90 лет, повышение заводской готовности до 95 %, устранение «мокрых» процессов и сварки. Система комплексно-интерактивного сопровождения при проектировании и выборе оптимального варианта ППР дает экономию: при монтаже до 15 % от стоимости работ и материалов; продолжительности работ до 22 %; за счет точности расчетов до 10 %.

Научные результаты использованы при разработке нормативно-технических документов на производство работ и приемку в эксплуатацию высокотехнологичных полносборных систем; в учебном процессе в АО «Атомэнергопроект» (2011–2017) и ФГБОУ ВО СПбГАСУ (2012–2017) при подготовке бакалавров, специалистов, магистров и аспирантов.

Апробация результатов работы. Методологические, теоретические и экспериментальные результаты диссертации апробированы и высоко оценены

на международных конференциях, симпозиумах и семинарах в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Астане, Анапе, Белгороде, Краснодаре, Пензе, Самаре, Тамбове, Чебоксарах, США, Германии в 2005–2017 гг.: «Global Science and Innovation», 2014 г., США; «Европейская наука и технологии», 2014 г., Германия; Scientific Conference «Week of Science in SPbSPU» — Civil Engineering, 2014 г., СПбГПУ, Санкт-Петербург; «Экономические аспекты управления строительным комплексом в современных условиях», 2015 г., СГАСУ, Самара; «Актуальные проблемы науки XXI века», 2016 г., Москва; «Развитие крупнопанельного домостроения в России» (InterConPan-VI), 2016 г., ЦНИПИ Жилых и общественных зданий, Краснодар; III Межвузовская конференция технологических и организационно-управленческих кафедр строительных ВУЗов и факультетов университетов, 2016 г., МГСУ, Москва; «Развитие крупнопанельного домостроения в России» (InterConPan-VII), 2017 г., ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий, Чебоксары.

Публикации. Основные положения работы отражены в 12 монографиях, 8 патентах, 2 справочниках для строителей, 125 публикациях, в том числе 49 публикаций в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК и приравненных к ним. В изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах *Web of Science* и *Scopus*, опубликовано 4 работы. Общим объемом 304,5 п. л., лично автором 202,1 п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 420 страницах, включает введение, пять глав, основные выводы, список литературы и приложения, в том числе 149 рисунков, 88 таблиц, 228 ссылаемых источников и 9 приложений, включающих акты внедрений, патенты, технологические регламенты, справки, компьютерную программу, расчеты.

Работа выполнена в соответствии с указами Президента РФ "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники и перечня критических технологий" и планом приоритетных направлений развития прикладных наук и поисковых исследований РААСН.

Глава 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

1.1. Обзор современного состояния технологий быстровозводимых полносборных зданий в условиях Крайнего Севера

На основе анализа выявленных литературных источников автором проведены исследования состояний конструктивно-технологических систем быстровозводимых комплексов строительства зданий в СССР, России, Великобритании, Германии, Франции, Финляндии, Китае, Японии, Канаде, Испании, Чехии и США, отвечающих критериям безопасности и качества с учетом отечественного и зарубежного опыта [2, 13, 25–27, 33, 35–36, 68–69, 75–77, 146, 149, 151, 153–156, 161, 163, 195, 201–217, 221–223, 226–228].

Важнейшие свойства быстровозводимых систем (зданий) [11] следующие:

- высокий уровень заводской готовности элементов (более 90%);
- высокая скорость сборки зданий;
- высокая степень оптимизации и унификации элементов (модулей);
- облегченные конструкции модулей;
- быстрособираемые узлы соединений элементов;
- высокое качество и точность изготовления модулей.

Значительную активизацию в области полносборного строительства из блок-модулей (особенно в последние годы) показала статистическая обработка данных патентов (рис. 1.1).

В России выпускаются более 250 разновидностей зданий и сооружений – 26 основных модульных конструктивных систем, 18 систем контейнерного и 8 систем сборно-разборного типов.

Основной элемент таких зданий — панель до 12 м, включающая оконные и дверные блоки, и отделка фасада. Сборка осуществляется на болтовых

стяжках с уплотнением швов; сборно-разборные дома поставляются с полным комплектом деталей.

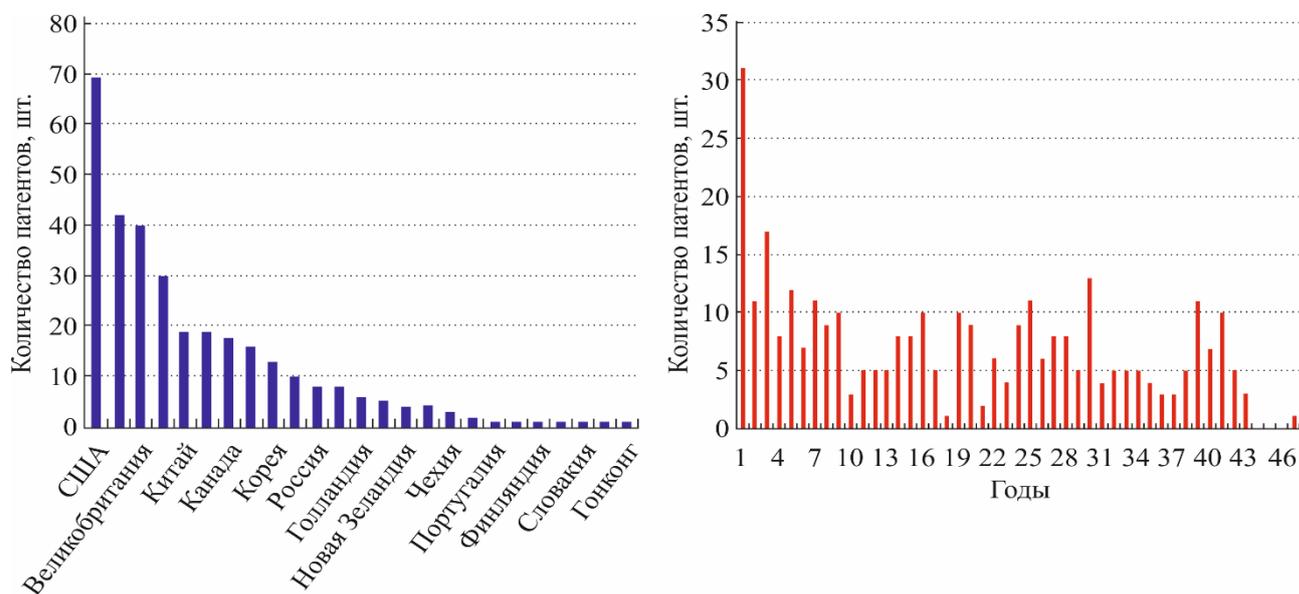


Рис. 1.1. Статистика патентов за 46 лет по полносборным блок-модулям, по странам и годам (2015–1969)

Кроме серийно выпускаемых в РФ зданий, разработаны образцы сборно-разборных зданий из различного набора секций складывающегося типа (табл. 1.1) для возведения зданий жилого и общественного назначения [50, 193].

Преимущества складывающихся систем:

- высокая степень заводской готовности;
- простота монтажа и трансформации конструкций;
- увеличение объема и площади модулей в 1,5–3 раза;
- небольшой объем при транспортировании;
- небольшой вес (2,8; 2,9 и 3,1 т) и др.

Исследования автора выявили недостатки:

- низкая огнестойкость и неэстетичная застройка;
- отсутствие полной номенклатуры необходимых зданий;
- невозможность существенного развития по вертикали;
- отсутствие зальных планировочных решений;
- невозможность комплексной застройки.

Характеристики быстровозводимых складывающихся комплексов

Наименование	Трудоемкость монтажа, чел.-ч/м ²	Срок монтажа, ч	Пролет, м	Площадь, м ²	Состояние
Складывающиеся системы					
ПССОЭ – пакетно-складная секция	0,64	3	5,6	26,88	Экспериментальный образец
ПССОЭ – секция с объемным элементом	0,64	3	7,6	36,48	То же
КОТТС – комбинированная	0,6	3	3	28	—«—

ПАО «Газпром» с 1994 по 2016 г. с высокими требованиями эксплуатационной надежности ведет в исключительно суровых климатических условиях Крайнего Севера Тюменской области проектирование и строительство каркасно-панельных зданий-общежитий в объемно-блочном исполнении инженерного оборудования и экспериментальное строительство в районе г. Нового Уренгоя двух зданий.

Учеными ВАМТО им. генерала армии А.В. Хрулёва (ВИТУ) Н. Н. Карасевым, А. И. Васильевым, Ю. Н. Казаковым была разработана и серийно внедрена подсистема «Модуль» [11, 44].

Увеличение в последнее время в России объемов нефтегазодобычи, а это примерно 45–50% формируемой части нашего бюджета, предусматривали увеличение численности населения основных добывающих городов: Сургута, Нижневартовска, Нового Уренгоя, Нефтеюганска, Надыма и т. д. — как стратегически важных для страны. Для северных условий серийно выпускаются технически простые и дешевые системы быстровозводимых зданий: «Энергетик», «Лесник», «Геолог», «Комфорт», «Модуль» [39–44, 58, 192, 197].

В ходе исследований автор показал, что значительный опыт использования модульных зданий накоплен за рубежом [40, 59, 197–199].

Проблемы использования в пневматических и каркасных системах бионических принципов и композитов рассмотрены в работах японских, американских и французских ученых К. Танге, Ф. Отто, А. Квормби.

Системы быстровозводимых зданий зарубежных стран

Страна	Система	Габаритные размеры ,м			Вид	Применение
		длина	ширина	высота		
Финляндия	"FINNCAMP" "Nakkilan Konepaja" "YIT"	2,4–2,5	4,8–12	2,6–3,1	Каркасно-панельная	Общежитие, жилые дома
	"Rukka" «Ruukki»	3,0–52,8	11–19,2	5,5–8,0		
США	"TRAILER" "MOBIL" "HOUSE"	2,4–3,6	4,8–30	2,1–2,4	Контейнерная	Базы, передвижные поселки
	"MUST" "NIKE"	6 7,3	15,9 7,3	3 5,9	Пневматическая	Зальные сооружения
	"PLAYDOM" "SECTION"	5,2 6	6,4 14,6	3 2,9	Каркасно-панельная	Жилые дома, поселки
	"Portakabin" "PLAN"	2,4–3,6	2–12	2,3–2,4	Контейнерно-панельная	Жилые дома, городки
Англия	"BUCK" "STRIEF" "VARICON"	2,4–3	4,8–30	2,2–2,4	Панельная, контейнерная	Офисы, жилые дома
Германия	"VARIAL" "TECHNAL"	2,438–2,5	2,991–12,19	2,1–2,3	Панельно-контейнерная	Дома, магазины
Франция	"INTERCAMP" "CARAVAN"	2,5–3,6	5–12	2,4	Контейнерная	Жилые дома, офисы
Италия	"ATCO" "Fold-A-Way" "ISO"	3–3,6 3–6	6–16,2 7–18	2,2–2,4 2,5–6,0	Каркасно-панельная, контейнерная	Цеха, поселки, общежития
	"KAHRS"	2,4–6	6–12	2,4	Контейнерно-панельная	Жилые дома, школы
Швеция	"Nippon Kokan K.K."	6–25,0	6–61,7	10,0	Каркасно-панельная	Корпуса цехов
Япония	"CONTAINEX"	3–6,0	6–12	2,6	Контейнерная	Жилые дома, общежития,
Австрия	"Vodni Stavby"	12,7	41,4	3,7	Каркасно-панельная	Жилые дома, общежития
Китай	"BROAD" "TAEL MODUL"	2,0–3,0	10,0–14	3,0	Каркасно-панельная	Жилые дома, общежития
Чехия	"ISO" "MBP"	2,4–2,5	6–12	2,2–3,6	Контейнерная	Городки строителей

Из табл. 1.2 следует, что страны мира используют собственные оригинальные системы, подчеркивая тем самым актуальность рассматриваемой проблемы в масштабе мировых макроэкономик.

Исследования английских, немецких, итальянских и испанских ученых посвящены практическому использованию «растущих» элементов, складных зданий и трансформирующихся конструкций, работы предыдущих лет не носят капитальный характер, поэтому рассмотрены принципиально и ограниченно.

Трансформация (от лат. *transformatio* – превращение) – метод превращения или изменения формы, используемый при проектировании зданий. Из табл. 1.3 видно, что за счет шарнирно-соединенных панелей подсистема "Multi plus 300" обеспечивает увеличение площади транспортного модуля в 20 раз и строительного объема — до 10 раз, данная система не капитального характера.

Таблица 1.3

Технические характеристики трансформирующихся систем

Характеристики	Подсистемы							
	"Single"			"Multi"			"Multi plus"	
	20	40	90	50	170	300	170	300
Количество монтажников, чел.	2	2	2	2	2	2	2	2
Размеры при транспортировании, м:								
длина	3,05	6,06	12,19	4,01	4,01	12,79	9,12	12,19
высота	2,59	2,59	2,9	2,9	2,9	3,03	3,2	3,2
Объем, м ³	12	24	58	11	25	24	25	24
Габариты здания, м:								
длина	6,77	6,77	7,38	13,96	20,05	25,64	20,05	25,64
ширина	3,05	6,06	12,19	4,01	9,12	12,19	9,12	12,19
высота	2,4	2,4	2,7	2,55	2,7	2,7	5	5
Время монтажа, ч	0,16	0,3	0,5	0,3	1	2	1	2
Вес здания, кг/ м ²	45	45	49	46	49	49	75	75
Площадь при транспортировании, м ²	6,5	12	25	6	13	15	13	15
Площадь при монтаже, м ²	17	37	85	49	172	299	172	299
Изменение строительного объема	2,7	2,7	2,9	5	8	10	8	10

Используя различные комбинации складных, раздвижных, шарнирных и других конструкций зданий можно компактно собирать пакеты элементов, готовых к отправке на специальных транспортных средствах к месту назначения. Монтаж таких пакетов упрощается, т.к. выверка уменьшается [23].

В табл. 1.4 и 1.5 приведены результаты сравнения вариантов модульных зданий на основании конструктивно-технологических показателей.

Анализ табл. 1.2, 1.4 и 1.5 показал достоинства и недостатки зданий контейнерного типа по сравнению со сборно-разборными зданиями.

Таблица 1.4

Сравнение вариантов быстровозводимых модульных зданий

Показатели	Варианты систем		
	I Модульный дом фирмы БУК типа 10ММ	II Панельные системы типа: «Сокол», «Модуль» и др.	III Блочные системы типа «Энергетик», «Лес- ник», «Геолог» и др.
Площадь S и объем здания в целом V	$S = 976 \text{ м}^2$ $V = 3225 \text{ м}^3$ 2 этажа	$S = 733 \text{ м}^2$ $V = 1620 \text{ м}^3$ 1–2 этажа	$S = 864 \text{ м}^2$ $V = 1944 \text{ м}^3$ 1–2 этажа
Общая масса дома	360 т	110 т	50–100 т
Количество модулей	28 модулей одного типоразмера	50 модификаций НБКС	24 модуля 3–6 модификаций
Коэффициент монтажной технологичности	1	0,68	0,95
Трудоемкость работ при стро- ительстве здания в целом	0,557 чел.-дн./м ²	0,48 чел.-дн./м ²	1,7–2,4 чел.-дн./м ²
Наружное ограждения модуля (здания)	Комбинированная конструкция с утеплителем	Тип «сэндвич»	Трехслойные панели типа «сэндвич»
Масса модуля	10–11 т	0,12–5 т	3–7 т
Грузоподъемное средство	Автокран	Лебедки, автокран	Автокран, подкатные тележки
Трудоемкость монтажа дома	0,307 чел.-дн./м ²	0,27 чел.-дн./м ²	0,32–0,94 чел.-дн./м ²
Степень огнестойкости	II–V степень	IV–V степень	IV–V степень
Конструкция стыка модуля	Сварная конструк- ция	Шип-гнездо гвозде- вое	Соединительные муфты, несварные стыки
Теплоизоляция, коэффициент теплопроводно- сти	Минераловатные плиты $R = 0,81–0,07$ Вт/м·°С	Легкие, ячеистые бетоны; пенопласты $R = 0,47–0,064$ Вт/м·°С	Базальтовое волокно, Минераловатные пли- ты $R = 0,81–0,07$ Вт/м·°С
Долговечность дома	60 лет	20–30 лет	25–45 лет
Относительная стоимость 1 м ² общей площади, %	1	0,49	0,56
Конструкция модуля	Стальной сварной каркас из оцинко- ванных несущих профилей с дере- вянными стойками	Панельная система; рамно-панельная	Деревометаллический блок-контейнер каркасно-панельного типа
Уровень заводской готовности	94%	50%	85%
Размеры модулей: ширина A , высота h , длина l	$A = 3,4 \text{ м};$ $h = 3,3 \text{ м};$ $l = 10,25 \text{ м}$	$A = 2,4;$ $h = 3 \text{ м};$ $l = 4,8 \text{ м}$	$A = 3 \text{ м};$ $h = 3 \text{ м};$ $l = 6; 9; 12 \text{ м}$

Показатели контейнерных быстровозводимых систем в России

Наименование	Габаритные размеры, м			Расход материалов		Нормативная трудоемкость монтажа /изготовления, чел.-ч/м ²
	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>h</i>	Металл, кг/м ²	Лесоматериалы, м ³ /м ²	
Тайга	5,99	2,99	2,86	10	0,66	9,9
Универсал	6	3	2,95	53	0,08	9,8
Контур	9	3	2,9	53,8	0,18	6,1
Куб-М	6	3	2,87	51	0,37	7,34
ЦСР (Транспак)	6	2,5	0,7	56	0,15	8,5
Энергетик	6	3	2,9	14,4	0,83	12,8
Вахта	12	2,9	2,9	80	0,22	13
Геолог	6	3	3	30,2	0,57	20,4
Лесник	6	3	2,82	12,7	0,02	0,1
МБЭ, МБ, СГР	6–10	3–6	3–6	21	0,95	14,7
ЕвроМодуль	6	3	2,89	40	0,03	26
Прогресс	6	2,5	2,96	67,1	0,01	13,2
РосМодуль	12	3	3	79	0,25	16,3
Нева Сталь	6	3	3,14	53,1	0,3	7,3
УСРЗ-1(2)	12,8(18)	3	6(8,4)	86,6(93)	–	0,32
Модуль-1(2)	14,4(4,8)	4,8(2,4)	7(2,7)	71,2(25)	0,02(0,41)	0,91(0,25)
Монтажник	9	3	4,2	50,9	0,12	0,64
СКЗ-М	12	3	5,4	98	–	0,51
УИЗ-12(18)	12(18)	6	6	64(57)	0,17(0,13)	0,94(0,74)
БКЗ-6(24)	18(24)	3	6	88,2	–	0,72(0,6)

Достоинства:

- высокое качество материалов и узлов соединений и др.;
- предельное сокращение трудоемкости монтажа и демонтажа;
- возможность установки мебели и технологического оборудования;
- возможность заводской установки инженерных систем с сетями.

Недостатки:

- невозможность организации большепролетных, зальных помещений;
- меньшая объемно-планировочная гибкость;
- меньшая экономичность при перемещении;
- необходимость кранового оборудования.

Срок эксплуатации 10–15 лет, который у большинства рассмотренных мобильных и модульных систем быстровозводимых зданий не подходит при строительстве стационарных полносборных зданий для постоянного нахождения и проживания людей. Из рассмотренных вариантов для этого подходят дома зарубежных систем, разработанные в 2013–2015 гг. в Китае компанией BROAD и США My Micro NY со сроком службы более 100 лет [82].

В диссертации в дальнейшем не рассматриваются здания и сооружения мобильного и модульного типов, которые носят временный, малоэтажный и не капитальный характер. Это является границами нашего исследования.

Полносборное строительство — это массовое индустриальное изготовление сборных элементов, которое требует наличия механизированной базы, специальных транспортных и монтажных средств, а также качественных строительных материалов, удовлетворяющих требованиям заводского производства, тем самым обеспечивая высокое качество и снижение трудоемкости строительства, чем на строительной площадке [62–63, 107–108].

При строительстве крупноблочных зданий не более пяти этажей применяют бескаркасную схему; для большей этажности — с большим или смешанным шагом поперечных стен; 22 этажа — возможно при устройстве связей.

Сокращение объемов крупноблочного строительства вызвано развитием панельного домостроения с более высокими показателями эффективности.

Применение же панельной системы ограничивается 30-ю этажами в обычных условиях и 14-ю этажами в сейсмических районах. Преимущества панельной системы в сравнении с кирпичной следующие: меньшая масса (на 30–40%), уменьшение сроков строительства (на 30%); стоимость ниже на 3–5% [84, 183, 186].

Объемно-блочная полносборная система ограничена без связевого специального каркаса 16-ю этажами, блок-комнаты бывают составными из отдельных панелей или монолитными, пространственные размеры ограничиваются габаритами блоков. Эта строительная система стала временно невостребованной вследствие отсутствия большой концентрации строительства, где она достигает наибольший экономический эффект.

Однако у этой системы есть существенные недостатки:

- дорогостоящее, малооборачиваемое и сложное оборудование для производства монолитных объемных блоков;
- требуются мощные специальные краны;
- необходимы хорошие подъездные пути на стройплощадке;
- из-за неодинаковой жесткости связей происходит частый перекос блоков;
- низкое качество поверхностей стен бетонных блоков;
- большой расход бетона и металла;
- слабая трещиностойкость.

Таблица 1.6

Показатели строительных систем типовых многоэтажных зданий на 1 м²

Технико-экономические показатели	Строительные системы										
	9-этажных домов					12-этажных домов			16-этажных домов		
	панельная (с малым шагом)	кирпичная	крупно-блочная	объемно-блочная	монолитная	панельная	кирпичная	монолитная	панельная	монолитная	панельно-каркасная
Грудоемкость, чел.-ч	18,5	24,5	20,5	16,5	18	19	25,5	18	20,5	20	25
Приведенные затраты, %	100	106	105	102	96	100	110	96	100	97	106
Затраты на площадке:											
%	100	132	111	89	97	100	134	97	100	98	121
чел.-ч	11,5	16,5	14	4,5	13,5	12	17,5	14	13	15	17
Расход материалов, %:											
сталь	100	76	143	105	95	100	78	84	100	80	133
цемент	100	77	87	87	100	100	56	97	100	106	102
бетон	100	59	103	91	100	100	57	99	100	104	91

Каркасно-панельная система является основной в проектировании промышленных и общественных зданий, но в жилищном строительстве

применяется редко, уступая расходу панельной стали, затратам труда и срокам строительства [30]. Одна из таких систем, которая по мнению автора особенно заслуживает внимания для исследования, — это *система КУБ 2.5* (каркас универсальный безригельный), данная система не лишена и недостатков:

- ограниченная величина расчетных пролетов (не более 6 м);
- перекосы плит при монтаже;
- масса полнотелых перекрытий в 1,5 раза больше многопустотных;
- решения по армированию сложны и трудоемки;
- не подтверждается строительство зданий до 25 этажей;
- низкая несущая способность бетона в стыках.

Рассмотренные конструктивно-строительные системы лишь частично отвечают требованиям скоростного высокотехнологичного строительства (табл. 1.6, 1.7). С учетом всех особенностей региона наиболее подходящей технологией для возведения зданий на Крайнем Севере является модульное строительство. Главное преимущество технологии – строятся в кратчайшие сроки.

Современное строительство на основе металлических элементов (модулей) и сталебетона, по мнению автора, в полной мере соответствуют требованиям высокотехнологичного процесса и задачам исследования, что дает преимущества, такие как всепогодность СМР, минимальное количество «мокрых» процессов, возможность возводить полносборные здания в районах со слабой транспортной доступностью, в суровых условиях Крайнего Севера.

1.2. Классификация строительно-конструктивных систем с учетом быстровозводимости объектов

Наиболее развитый подход к классификации полносборных модульных и мобильных зданий закреплен в ГОСТ (рис. 1.2) [17].

Автор хотел бы отметить недостатки:

- расхождение в понятиях и определениях;
- нестрогий выбор классификационных признаков;
- узкая ориентация на применение в качестве городков строителей.

Показатели современных систем полносборных зданий

Технико-экономические показатели	Строительные системы полносборных зданий								Монолит (МД)
	Панельно-каркасная (ПКД)		Крупно-блочная (КБД)	Объемно-блочная (ОБД)	Крупно-панельное (КПД)	Каркасно-монолитное (КМД)			
	КУБ-2.5, УИКСС, Б1.020-1/87, ЖУК	АГСПКД (СПКД-1,2,3,4,5), КАСКАД				АРКОС, Сочи, РКД ИК	УДС, ГМС-3	РЕКОН (СМК)	
Трудозатраты изготовления, %	50	45	35	65 (80)	40	30			–
Трудозатраты на изготовление 1 м ³ , чел.-дн.	0,55	0,89	0,75	1,2	0,69	0,60			–
Сокращение сроков строительства, раз	2	2	0,20	3–4	1	0,50			0,40
Затраты на стройке, %	50	55	70	35	60	65			90
Снижение трудоемкости на стройке, раз	0,75	0,55	0,1	2,5–2,8	0,40	0,40			–
Трудозатраты на монтаж 1 м ³ , чел.-дн.	0,50	0,55	0,65	0,15	0,43	0,50			0,52
Возможность свободной планировки	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть			Есть
Возможность планировки в 2 этажа	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть			Есть
Скорость монтажа каркаса (9-этажного дома или 4000 м ²), мес.	2	3	5	1	3	3–4			4
Качество	Среднее	Высокое	Среднее	Высокое	Среднее	Среднее	Высокое	Среднее	Низкое
Вес каркаса дома, кг/м ²	900	1100	1500	1300	1200	700	600	750	1050
Этажность	5–17	16–25	6	5–17	5–25	9–25			5–35
Стоимость строительства, %	87	80–85	110	100	90	89			92
Плановый срок эксплуатации, лет	100	80–100	50	80–100	80–100	100			150
Коэффициент удельной бетоноемкости, м ³ /м ²	0,29	0,38	–	0,67	0,48–0,8		0,24	0,27	0,42
Расход стали, кг/м ²	12,3	14	–	28,5	14,5–46	14,6	6,2	8,8	19,7
Пролеты, м	6	7,2–9	6	6–15	6	6	6–16	6–18	6–12
Количество элементов	40	50	200	20 (5–6 раз↓)	400	30			–
Вес, т	3–5	8–9	3–5	20–30	10	5–10			–
Сейсмоустойчивость, балл	8	7–8	6–7	7–8	7–8	9	9	8–10	9–10
Размеры, м	3,0×3,0× ×0,16 и 40×40 см	6,0×3,3× ×2,8	–	6,0×3,3×2,8	2,4×6,0	–	–	–	–

Таблица 1.7.2

Удельные показатели крупнопанельных зданий на 1м² приведенной общей площади

Разработчик проекта	ЦНИИЭП жилища	ЦНИИЭП жилища сов- местно с НИИЖБ	ЦНИИЭП жилища	ЛенЗНИИЭП	ЛЕННИИПРОЕКТ	ЦНИИЭП жилища
Серия проекта	I-464-A	ИИ-04	I-468-Б	108	137	90
Технико-экономические показатели:						
Строительный объем, м ³	3,50	4,40	3,70	4,30	4,60	3,85
Жилая площадь, м ²	0,68	0,80	0,6	0,58	0,58	0,60
Трудоемкость, чел.-дн.	2,1	2,6	2,6	1,8	1,9	1,6
Масса элемента, т	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8	2,4
Стоимость, %	90,4	95,3-105	94,7	100	100	63,5
Количество этажей	5	< 12	5	5	9	9
Конструктивная система остова	Поперечные несущие стены «ма- лый» шаг	Железобетонный каркас	Поперечные несущие стены «большой» шаг	Продольные несущие стены	Продольные несущие стены	Поперечные несущие стены «ма- лый» шаг
Состав квартир в рядовой блок- секции	1.2.3	Общественное здание	1.2.3	1.2.3	1.1.1.3.3	1.2.3.3
Разрезка наружных стен	Однорядная	Двухрядная	Двухрядная	Однорядная	Однорядная	Однорядная
Расход материалов:						
Сталь, кг	24	24	26	30	42	21
Железобетон, м ³	0,65	0,48	0,45	0,48	0,47	0,71
Легкий бетон, м ³	–	0,24	0,27	0,35	0,27	0,22
Кирпич, шт	3	–	3	2	–	2
Пиломатериалы м ³	0,05	0,13	0,07	0,05	0,05	0,05

Технико-экономические показатели многоэтажных жилых домов основных конструктивных систем на 1м² общей площади

Показатели	Ед. изм.	Известные решения							
		КПД, серии		Система КУБ		Б1.020.1-7	Б1.020.1-9	ИМС	Монолитный каркас
		90	111	КУБ-1	КУБ-2М				
Стоимость строительства	%	100	100	95	92	85	85	115	90
Расход железобетона	м ³	0,85	0,80	0,18	0,17	0,15	0,18	0,18	0,20
Расход стали	кг	14,5	14,2	16,8	12,3	13,2	14,8	12,3	19,7
Расход монолитного железобетона	м ³	0,02	0,02	0,06	0,12	0,06	0,18	0,06	0,20
Расход материалов на ограждающие конструкции	м ³	0,02	0,02	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Свободные планировочные решения		Не обеспечивается	Ограниченные планировочные возможности	В пределах сетки колонн 6х6	В пределах сетки колонн 6х6	Обеспечивается	Обеспечивается	В пределах сетки колонн 4,2х4,2	Обеспечивается
Дополнительное технологическое оборудование		Монтажная оснастка	Монтажная оснастка	Монтажная оснастка, опалубка	Монтажная оснастка, опалубка	Опалубка	Опалубка	Гидродомкраты и насосная станция	Опалубка

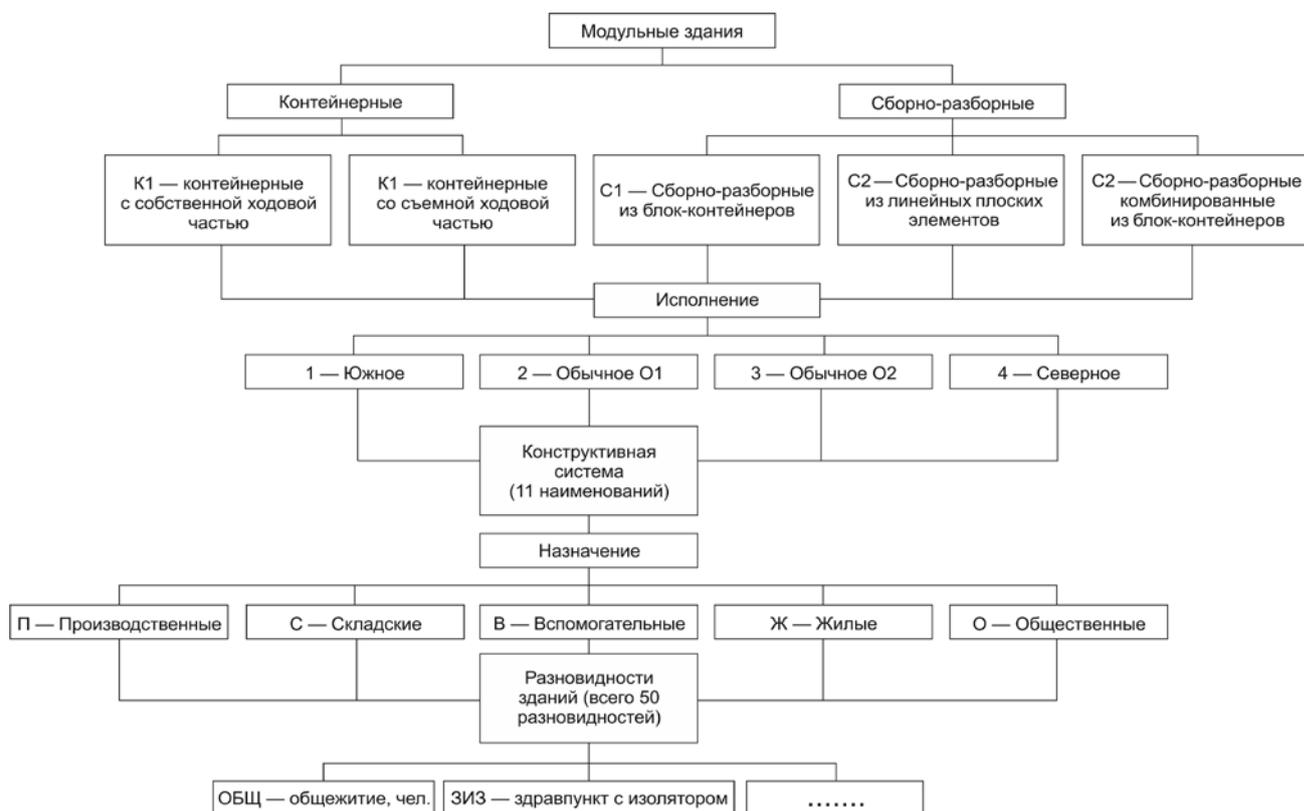


Рис. 1.2. Классификация по ГОСТ [27]

Автор считает, что с учетом прогресса в области домостроения за последние 10 лет корректно в качестве одного из классификационных признаков считать «степень заводской готовности» зданий, что напрямую влияет на нормативную продолжительность строительства [118].

Нормативная продолжительность строительства различных зданий представлена в табл. 1.8 [64, 91]. Верхний предел скорости возведения зданий (время равно нулю), например, модульные контейнерные здания полной заводской готовности; а самая «медленная» технология — кирпичная.

Степень «быстровозводимости» зданий площадью 750 м² может быть вычислена по уравнению:

$$\mu(x) = 0,14x + 1, \quad (1.1)$$

где x — срок строительства.

Принадлежность зданий по скорости возведения в условиях Крайнего Севера и нестандартного термина «темпы возведения», приведена на рис. 1.3.

Нормативная продолжительность строительства зданий, мес.

Технология процессов	Двухэтажное здание				Одноэтажное здание
	150 м ²	250 м ²	500 м ²	750 м ²	100 м ²
Монолитное	6,4	8	9,6	10,4	4,8
Объемно-блочное	3,2	3,2	4,8	4,8	2,4
Кирпичное и из мелких блоков	6,4	8,8	10,4	11,2	4,8
Крупнопанельное	4,8	5,6	6,4	8	3,2
Деревянное каркасное	4,8	7,2	8,8	10,4	3,2
Крупноблочное	4,8	6,4	7,2	8,8	3,2
Деревянное панельное	4,8	6,4	7,2	9,6	3,2
Деревянное брусчатое	6,4	8,8	10,4	10,4	4,8

Построение интервальных оценок позволило определить границы скорости возведения существующих и перспективных строительных систем.

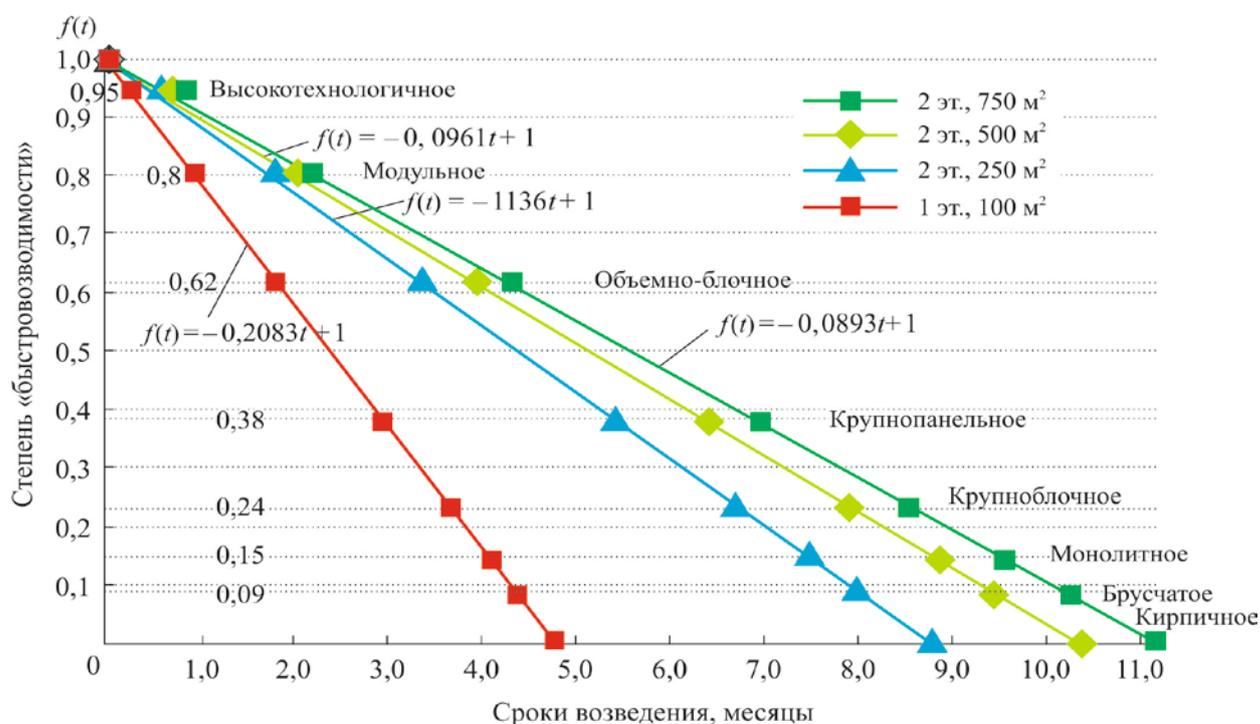


Рис. 1.3. Зависимости функции быстровозводимости зданий от типов и видов строительства

Пределом скорости возведения на графике является мгновенное строительство здания, а нижний предел показывает самую «медленную» технологию. Степень быстровозводимости $f(t)$ вычислена аналитически, учитывая процент освоения сметной стоимости строительства, в зависимости от времени t или отношением трудозатрат в заводских условиях к полным трудозатратам по строительству. Приведенный график позволил определить область высокотехнологичных строительных систем, с учётом применения

металлических модулей максимальной заводской готовности. Таким образом, сроки сокращения строительства должны решаться на всех стадиях подготовки производства, и прежде всего в заводских условиях на конвейерных линиях, оборудованных роботами, что позволяет распределить трудозатраты в соотношении 95 % – на заводе, 5 % – на монтаже. На основе исследований автором обоснована возможность применения автоматизированной и роботизированной сборки зданий, являющиеся объектами скоростного строительства полносборных зданий из модульных трансформируемых систем.

Приведенный график позволил определить нормативную область высокотехнологичных строительных систем, с учётом эффекта от применения металлических модулей максимальной заводской готовности. В соответствии с нормами показатели готовности здания определяются соотношением сметной стоимости этапов строительства полносборного модульного объекта.

Следовательно, понятие «*темп возведения*» можно определить, если взять первую производную по времени t от показателя готовности здания K :

$$I = \frac{\delta K}{\delta t}. \quad (1.2)$$

В этом случае

$$I = \frac{\text{проценты освоения сметной стоимости}}{\text{время}}.$$

Соответственно, качественное понятие «*быстровозводимость*» или «*скорость возведения*» полносборного здания может быть оценено количественно.

Аналогично можно построить границы для показателя зданий «степень заводской готовности»: здания с низкой заводской готовностью — менее 38%, умеренной — не менее 62%, с высокой — не менее 85% и максимальной — не менее 90%. Таким образом, отношение полных трудозатрат по возведению зданий к трудозатратам в заводских условиях тесно связано со «скоростным строительством» в условиях Крайнего Севера.

По мнению автора, классификация быстровозводимых полносборных зданий рассматриваемого типа должна выглядеть так, как на рис. 1.4.

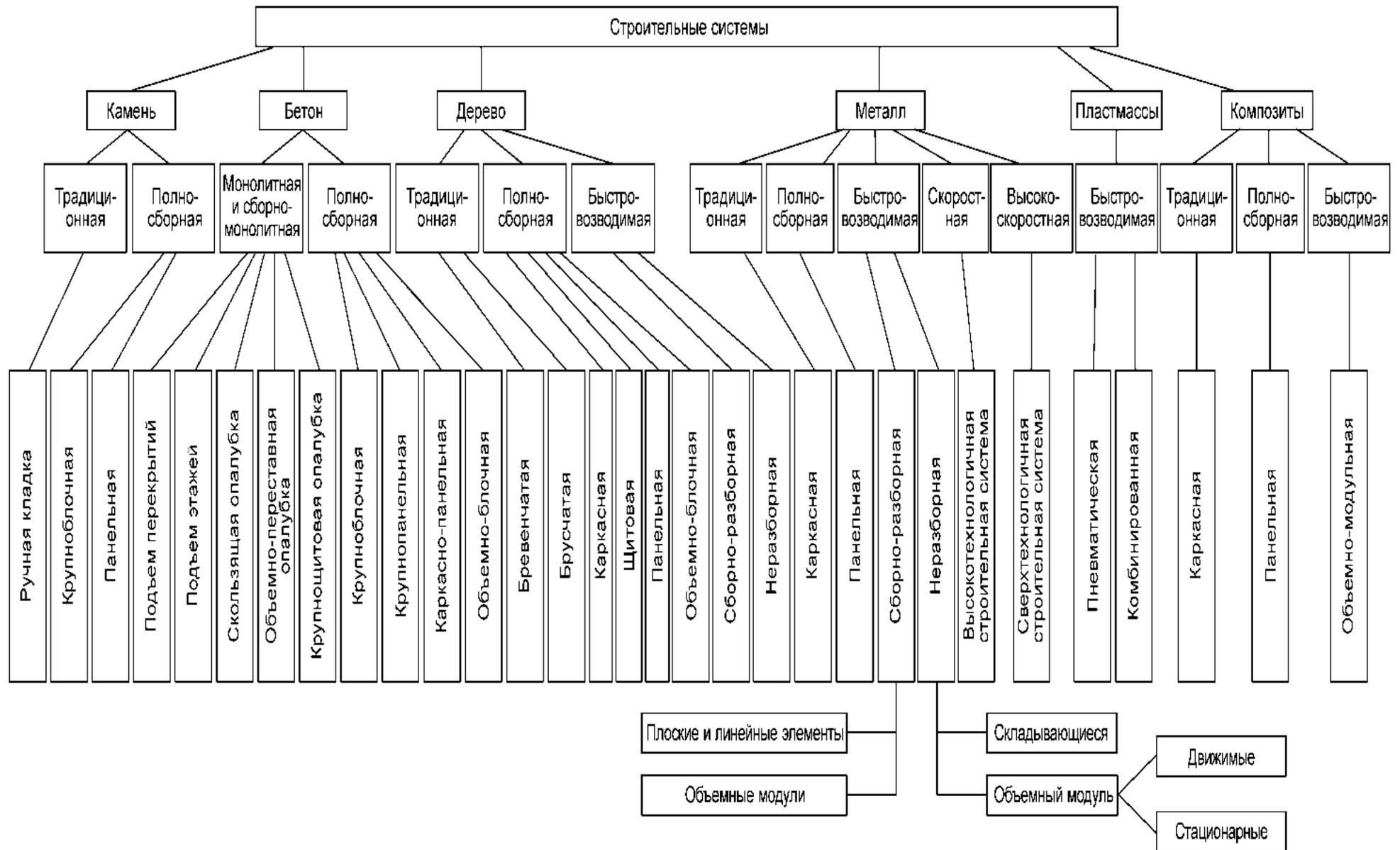


Рис. 1.4. Классификация перспективных строительных систем

1.3. Принципы высокотехнологичного возведения многоуровневых зданий в условиях Крайнего Севера

Известно, что техническая информация стареет через 5–7 лет, и этот процесс прогрессирует, так как технические системы строительства развиваются подобно биологическим системам. Возможность быстрого (скоростного) строительства объектов — актуальная задача современности и дальнейшего развития общества. Строительство должно развиваться с опережением других отраслей. Однако ресурсы ограничены и прогресс может быть достигнут в существующих условиях прежде всего за счет модернизации строительного производства. Под модернизацией понимается обновление, совершенствование, улучшение существующей системы строительного производства [180].

Если рассмотреть направление модернизации по составляющим частям (элементам): строительные материалы — конструкции — механизация — трудовые ресурсы — методы (способы) и организация работ, то увидим, что все находится в динамике развития и во взаимосвязи. Так, материалы и конструкции соединяются при создании новых композитов. Заводское изготовление конструкций все больше приближается к приобъектному строительству с применением несъемной опалубки. Транспортно-монтажные процессы в целом ряде случаев сливаются в один технологический поток, если применяется специальная техника. Монтажная техника насыщается автоматизированным оборудованием, роботами строительных процессов по всей технологической цепочке возведения зданий [1, 60].

Модернизируется и процесс проектирования благодаря отказу от бумажной технологии и переходу на визуальное проектирование ПОС и ППР, когда IT-высокие технологии могут многократно проигрываться на ПК, анализироваться и оптимизироваться в короткие сроки при использовании современной нормативной базы. Таким образом, исходя из конкретных задач строительства, мы видим развитие и совершенствование строительного производства благодаря его модернизации, под которой мы понимаем процесс роста, развития, прогресса, введения инноваций, прогрессивных мероприятий по скоростному строительству объектов.

Учеными робототехники и микроэлектроники РАН проводилась работа по созданию строительного робота, предназначенного для механизации кладки.

Характерно, что еще 50 лет назад на кафедре ТСП в ЛИСИ (старейшем строительном вузе страны) под руководством проф. Н. А. Смирнова инженер Е. А. Большев защитил диссертацию, посвященную «монтажу с колес», что стало в тот период крупным изобретением в СССР.

Интересны опыты ученых МГСУ с башенным краном БКСМ-5-5А. В результате исследований точность автоматизированного позиционирования при монтаже составила ± 20 см, что не допустимо при монтаже. В Японии при монтаже элементов наиболее эффективной оказалась система из башенного крана и робота-манипулятора. Оптимально использовать башенные краны при возведении зданий высотой 70–80 м; приставные краны — 130–140 м, либо последовательное их использование с увеличением высотности самоподъемных кранов до 130 м и более [14–16, 182].

Процессы монтажа многофункциональных зданий очень разнообразны и многовариантны. Автоматизированными и роботизированными при возведении здания являются лишь отдельные технологические операции. Формирование скоростного высокотехнологичного метода монтажа — это последовательный комплексный анализ составляющих организационно-технологической структуры с поиском наиболее рациональных решений. Для этого формализован процесс выбора и приоритет конструктивно-технологических решений в соответствии с принятыми критериями. Изученные автором данные и расчеты не позволяют при скоростном процессе строительства, конструктивных особенностях здания, экономических факторов и других показателей использовать классические технологии [5, 17, 22, 50, 45–46, 62, 67, 88, 184–185, 187, 194].

Комплексное совершенствование существующего процесса монтажа и строительных систем требует создания роботизированных систем для возведения полносборных зданий при условии заранее подготовленном фундаменте, дорогах, подведенных инженерных сетях и благоустройстве. Это допускает скоростное возведение зданий из высокотехнологичных систем и оперативное подключение здания к подготовленным сетям. В мире имеется

немало примеров автоматизации и роботизации отдельных строительных процессов в строительстве. Одними из лидеров являются Япония и Южная Корея. Однако использование роботов для монтажных работ полносборных зданий разной высотности в настоящее время практически не встречается, так как отсутствуют высокотехнологичные решения возведения зданий, к тому же мешает высокая стоимость роботов и необходимость использования дорогостоящих быстротвердеющих смесей при монолитном строительстве.

Предметом исследования являются СМР скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем:

1. Применение укрупненных модулей, блок-секций, *трансформируемых элементов, шарнирно-изменяющихся систем* (части, секции, конструкции, колонны, матрицы перекрытий, стен), сборных элементов, сэндвич-панелей и других элементов домостроения. Повышение степени заводской готовности при уменьшении габаритов и веса. Матрица перекрытий или модуль (опорно-раздвижные, каркасно-выдвижные, саморегулируемые, со встроенными блоками коммуникаций, поворотнo-вращающиеся и раскладные элементы).

2. Монтаж здания начинается на подготовленной инженерной площадке с завершённым нулевым циклом – это технология «чистого» строительства, которая позволяет монтировать готовое здание с инженерными сетями на участках с готовыми фундаментами, подведенными сетями и дорогами.

3. Транспортный конвейер доставки комплектных конструкций, модулей, блок-секций заводского изготовления до объекта строительства на автомобильном, железнодорожном, тракторном (вездеходном), водном, авиационном и комбинированном транспорте. Комплектация и контейнеризация изделий.

4. Применение средств автоматизации и роботизации при возведении зданий. Монтаж «с колес». Применение телескопических кранов, манипуляторов, погрузчиков, одиночных и групповых кондукторов и роботов.

5. Безвыверочный и замковый монтаж, болтовые соединения частей в единое целое, минимальное количество монолитных железобетонных и сварных соединений. Модернизация технологической оснастки.

Матрица прогноза факторов и принципов построения скоростного строительства из систем перспективного направления представлены в табл. 1.9 с учетом п. 1.4 [139, 168].

Таблица 1.9

Фрагмент матрицы прогноза развития высокотехнологичных строительных систем «нового поколения»

Номер ранга и приоритета	Факторы	Весомость q ($\sum = 1$)	Наименование целей								Сумма рангов средств
			Сокращение времени ввода	Сокращения трудо-емкости монтажа и демонтажа	Монтаж и демонтаж вручную	Развертывание силами населения	Легкость транспортирования	Облегчение эксплуатации	Автономность эксплуатации	Живучесть	
1	Автоматизация и роботизация монтажа	0,1987	3	3	2	2	3	10	9	13	43
2	Снижение габаритов и веса модулей	0,1001	6	6	1	5	1	5	12	16	52
3	Увеличение степени заводской готовности	0,1498	1	1	8	1	5	9	8	12	45
4	Противоаварийные системы	0,0304	14	14	14	14	14	14	16	2	102
5	Использование встроенного инженерного оборудования	0,1495	2	2	9	4	10	7	6	7	47
6	Сборно-разборные инженерные сети	0,0495	5	5	10	9	11	12	11	15	78
7	Автоматизация и роботизация транспортирования	0,0495	4	4	3	3	13	11	10	14	53
8	Трансформируемость несущих конструкций	0,0493	10	10	4	6	2	8	7	8	55
9	Встроенные системы точности монтажа	0,0496	8	8	6	11	8	3	4	10	58
10	Комплектация запчастями	0,0498	12	12	11	7	9	1	3	5	60
11	Применение изоляционных композитов	0,0313	9	9	7	12	7	4	5	11	64
12	Использование материалов с регулируемыми свойствами	0,0112	11	11	12	8	4	2	2	3	62
13	Применение несущих полимеров	0,0305	7	7	5	10	6	6	13	9	63
14	Дублирование систем	0,0197	15	15	15	15	15	15	14	1	105
15	Автономные источники энергии	0,0198	13	13	13	13	12	13	1	6	84
16	Противоаварийные системы	0,0109	14	14	14	14	14	14	16	2	102

Приоритетность факторов скоростного строительства:

- сокращение времени строительства;

- снижение трудоемкости монтажа;
- эффективное транспортирование монтируемых элементов;
- укрупнение секций, блоков, модулей;
- облегчение и упрощение монтажа модулей;
- сокращение количества занятых монтажников;

Одним из доказательств эффективности использования роботов в монтажных процессах должно стать определение затрат времени на установку модулей. Ниже описан совместный опыт автора и ЦНИИ «Робототехники», обеспечивающий перенос роботизированным манипулятором из рабочей зоны модуля и его фиксацию в проектном положении. В данном моделировании процесса монтажа использованы магниты. Если нам необходимо установить модуль на фундаменты, исполнительный механизм робота KUKA (Германия) находится на высоте 6,5 м над предполагаемым фундаментом. Расчет времени монтажа модулей с учетом введенных параметров в программное обеспечение используемого робота представлен в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Определение затрат времени на установку одного блок-модуля

Операции монтажа	Время операций, с
Позиционирование захвата над модулями	5
Спуск с высоты 6,5 м и захват одного модуля	10
Подъем захвата на 1 м, его поворот и размещение над потенциальными фундаментами	8
Поворот захвата в положение, необходимое для установки модуля	3
Позиционирование захвата	5
Спуск на 0,5 м и установка модуля	3
Подъем захвата на 0,5 м и его поворот на 180° для последующих операций	3
<i>Итого</i>	37
Монтаж 500 модулей полносборного здания	37×500
<i>Итого</i>	309 (мин)

Все 500 модулей рассмотренного выше примера монтажа здания робот KUKA сможет установить за 309 мин вместо 2–3 мес., необходимых монтажной технике и строителям в современных условиях. В целях обеспечения запаса

времени при монтаже можно ввести коэффициент запаса, равный 2, что увеличит общее время монтажа в 2 раза, т. е. на 618 мин, что подтверждает высокоэффективность системы монтажа, а при использовании нескольких роботов эффективность увеличивается. При позиционных и контурных системах управления монтажным роботом KUKA могут применяться датчики.

В нашем случае автор использовал систему «технического зрения» (рис. 1.5) так называемые сенсорные устройства, которые обеспечивают получение изображения монтируемых модулей и рабочей зоны с точностью до 0,1 мм.

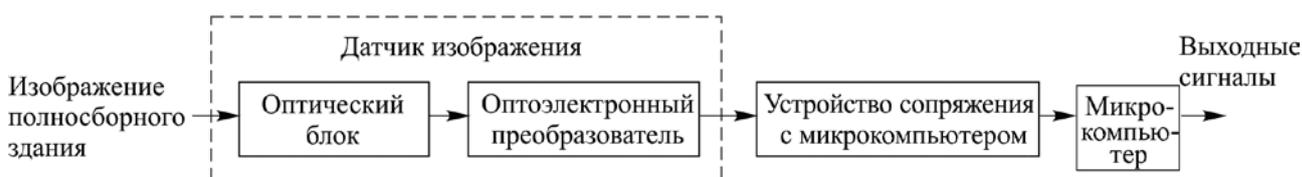


Рис. 1.5. Принципиальная схема технического зрения

Последующие этапы преобразования и анализа изображения осуществляются с помощью компьютерных программ, границы или точки с резким изменением яркости принадлежат контуру той или иной детали.

Точность позиционирования монтажного транс-робота должна соответствовать допускам на точность проектного положения модулей.

Существующие способы монтажа сборных конструкций уже обеспечивают высокую точность позиционирования, поэтому необходимы разработки системы обеспечения работы механизмов по заданной программе и способных оперативно монтировать тяжелые модули зданий [88].

По заданной программе могут производиться движения монтажного транс-робота между зонами производства монтажных работ с использованием специальных компьютерных программ, основанных на координации в пространстве с помощью систем датчиков GPS, меток на конструкциях, пьезометрических датчиков, средств технического зрения, а при менее серьезных требованиях точности — ГЛОНАСС (табл. 1.11).

Выверка вертикальности, горизонтальности и контроль точности монтажа модуля выполняется ориентирующим устройством автоматически с использованием радиометрических устройств и датчиков.

Роботизированные монтажные телескопические платформы (РМТП)

или предлагаемые монтажные транс-роботы обеспечивают высокотехнологичный монтаж, обеспечивая высокий уровень оптимизации траектории и точности монтируемого модуля благодаря использованию технического зрения и манипуляционной телескопической стрелы.

Таблица 1.11

Программное обеспечение (ПО) для автоматизированных перемещений

Наименование ПО	Назначение	Разработчик	Страна	Особенности
SAM	ПО для автоматизированных складов и складов с ручным управлением	Software, UTECO-CONTEC	Италия	На базе Microsoft Windows
Siemens		Siemens	Германия	
Rockweel Automation		Rockweel Automation		
Groupe Schneider		Groupe Schneider		
Omron		Omron		

Достижение поставленной автором цели возможно за счет применения автоматизированных манипуляторов с захватами и систем автоматической точности, выверки, временного и окончательного крепления; использования принципов самофиксации; непрерывной подачи монтируемых модулей; сокращения механизированной и ручной доли; роботизации процесса монтажа; точности изготовления монтажных модулей обеспечивающих собираемость зданий; непрерывной и надежной работы в безлюдном режиме (рис. 1.6).

С учетом существующей терминологии, предлагаемая к разработке инновационная технология дает возможность организовать на строительной площадке аналог промышленного производства, что позволит создавать объекты с высоким качеством и в сжатые сроки [37, 189–190].

Автором предложена совокупность конструктивно-технических модулей из *укрупненных элементов заводского изготовления*; мобильных средств их транспортирования (тягачи, прицепы), специальных монтажных машин (кранов, манипуляторов) для сборки с элементами *автоматизации и роботизации*, объединенные между собой функциональными и технологическими связями в обобщенную строительную систему для *возведения в короткие сроки полносборных зданий*.



Рис. 1.6. Классификация организационных и технических способов и приемов высокотехнологичного монтажа полносборных зданий

Основой конструктивных решений являются *укрупненные модули*, сэндвич-панели и многослойные конструкции из эффективных теплоизоляционных материалов (композитов), элементы объекта-трансформера (откидные, раздвижные, шарнирно-сочленённые, встроенные, телескопические, переставные, подвижные, наращиваемые, подращиваемые, выдвигаемые, навесные, шарнирно-перекидные, секционно-сдвижные и расширяемые, с подвижными и неподвижными упорами (ограничителями), с канатно-тросовым, замковыми, гнездовыми ловителями (фиксаторами), многоуровневые траверсные системы). Система обеспечивается современными методами и *средствами контроля качества* строительных работ на всех этапах возведения объектов в соответствии с действующими государственными стандартами и нормами.

Реализация новой системы связана с ускоренной подготовкой и виртуальным проектированием объекта по специальным программам ПК с многократными визуальными представлениями различных этапов строительства в электронном виде без распечатки бумажных документов, ПОС и ППР. Аналогично по такой схеме рассчитывается стоимость, продолжительность и трудоемкость принятого проектного решения. Все это в совокупности и называется *универсальной высокотехнологичной строительной системой*, которая адаптирована к модернизации применяемого инженерного оборудования, совершенствования, улучшающих качественные эксплуатационные характеристики быстро возводимых полносборных зданий и параметры технологических процессов сборки объектов в любых, в том числе в суровых и экстремальных условиях Крайнего Севера.

Универсальная высокотехнологичная строительная система (multi high-tech building system) — это технически простая система изготовления и возведения полносборных зданий из трансформируемых модулей, для производства которых используются упрощенные технологические процессы заводского изготовления трансформируемых модулей полносборных зданий, включающие в себя инженерные сети, электронику, финишную отделку, элементы креплений, эффективную монтажную технику и робототехнику, необходимые для скоростного возведения и ввода в эксплуатацию зданий.

Высокотехнологичный монтаж (high-tech installation) — это монтаж полносборных зданий заводского изготовления с применением трансформируемых элементов, высокоэффективной монтажной техники и робототехники, оперативных средств контроля точности и качества монтажа.

Направление движения монтажного механизма (крана, монтажного робота подъемников) и развитие монтажных потоков из центрального ядра здания — *внецентренный монтаж (off-center mounting)*.

Интерактивный проект производства работ (interactive project production work) — это информационная модель визуально-информационного воплощения строительной площадки (или площадок), позволяющая получить доступ

к графику выполнения работ, реализующая возможности и технологические решения по сбору, обработке и созданию необходимых данных об объекте.

Высокотехнологичный строительный модуль (high-tech building module) — это объемный элемент технически сложной строительной системы возведения полносборных зданий из модулей, заводского изготовления, включающий в себя инженерные сети, электронику, финишную отделку, элементы креплений, необходимые для скоростного возведения и ввода в эксплуатацию зданий и сооружений.

«Чистое» строительство — процесс возведения полносборных зданий максимальной заводской готовности с минимальным количеством строительных работ в условиях площадки, без использования «мокрых» процессов, с минимальным количеством отходов при выполнении СМР, при заранее подготовленном фундаменте.

1.4. Многофакторный анализ оценки значимости факторов высокотехнологичного возведения многоуровневых зданий в условиях Крайнего Севера

Отбор факторов скоростного высокотехнологичного строительства осуществлен на основе содержательного анализа таблицы 1.9 технологического процесса скоростного монтажа надземной части УВСС в условиях Крайнего Севера, которым установлено, что на результирующий показатель продолжительности возведения надземной части УВСС (q) могут влиять следующие факторы: x_1 — автоматизация и роботизация монтажа; x_2 — снижение габаритов и веса модулей; x_3 — увеличение уровня заводской готовности; x_4 — противоаварийные системы; x_5 — использование встроенного инженерного оборудования; x_6 — сборно-разборные инженерные сети; x_7 — автоматизация и роботизация транспортирования; x_8 — трансформируемость несущих конструкций; x_9 — встроенные системы точности монтажа; x_{10} — комплектация запчастями; x_{11} — применение изоляционных композитов; x_{12} — использование материалов с регулируемыми свойствами; x_{13} — применение несущих полимеров; x_{14} — дублирование систем; x_{15} — автономные источники энергии; x_{16} — противоаварийные системы.

Совокупность перечисленных факторов использована для многофакторного анализа, позволяющего оценить значимость факторов и в дальнейшем определить задачи исследования и резервы повышения эффективности разрабатываемой технологии в условиях Крайнего Севера.

Качество оценки факторов проверяется с помощью четырех формальных критериев: коэффициента Спирмена, рангового коэффициента Кендалла и коэффициента конкордации Кендалла и критерия Пирсона. Для оценки значимости факторов использованы экспертный метод и методика многофакторного анализа. Для корреляции факторов использован пакет «Non-parametrics» Spearman Rank и Kendall Tan (STATISTICA).

Решение поставленных задач охватывает два круга вопросов: отбор факторов и оценка согласованности экспертов. Исходные данные для корреляционного анализа представлены в табл. 1.12.

Для анализа коэффициентов корреляции между факторами использован инструмент пакета Kendall Concordance (STATISTICA). Оценка связи между экспертами относится к методам непараметрического анализа, поэтому проверка на нормальность распределения данных не требуется. Принимается, если: $\hat{\rho}_{jl}^{(S)} \leq 0,3$ – уровень связи слабый; $0,4 \leq \hat{\rho}_{jl}^{(S)} \leq 0,7$ – умеренный; $\hat{\rho}_{jl}^{(S)} \geq 0,7$ – высокий. Результаты расчета сведены в табл. 1.13 и показывают, что полученные результаты коэффициентов корреляции являются значимыми.

Исходные данные для корреляционного анализа

№	Экспертный анализ факторов	Весомость фактора в достижении принципов высокотехнологичного скоростного монтажа	Объединенные ранги	Факторы															
				Автоматизация и роботизация монтажа	Снижение габаритов и веса модулей	Увеличение уровня заводской готовности	Противоаварийные системы	Использование встроенного инженерного оборудования	Сборно-разборные инженерные сети	Автоматизация и роботизация транспортирования	Трансформируемость несущих конструкций	Встроенные системы точности монтажа	Комплектация запчастями	Применение изоляционных композитов	Использование материалов с регулируемыми свойствами	Применение несущих полимеров	Дублирование систем	Автономные источники энергии	Противоаварийные системы
		<i>q</i>		<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>X3</i>	<i>X4</i>	<i>X5</i>	<i>X6</i>	<i>X7</i>	<i>X8</i>	<i>X9</i>	<i>X10</i>	<i>X11</i>	<i>X12</i>	<i>X13</i>	<i>X14</i>	<i>X15</i>	<i>X16</i>
1	Э1	1	4	0,1	0,101	0,15	0,03	0,15	0,049	0,05	0,048	0,05	0,051	0,03	0,013	0,03	0,021	0,021	0,011
2	Э2	1	4	0,2	0,102	0,154	0,031	0,154	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,031	0,011	0,031	0,018	0,018	0,01
3	Э3	1	5	0,1	0,097	0,148	0,031	0,148	0,051	0,052	0,051	0,052	0,052	0,032	0,011	0,032	0,021	0,022	0,011
4	Э4	1	4	0,1	0,101	0,153	0,029	0,153	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,031	0,012	0,029	0,021	0,019	0,012
5	Э5	1	3	0,1	0,1	0,152	0,03	0,148	0,048	0,05	0,048	0,051	0,048	0,031	0,012	0,031	0,022	0,022	0,01
6	Э6	1	5	0,2	0,099	0,149	0,03	0,149	0,05	0,048	0,05	0,048	0,05	0,031	0,01	0,028	0,019	0,019	0,01
7	Э7	1	4	0,2	0,1	0,146	0,032	0,146	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,033	0,012	0,031	0,019	0,019	0,012
8	Э8	1	5	0,1	0,102	0,147	0,03	0,147	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,03	0,011	0,03	0,021	0,021	0,011
9	Э9	1	4	0,1	0,098	0,152	0,032	0,151	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,035	0,013	0,035	0,018	0,018	0,013
10	Э10	1	3	0,2	0,101	0,149	0,03	0,149	0,049	0,048	0,05	0,049	0,05	0,031	0,01	0,029	0,019	0,02	0,011
11	Э11	1	6	0,1	0,099	0,151	0,029	0,151	0,05	0,05	0,051	0,052	0,051	0,032	0,011	0,029	0,019	0,019	0,011
12	Э12	1	3	0,2	0,101	0,149	0,031	0,147	0,051	0,05	0,05	0,047	0,052	0,031	0,011	0,031	0,019	0,02	0,01
13	Э13	1	3	0,2	0,098	0,148	0,029	0,148	0,05	0,051	0,048	0,05	0,049	0,03	0,011	0,03	0,019	0,018	0,011
14	Э14	1	4	0,1	0,102	0,153	0,032	0,153	0,048	0,048	0,048	0,049	0,048	0,032	0,01	0,032	0,019	0,021	0,01
15	Э15	1	4	0,1	0,1	0,147	0,03	0,149	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,03	0,011	0,03	0,021	0,021	0,011
Суммарное значение				2,9	1,501	2,248	0,456	2,243	0,742	0,743	0,74	0,744	0,747	0,47	0,169	0,458	0,296	0,298	0,164

Корреляционный анализ данных

		Коэффициенты ранговой корреляции Кендалла														
		Э ₁	Э ₂	Э ₃	Э ₄	Э ₅	Э ₆	Э ₇	Э ₈	Э ₉	Э ₁₀	Э ₁₁	Э ₁₂	Э ₁₃	Э ₁₄	Э ₁₅
Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена	Э ₁	1	0,960	0,969	0,942	0,935	0,899	0,942	0,955	0,942	0,883	0,921	0,930	0,922	0,942	0,951
	Э ₂	0,986	1	0,955	0,981	0,956	0,955	0,981	0,995	0,981	0,929	0,951	0,951	0,942	0,972	0,990
	Э ₃	0,993	0,985	1	0,946	0,965	0,885	0,946	0,959	0,964	0,896	0,943	0,908	0,943	0,964	0,955
	Э ₄	0,982	0,996	0,984	1	0,947	0,964	0,991	0,986	0,981	0,938	0,960	0,925	0,951	0,954	0,981
	Э ₅	0,978	0,985	0,990	0,984	1	0,860	0,938	0,951	0,965	0,853	0,935	0,866	0,952	0,965	0,937
	Э ₆	0,964	0,985	0,957	0,987	0,948	1	0,973	0,959	0,946	0,974	0,925	0,952	0,865	0,910	0,955
	Э ₇	0,982	0,996	0,983	0,998	0,981	0,989	1	0,986	0,972	0,956	0,960	0,933	0,933	0,963	0,981
	Э ₈	0,985	0,999	0,986	0,997	0,984	0,986	0,997	1	0,986	0,943	0,955	0,947	0,947	0,977	0,995
	Э ₉	0,982	0,996	0,987	0,996	0,987	0,983	0,994	0,997	1	0,929	0,951	0,942	0,951	0,963	0,972
	Э ₁₀	0,964	0,980	0,962	0,982	0,949	0,993	0,985	0,982	0,979	1	0,944	0,918	0,815	0,921	0,938
	Э ₁₁	0,975	0,984	0,980	0,986	0,980	0,971	0,986	0,984	0,984	0,984	1	0,878	0,887	0,969	0,951
	Э ₁₂	0,978	0,984	0,967	0,979	0,950	0,988	0,981	0,984	0,982	0,977	0,956	1	0,871	0,898	0,933
	Э ₁₃	0,976	0,982	0,983	0,984	0,988	0,950	0,980	0,983	0,984	0,937	0,957	0,958	1	0,925	0,942
	Э ₁₄	0,981	0,991	0,987	0,987	0,991	0,966	0,989	0,992	0,989	0,972	0,991	0,962	0,977	1	0,972
	Э ₁₅	0,984	0,998	0,985	0,996	0,982	0,985	0,996	0,999	0,995	0,981	0,984	0,981	0,982	0,991	1

Таблица 1.14

Оценка коэффициента конкордации

ВЫВОД ИТОГОВ								
<i>Оценка средней степени согласованности мнений всех экспертов</i>								
S	73630							
Факторы n	15							
Эксперты m	16							
$\sum T_i$	105.5							
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
	3.5	13	4	11.5	3	4	11.5	13.5
	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	
	11.5	1.5	3	2.5	2	8	13	
Коэффициент W	0,98							
<i>Оценка значимости коэффициента конкордации</i>								
	χ^2_p	K	n	Значимость χ^2	α			
	221,13	15	16	24.99579	0,05			

Матрица рангов

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Сумма рангов	d	d ²
x ₁	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	240	112.5	12656.25
x ₂	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	195	67.5	4556.25
x ₃	14.5	14.5	14.5	14.5	15	14.5	14.5	14.5	15	14.5	14.5	15	14.5	14.5	14	218.5	91	8281
x ₄	6	6	5	5.5	5	6	6	6	5	6	5.5	6	5	6	6	85	-42.5	1806.25
x ₅	14.5	14.5	14.5	14.5	14	14.5	14.5	14.5	14	14.5	14.5	14	14.5	14.5	15	216.5	89	7921
x ₆	9	10	8.5	10	9	11	10	10	10	9.5	8.5	11	10.5	9.5	10	146.5	19	361
x ₇	10.5	10	11	10	11	8.5	10	10	10	8	8.5	9.5	12	9.5	10	148.5	21	441
x ₈	8	10	8.5	10	9	11	10	10	10	11.5	10.5	9.5	8	9.5	10	145.5	18	324
x ₉	10.5	10	11	10	12	8.5	10	10	10	9.5	12	8	10.5	12	10	154	26.5	702.25
x ₁₀	12	10	11	10	9	11	10	10	10	11.5	10.5	12	9	9.5	10	155.5	28	784
x ₁₁	6	6	6.5	7	6.5	7	7	6	6.5	7	7	6	6.5	6	6	97	-30.5	930.25
x ₁₂	2	2	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	2	1.5	1.5	1.5	24	-103.5	10712.25
x ₁₃	6	6	6.5	5.5	6.5	5	5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	6	6	88	-39.5	1560.25
x ₁₄	3.5	3.5	3	4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3	3.5	3	4	3	3.5	51.5	-76	5776
x ₁₅	3.5	3.5	4	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4	3.5	4	3	4	3.5	53.5	-74	5476
x ₁₆	1	1	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1	1.5	1.5	1.5	21	-106.5	11342.25
Σ	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	2040		73630

Таблица 1.16

Матрица преобразованных рангов

№ п.ф. / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Σ	Вес λ
1	0.015	0.01	0.021	0.015	0.013	0	0.005	0.015	0.015	0.005	0.015	0.01	0	0.015	0.015	0.169	0.00477
2	0.109	0.108	0.113	0.109	0.11	0.111	0.11	0.108	0.112	0.109	0.111	0.109	0.112	0.108	0.11	1.649	0.04658
3	0.06	0.056	0.062	0.057	0.058	0.061	0.064	0.063	0.058	0.061	0.059	0.061	0.062	0.057	0.063	0.902	0.02548
4	0.18	0.179	0.179	0.181	0.18	0.18	0.178	0.18	0.178	0.18	0.181	0.179	0.181	0.178	0.18	2.694	0.0761
5	0.06	0.056	0.062	0.057	0.062	0.061	0.064	0.063	0.059	0.061	0.059	0.063	0.062	0.057	0.061	0.907	0.02562
6	0.161	0.162	0.159	0.161	0.162	0.16	0.161	0.159	0.162	0.161	0.16	0.159	0.16	0.162	0.159	2.408	0.06802
7	0.16	0.162	0.158	0.161	0.16	0.162	0.161	0.159	0.162	0.162	0.16	0.16	0.159	0.162	0.159	2.407	0.06799
8	0.162	0.162	0.159	0.161	0.162	0.16	0.161	0.159	0.162	0.16	0.159	0.16	0.162	0.162	0.159	2.41	0.06808
9	0.16	0.162	0.158	0.161	0.159	0.162	0.161	0.159	0.162	0.161	0.158	0.163	0.16	0.161	0.159	2.406	0.06797
10	0.159	0.162	0.158	0.161	0.162	0.16	0.161	0.159	0.162	0.16	0.159	0.158	0.161	0.162	0.159	2.403	0.06788
11	0.18	0.179	0.178	0.179	0.179	0.179	0.177	0.18	0.175	0.179	0.178	0.179	0.18	0.178	0.18	2.68	0.07571
12	0.197	0.199	0.199	0.198	0.198	0.2	0.198	0.199	0.197	0.2	0.199	0.199	0.199	0.2	0.199	2.981	0.08421
13	0.18	0.179	0.178	0.181	0.179	0.182	0.179	0.18	0.175	0.181	0.181	0.179	0.18	0.178	0.18	2.692	0.07605
14	0.189	0.192	0.189	0.189	0.188	0.191	0.191	0.189	0.192	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.189	2.854	0.08062
15	0.189	0.192	0.188	0.191	0.188	0.191	0.191	0.189	0.192	0.19	0.191	0.19	0.192	0.189	0.189	2.852	0.08056
16	0.199	0.2	0.199	0.198	0.2	0.2	0.198	0.199	0.197	0.199	0.199	0.2	0.199	0.2	0.199	2.986	0.08435
Итого																35.4	1

Таким образом, с учетом конструктивно-технологических особенностей перспективной высокотехнологичной строительной системы разработаны и оценены состав и последовательность совершенствования технологических операций и процессов монтажа УВСС. На основе структурного анализа выполнен отбор факторов (автоматизация и роботизация, трансформируемость, и т.д.), влияющих на продолжительность составляющих технологического процесса монтажа трансформируемых многоэтажных зданий и произведена оценка их значимости. Выполнен непараметрический анализ матрицы весомости факторов на корреляцию и установлены функциональные связи между ними, качество которой подтверждается рядом критериев объединенных рангов: коэффициентом Спирмена - 0,937, ранговым коэффициентом Кендалла - 0,813, коэффициентом конкордации Кендалла - 0,98 и критерием Пирсона.

1.5. Концептуальные решения модернизации возведения индустриальных энергоэффективных полносборных зданий в условиях Крайнего Севера

Модернизация (улучшение, обновление, совершенствование) должна внедряться по всем направлениям. Создание новых строительных материалов и композитов, конструкций (модульно-блочных, быстрособираемых, шарнирно-сочлененных, с самозаклинивающими стыками), машин (транспортно-монтажных, саморазгружающих, передвижных платформ, телескопических установок). Особенностью энергоэффективного здания является его система энергоснабжения и энергосберегающих мероприятий, обеспечивающих снижение затрат энергии и повышение качества микроклимата. Эти установки автор позволил себе назвать «экологически эффективными» [166-167, 170].

Конструктивно-технологические решения «чистого» строительства.

Строительство полносборных модульных зданий на основе каркаса из металлоконструкций (сталь, сталебетон) было и остается до сих пор, так как удельная прочность стали в 10 раз выше, чем у бетона, а общая получаемая

масса сооружения снижается в 3–4 раза, при этом 80% стальных строительных элементов произведены из переработанного металла.

Быстровозводимые модульные полносборные здания (БМПЗ)— это новая концепция модульного полносборного скоростного возведения зданий из объемно-пространственных высокотехнологичных модулей.

Характерной тенденцией развития строительства в настоящее время является использование нетрадиционных, альтернативных строительных объектов, например модульные комплексы скоростного возведения капитальных зданий [65, 85].

Производство и монтаж БМПЗ из металлокаркаса и сталежелезобетона, имеет ряд преимуществ перед железобетоном:

- позволяет существенно увеличить этажность зданий;
- высокотехнологичный процесс;
- отсутствие необходимости дорогостоящего формовочного оборудования в заводских условиях;
- высокая степень заводской готовности конструкций;
- применение несъемной опалубки в производственных условиях;
- 100% стальных изделий пригодны для дальнейшего использования;
- высокая точность монтажа в короткие сроки;
- монтаж возможен малоквалифицированным персоналом;
- экономия за счет сокращения сроков строительства здания.

Большинство строительных проектов сейчас реализуется с привлечением кредитных средств, поэтому сокращение цикла строительства дает значительную экономию заказчику и инвестору.

Автор предполагает усовершенствовать процесс изготовления полносборных зданий, разделив их на модули, снабдив их энергоэффективными инженерными сетями и отделкой в заводских условиях, обеспечив скоростной монтаж средствами автоматизации и роботизации, при этом удастся значительно сократить время на сборку здания на открытом воздухе. Модули полносборного здания и детали настолько точно будут

изготовлены ($\pm 0,2$ мм), что процесс их подгонки не требуется. Последними возводятся внешние сэндвич-панели со встроенными солнечными батареями, и стеклянные панели. Такие металлические полносборные здания из модулей, как считает автор, способны выдерживать землетрясения силой до 9 баллов по шкале Рихтера [176–178].

Строительство зданий с металлическими конструкциями ограничено дополнительными противопожарными мероприятиями по огнестойкости.

IT-высокие технологии характерны для авиа-, судо- и машиностроения, в которых используются робототехника и автоматические линии. Этим же путем развивается технология строительства полносборных зданий.

Автор предлагает новое направление — модернизацию строительного производства, подразумевая качественное улучшение строительных конструкций из новых материалов (композитов), обновление парка транспортно-монтажных машин, роботов, средств автоматизации и контроля качества, обновление системы проектирования и организации производства. При этом главенствующее место занимает технология, и она диктует, что нужно делать, где расширять узкие места, как организовать труд, какие машины нужно создать.

Появилась концепция – создание новой системы интегрального соединения различных частей технологии в единое целое. Это — принципиальный поворот в осознании роли технологии в строительном производстве. Практическая реализация данной концепции является мерилем истинности и верности (доказательности) теоретических разработок (знаний). Система развивающаяся в зависимости от новаций (нововведений) по отдельным составным частям (переделам) технологической цепочки. Очень важно в дальнейшем соединять их, чтобы не было противоречий (противопоставлений) элементов системы.

Ранее в технологии строительного производства был аналитический — дифференцированный подход, т. е. все делилось на отдельные части, дисциплины, разделы, направления, курсы.

В методике автора прослеживается обобщенный интегральный (собираемый) подход, который лег в основу новой идеи монтажа полносборных

зданий с применением автоматизированных и робототехнических средств, машин, оборудования при современных модульных строительных конструкций из прогрессивных композитов. Здания можно проектировать и строить любой формы, конфигурации, оптимальных размеров, применяя разнообразные машины и технические средства. Этот процесс улучшения и обновления назван *модернизацией строительного производства*. Применение робототехники сокращает время выполнения операций и повышает качество и надежность работ.

Автор выдвигает концепцию, в которой возможно объединить модульное строительство с капитальным строительством возведения полносборных зданий. Она состоит в применении унифицированных модульных конструкций повышенного заводского изготовления минимальных типоразмеров; поточного монтажа полносборных зданий и комплектных поставок модулей и автоматизированного, роботизированного монтажа элементов здания и отсутствии на площадке «мокрых» процессов. Монтаж повышенной заводской готовности полносборного здания предполагается осуществлять в максимально короткие сроки при максимально высоком уровне технологичности. Таким образом, автор предлагает применить понятие «чистого» строительства, так как монтаж здания предполагается вести на заранее подготовленном фундаменте, при готовых инженерных сетях .

Метод ускоренного монтажа жилых зданий состоит в комплексной подготовке, виртуальном проектировании, модернизации монтажно-транспортного оборудования и в точном контроле выполнения производственных процессов стыковки элементов. Концепция основана на закономерностях изменения (сокращения) продолжительности монтажа объемно-блочных модульных конструкций и композитов за счет повышения производительности монтажных средств, оборудования и монтажного оснащения; повышения квалификации и качества работы монтажников, максимального использования автоматизированных устройств, робототехники; уменьшения трудозатрат на монтаж и демонтаж самоскладывающихся и раскрывающихся шарнирно-модульных конструкций.

Общая целевая функция может быть представлена так:

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Q(Z_c) \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n K \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n C \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n T(Z_c) \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n \mathcal{E} \rightarrow \max \end{array} \right\} \begin{array}{l} \min T \\ \max \Pi \\ \max K = R \\ \min C \\ \max \mathcal{E} \end{array} \quad (1.4)$$

где Z_c – комплексный показатель затрат; T – трудоемкость работ; K – качество СМР; C – стоимость; \mathcal{E} – экологичность.

Критерием эффективности разрабатываемой высокотехнологичной системы полносборного строительства автором принят Z_c , как сумма затрат на монтаж сборных модулей Z_m , изготовление $Z_{и}$, транспортирование $Z_{тр}$.

Информационно-технологическая модель системы полносборного строительства модульных зданий представлена в виде функционалов:

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Q(Z_c) \rightarrow \min, \quad Z_{и} = f_1(l_k, b_k, m_k, K_T, \Pi), Z_m = f_3(l_k, b_k, m_k, Q, T) \\ \sum_{i=1}^n T(Z_c) \rightarrow \min, \quad Z_{тр} = f_2(l_k, b_k, m_k, K_T, L, n) \end{array} \right\} \quad (1.5)$$

где l_k, b_k, m_k — геометрические размеры модулей; K_T, n — типоразмеры и количество модулей; Π — эффективность технологической линии или производительность; L — расстояние доставки; $T(Z_c)$ и $Q(Z_c)$ — продолжительность и трудоемкость возведения полносборного здания с учётом норм Крайнего Севера.

На основе анализа существующего опыта технологий возведения полносборных зданий сформулированы цели и задачи исследования, представленные на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Блок-схема научно-исследовательской работы

тельно охлаждают для перевода в твердомерзлое состояние. Глубину заложения фундаментов мелкого заложения назначают из условия $d \geq d_{th} + 1$ м, глубину погружения нижнего конца сваи - $d \geq d_{th} + 2$ м [56, 92];

- принцип II — вечномерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала строительства или с допущением оттаивания в период эксплуатации сооружения). При назначении глубины заложения фундамента принимают во внимание d_f .

Принцип I применяется в тех случаях, когда расчетные деформации основания при его оттаивании превышают предельно допустимые, а улучшение строительных свойств оттаиваемых грунтов или использование конструктивных мероприятий невозможно или экономически неэффективно. Этот принцип рекомендуется, когда грунты находятся в твердомерзлом состоянии и его можно сохранять при экономически целесообразных затратах на такие мероприятия. При пластично-мерзлых грунтах, как правило, в проектах необходимо предусматривать мероприятия по понижению температуры грунта.

Принцип II применяется при наличии в основании скальных или других грунтов, деформации которых при оттаивании не превышают предельно допустимых значений для проектируемого сооружения. В зонах островного распространения вечномерзлых высокотемпературных грунтов применение принципа II может оказаться неизбежным. В пределах застраиваемой территории, как правило, необходимо предусматривать один принцип использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований.

Для сохранения мерзлого состояния грунтов основания и обеспечения их расчетного температурного режима разрабатывают различные мероприятия (рис. 1.9): 1) устройство вентилируемых подполий или холодных этажей зданий; 2) укладка в основании сооружения охлаждающих труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов; 3) установка сезонно действующих охлаждающих устройств; 4) устройство подсыпок (оснований) из дренирующих материалов; 5) укладка теплоизоляционных материалов под полом здания.

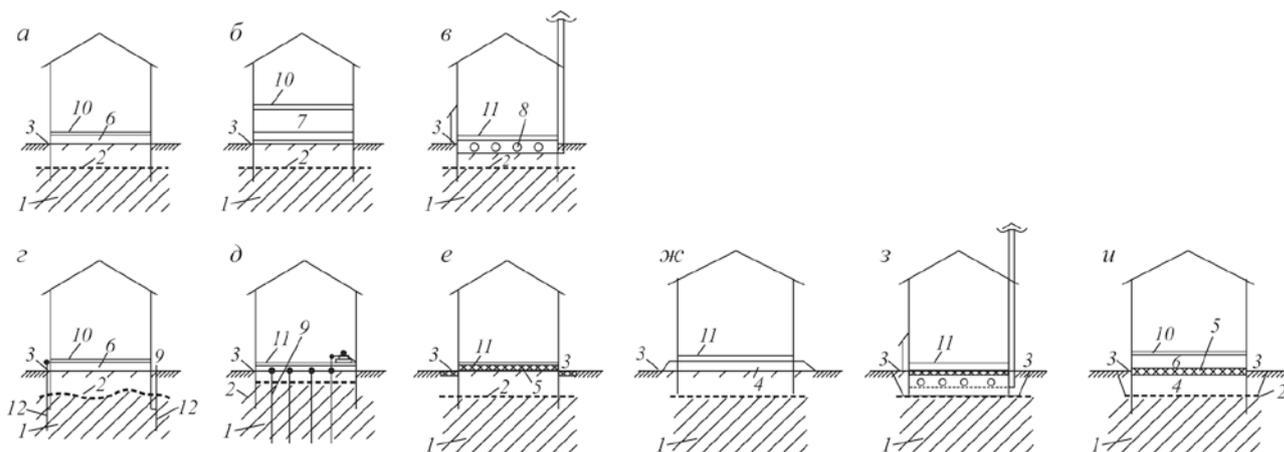


Рис. 1.9. Схемы устройств для сохранения в основании сооружений вечномерзлого состояния грунтов: 1 — вечномерзлый грунт; 2 — верхняя граница вечно-мерзлого грунта; 3 — уровень планировки; 4 — подсыпка из дренирующего материала; 5-теплоизоляция; 6-вентилируемоеподполье, 7-неотапливаемый этаж; 8 — вентиляционные охлаждающие трубы; 9 — система искусственного замораживания (охлаждения); 10 — перекрытие трубы; П — пол по грунту; 12 — сезонно действующее охлаждающее устройство

Применяются и другие способы по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания. Выбор одного или сочетания указанных выше мероприятий (рис. 1.9, з, и) должен производиться на основании теплотехнических расчетов с учетом конструктивных и технологических особенностей сооружения, опыта местного строительства и экономической целесообразности. Фундаменты всех типов, кроме свайных, заглубляются в вечномерзлый грунт не менее чем на 1 м, сваи — не менее чем на 2 м. Расчетная глубина сезонного оттаивания определяется расчетом.

При использовании грунтов основания по принципу П применяются два метода устройства оснований и фундаментов: постепенного оттаивания грунтов в процессе эксплуатации сооружений и предварительного искусственного оттаивания вечномерзлых грунтов (при необходимости с уплотнением, закреплением или заменой оттаявших грунтов) до возведения сооружений.

Для оттаивания вечномерзлых грунтов используют электропрогрев, гидророттаивание и паровые иглы. Применение последних хотя и обеспечивает максимальную скорость оттаивания, однако вызывает в некоторых случаях дополнительное увлажнение грунтов, что иногда оказывает неблагоприятное влияние на их свойства. Оттаявшую толщу грунта, как правило, уплотняют.

При проектировании и строительстве фундаментов по принципу I целесообразно максимально возможное их заглубление, это объясняется возможностью оттаивания верхнего слоя грунта в силу каких-либо случайных факторов. Выбор рациональной конструкции фундамента зависит от внешних нагрузок, а также температурных условий грунтов основания, которыми во многом определяется несущая способность мерзлого грунта.

Основным типом фундаментов, применяемых при строительстве по принципу I, являются свайные фундаменты [106]. По способу погружения в вечномерзлый грунт сваи подразделяют на:

буроопускные сваи, для устройства которых пробуривают скважины, имеющие диаметр, превышающий на 5 см и более наибольший размер поперечного сечения сваи. Перед погружением сваи полость скважины примерно на одну треть заполняют грунтовым раствором из мелкого или пылеватого раствора; *бурозабивные сваи* погружаются с помощью забивки в предварительно пробуренные скважины (лидеры), имеющие диаметр на 1..2 см меньше, чем размер поперечного сечения сваи. Этот тип свай применяют в пластично-мерзлых грунтах; *опускные сваи*, погружаемые в предварительно оттаиваемый грунт с помощью забивки. Оттаивание осуществляется с помощью паровых игл, при чем объем оттаявшего грунта должен быть минимальным.

При необходимости передачи значительных нагрузок на грунты оснований, сложенных вечномерзлыми грунтами, применяют столбчатые фундаменты. Их устраивают в предварительно пробуренных скважинах диаметром 0,8...1,2 м и более, в которые нагнетается бетонная смесь с прогреванием для обеспечения твердения до требуемой прочности. Режим прогревания требуется назначать таким, чтобы обеспечить минимальное оттаивание грунтов вокруг фундамента (рис. 1.10-1.11).

На фундаменты, возводимые по принципу II, при промерзании грунтов действуют силы пучения, влияние которых снижают применением фундаментов анкерного типа или уменьшения площади контакта с грунтом, располагая в верхней части фундамента наименьшее поперечное сечение [34, 92, 100].

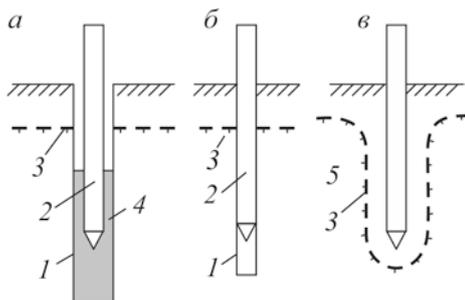


Рис. 1.10. Методы погружения в слой вечномёрзлого грунта: 1 — скважина; 2 — свая; 3 — граница слоя вечномёрзлого грунта; 4 — грунтовый раствор; 5 — оттаявший грунт

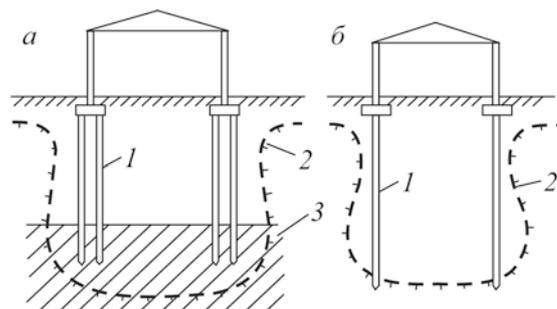


Рис. 1.11. Свайные фундаменты при устройстве фундаментов по принципу II: 1 — свая; 2 — граница вечномёрзлого грунта; 3 — не осадочный слой плотного грунта

В данной работе рассматривается монтаж здания начинающийся на подготовленной инженерной площадке с завершённым нулевым циклом – это технология «чистого» сухого строительства, но не рассматривать важнейшую для Крайнего Севера тему было бы неверно. Соответственно, при исследовании возможности скоростного монтажа полносборных зданий рекомендовано использование существующих надежных и проверенных способов устройства фундаментов в условиях Крайнего Севера и территорий, приравненных к ним.

Выводы по главе 1

1. Проведенный анализ современных технологий строительства быстровозводимых модульных и полносборных систем зданий показал, что более высокими технико-экономическими показателями обладает система полносборного модульного строительства, которая отвечает современному уровню развития техники и технологии, целям и задачам исследований автора. Анализ конструктивно-технологических систем возведения систем показал, что здания модульного типа служат 10–15 лет, стационарные здания не более 50–60 лет, а капитальное возведение полносборных зданий имеют еще более значительный гарантированный срок службы, не менее 80–100 лет, но не близкий к модульным зданиям по скорости возведения. Выявлено, что современные здания и полносборные здания в России и за рубежом не в полной мере раскрывают возможности модульных систем, их экономическую

эффективность и технологичность, а также не учитывают такие важные критерии, как долговечность и качество.

2. Решение проблемы скоростного строительства может быть решено за счет значительного опыта быстровозводимого строительства, имеющегося в структурах МЧС, Госстрое РФ, Министерстве обороны, где модульные здания использовались с послевоенных лет по настоящее время, а также при строительстве отдаленных объектов. К сожалению, ни одна из используемых быстровозводимых систем не отвечает требованиям, предъявляемым к современным энергоэффективным капитальным зданиям: большая трудоемкость изготовления разнообразных модулей; значительный объем ручного труда; уровень механизации низкий. Многообразие типов модулей порождает множество технологических схем обслуживания: изготовления, транспортирования, монтажа и демонтажа.

3. На основе структурного анализа выполнен отбор факторов (автоматизация и роботизация, трансформируемость, и т.д.), влияющих на продолжительность составляющих технологического процесса монтажа трансформируемых многоэтажных зданий и произведена оценка их значимости. Выполнен непараметрический анализ матрицы весомости факторов на корреляцию и установлены функциональные связи между ними, качество которой подтверждается рядом критериев объединенных рангов: коэффициентом Спирмена - 0,937, ранговым коэффициентом Кендалла - 0,813, коэффициентом конкордации Кендалла - 0,98 и критерием Пирсона.

4. Доля ручного труда (чел.-ч) значительно превышает долю труда механизаторов (маш.-ч). Большой объем СМР не обеспечен высоким показателем уровня автоматизации и роботизации. Имеется дефицит отечественных строительных машин, нет импортозамещения зарубежной техники. Трудно интенсифицировать процессы и модернизировать технологию. Нет возможности обновления технологических решений по улучшению теплофизических, архитектурных, экологических и социальных условий длительной эксплуатации в различных климатических условиях.

5. Сроки сокращения строительства должны решаться на стадии подготовки производства в заводских условиях на конвейерных линиях, оборудованных роботами: 90–95% — на заводе, 5–10% — на монтаже строительной площадки. Осложнено внедрение в зимний период. При отрицательных температурах значительно сокращается срок эксплуатации блочных зданий. Так, дома, выстроенные по проекту «Конверсия» в Ленинградской области, имели недоработки после ввода в эксплуатацию, а сети коммуникаций не соединялись и приводили к аварийным ситуациям.

Предложена принципиально новая концепция индустриальной технологии монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий для модернизации производства и строительства объектов, с учётом комплексного применения принципов модернизация строительного производства на всех циклах от производственной линии до эксплуатации здания позволяет минимизировать время на транспортно-логистических операциях, увеличить скорость и производительность монтажных машин, снизить трудозатраты, уменьшить количество работающих за счет автоматизации и роботизации монтажных процессов.

6. По результатам проведенного анализа технологий устройства фундамента при скоростном монтаже полносборных зданий рекомендовано использование существующих надежных и проверенных способ устройства фундаментов в условиях Крайнего Севера и территорий, приравненных к ним, в основном по принципу I.

Глава 2. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКО-ТЕХНОЛОГИЧНОГО МОНТАЖА БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

2.1. Повышение уровня индустриализации и системы управления качеством модульного строительства

Основные направления модернизации и эффективности производства монтажных работ на Крайнем Севере проявляются в рациональном использовании трудовых и материальных ресурсов при изготовлении и монтаже модулей полносборного здания с высоким качеством и в сжатые сроки, сокращении численности рабочих, устранении тяжелых ручных операций. Это может быть достигнуто внедрением прогрессивных технологических процессов, высокопроизводительного монтажного оборудования, новых материалов и конструкций модулей здания, комплексной механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов производства, совершенствования организации монтажных работ, труда и управления, использование малолюдных технологий, унифицированных быстросборных элементов, системы скоростного монтажа и демонтажа зданий, перспективных технологий соединения блок-модулей, монтажно-конвейерных линий с элементами роботизации и автоматизации процессов, как на производстве, так и на строительной площадке.

Высокоэффективные технологии возведения полносборных зданий отличаются от традиционных тем, что содержат новые научные идеи, принципиально новые технические и технологические решения, оригинальные инженерные и конструкторские проработки и обеспечивают прогрессивность технико-экономических показателей проектов, машин, оборудования, имеют достаточный запас «новизны». При этом должны выполняться требования:

- устранение ручных операций рабочих и повышение производительности монтажного оборудования;

- использование перспективных высококачественных материалов и новых конструкций элементов зданий;
- рациональное и экономное использование энергетических ресурсов;
- обеспечение комплексной механизации, автоматизации и роботизации основных и вспомогательных процессов и создание новых высокоэффективных автоматизированных систем контроля качества возведения полносборных зданий;
- применение научно обоснованной организации труда с учетом региональных, социальных и экологических условий и требований.

В качестве критериев качества при возведении полносборных зданий могут быть названы следующие: прочность, надежность и проектная несущая способность модулей здания; минимальная продолжительность и трудоемкость монтажных работ; минимальный расход материалов (бетона, стали, цемента, дерева, полимеров); минимальный расход энергетических и трудовых ресурсов; точность изготовления модулей из индустриальных и сборных конструкций повышенной заводской готовности (табл. 2.1).

В качестве ограничений могут рассматриваться: допускаемые нагрузки и осадки здания; природно-климатические и зимние условия производства монтажных работ; логистика — стесненные условия выполнения работ; наличие парка необходимых монтажных машин.

Коренные преобразования в технике и технологии скоростного строительства, прорыв в технологии возведения зданий из модулей возможны только на основе внедрения и реализации новых плодотворных идей, связанных с появлением новых материалов, конструкций модулей, новых монтажных роботов, методов, способов и организации монтажных работ. Внедрение интенсивных технологий на базе передовой техники, прогрессивных технологических процессов и гибких технологий возведения полносборных зданий из модулей позволили создавать принципиально новые ресурсо-энергосберегающие, безотходные, малооперационные высокоэффективные технологии.

Мероприятия скоростного возведения зданий в условиях Крайнего Севера

А. Сокращение продолжительности строительства объектов	Б. Повышение качества объектов. Улучшение комфортности и условий труда	В. Повышение надежности и долговечности при эксплуатации объектов
<p>1. Заводское изготовление конструкций в виде блок-секций, элементов трансформируемых зданий полносборного строительства.</p> <p>2. Контейнеризация, пакетизация, быстрая доставка изделий по комбинированным логистическим схемам.</p> <p>3. Полная замена ручного труда на комплексно механизированный и автоматизированный процесс на всех этапах технологического цикла. Увеличение производительности и взаимозаменяемости монтажных машин.</p> <p>4. Уменьшение количества работников за счет внедрения роботов, автоматизированных линий, элементов автоматического управления.</p> <p>5. Снижение трудозатрат и сокращение длительности рабочих операций за счет снижения непроизводительных простоев техники, применения новых типов стыков конструкций, ограничителей, фиксаторов, специальных устройств противосейсмических и др. защит.</p> <p>6. Минимизация энергетических затрат подготовительных и монтажных процессов. Модернизация оборудования.</p> <p>7. Сокращение времени сборки и разборки зданий, простота демонтажа объектов и многократного использования строительных модульных конструкций из комбинированных современных материалов и композитов</p> <p>8. Подготовка производства и монтаж объекта в благоприятных зимних условиях и в экстремальных ситуациях.</p> <p>9. Применение методики сравнительного анализа по выбору оптимального варианта технологии монтажа изменяемых элементов конструкций.</p>	<p>1. Подготовка площадки строительства и устройства фундаментов. «Чистое строительство»</p> <p>2. Антисейсмические и противоударные устройства и др. защита зданий</p> <p>3. Полная заводская сборка, монтаж и демонтаж зданий.</p> <p>4. Нормативные требования высокого качества (прочности, технологичности, заменяемости) готовых строительных конструкций.</p> <p>5. Объемно-блочная комплектация и доставка .</p> <p>6. Вахтовый метод строительства. Учет сезонности и ограничений.</p> <p>7. Полное инженерное обеспечение и встроено-технологического оборудования.</p> <p>8. Надежные самораскладывающиеся и быстроразборные конструкции.</p> <p>9. Применение кондукторов, ограничителей, роботов.</p> <p>10. Утепление кабин машин.</p> <p>11. . Переход на новые энергетические уровни технологического прогресса (мах эффективность, мин. операций, процессов). Интерактивное проектирования объектов в системе 3Д-5Д.</p>	<p>1. Оценка рисков и неучтенных потерь в зимних условиях.</p> <p>2. Прочные технологические конструкции с использованием композитов. форм-объектов</p> <p>3. Повышение надежности при адаптации в новых условиях</p> <p>4. Стыковка сетей коммуникаций блок-модулей.</p> <p>5. Полнособираемость зданий на объекте за счет применения шарнирно-складных быстрособираемых конструкций.</p> <p>6. Монтаж, демонтаж, многократная переналадка строительного производства.</p> <p>7. Развитие строительной техники и технологии домостроения и роботизации для условий Севера.</p> <p>8. Создание минигородков с надувными пневматическими покрытиями.</p> <p>9. Развитие перспективных технологий строительства на Крайнем Севере.</p>

В цепи «наука–техника–производство» основной акцент должен быть сделан на научные исследования в технологии скоростного возведения полносборных зданий из модулей, так как прогрессивные технологии основаны на новейших достижениях науки и практики строительного производства.

Комплексный подход к расчету, проектированию и производству монтажных работ позволит повысить производительность труда, добиться экономии материалов, значительно улучшить качество работ.

Научно-обоснованной базой, способной дать надежную основу и методологию проектирования рациональных процессов производства монтажных работ, может и должен быть развернутый анализ взаимоувязанных факторов строительного производства, которые в своей совокупности определяют уровень эффективности строительства зданий из модулей. Решение этой задачи сопряжено с большими трудностями при учете многочисленных факторов, влияющих на эффективность строительства зданий из модулей, а принципиальное отличие целевой установки настоящего исследования известным исследованиям в этой области требует создания новой методологии сравнительной оценки и анализа эффективности производства монтажных работ. При этом эффективность технологических процессов приходится рассматривать с различных точек зрения и на разных уровнях (техническом, социально-экономическом), на стадиях прогнозирования, проектирования технологий, производства монтажных работ, эксплуатации готовых полносборных зданий модульных зданий и т. п.

Индустриальная технология скоростного строительства зданий из модулей повышенной заводской готовности формируется на основе совокупности условий и факторов, рассмотренных ниже. Результатом внедрения являются:

- высокая надежность, точность и качество элементов (модулей) полносборных зданий;

- сокращение продолжительности работ при возведении полносборных зданий за счет поточно-непрерывной и совмещенной организации технологических процессов;
- улучшение использования техники, повышение производительности крановых агрегатов и монтажного оборудования при их ритмичном и равномерном использовании;
- типизация и унификация конструкций элементов (модулей) зданий, инженерно-технических и организационно-технологических решений.

Сокращению трудозатрат и достижению высокого качества возведения полносборных зданий из модулей способствуют:

- применение эффективных конструктивных решений полносборных зданий из сборных элементов, модулей, объемных блок-комнат, модульных систем полной и повышенной заводской готовности; разработка и внедрение новых прогрессивных технологий высокоскоростного возведения полносборных зданий на индустриальной основе с соблюдением принципов поточно-механизированного ведения работ, комплексной механизации, автоматизации и роботизации технологических процессов;
- полное технологическое обеспечение нормоконспектами монтажных работ средствами механизации, автоматизации и роботизации технологической оснасткой и оборудованием, необходимым для выполнения СМР;
- использование мобильных и высокопроизводительных машин, эффективного кранового, подъемного и монтажного оборудования.

Основные условия и требования качественного выполнения монтажа зданий из модулей работ индустриальными методами представлены в табл. 2.1.

Под обобщающим понятием «индустриальная технология скоростного возведения полносборных зданий из модулей» понимается комплекс технических, технологических и организационных мероприятий, обеспечивающих:

- круглогодичное непрерывное высокомеханизированное производство монтажных работ независимо от природно-климатических условий;
- существенное повышение производительности труда монтажников, сокращение трудоемкости и продолжительности выполнения рабочих операций за счет перехода на малооперационные интенсивные технологии;
- снижение затрат материалов, ресурсов, экономия дефицитных материалов (бетон, сталь, цемент) при внедрении новых модульных, полносборных эффективных конструкций зданий полной заводской готовности;
- сокращение затрат ручного труда на основе комплексной механизации, автоматизации, роботизации и технической модернизации парка монтажной техники;
- улучшение качества модульных полносборных зданий при внедрении системы непрерывного автоматизированного контроля несущей способности конструкций здания в процессе их монтажа и пооперационного контроля технических операций.

Имеется тесная взаимосвязь между климатическими условиями и типом конструкции модульного здания, технологией и механизацией работ.

При определении экономической эффективности и технической целесообразности конкретной технологии строительства зданий из модулей определяющая роль принадлежит вопросам комплексной механизации производственных процессов технологического цикла. Неиндустриальная технология возведения полносборных зданий ведет к непроизводительным затратам и использованию тяжелого ручного труда при низком качестве работ.

Так, в ряде случаев железобетонные модули экономичнее металлических, однако более сложный и недостаточный уровень механизации бетонных работ и наличие трудоемких мокрых процессов при устройстве стыков сводят к нулю преимущества такой технологии особенно в суровых условиях Крайнего Севера, и эффективнее в этом случае будет технология строительства зданий из

металлических модулей, которая отработана значительно лучше и гарантирует более высокое качество работ.

В табл. 2.2 сформулированы основные стадии и этапы разработки и внедрения промышленных технологий высокоскоростного строительства зданий из модулей. При этом технико-экономическая оценка той или иной технологии модульного строительства должна производиться с учетом совокупности факторов и дополнительных затрат на всех этапах технологического цикла, а конечный результат оценивается с точки зрения качества, надежности и долговечности модульного полносборного здания.

При изучении и оценке уровня индустриализации модульного строительства основное внимание обращено на две группы технологического обеспечения, по которым выполняется следующий комплекс практических мероприятий, способствующих качеству и безопасности монтажных работ.

Следует заметить, что стремясь достичь наилучшего результата по каждому из требований, но при этом, не рассматривая их в совокупности, можно столкнуться с рядом противоречий.

Например, для сокращения теплопотерь необходима наиболее компактная форма и минимальный процент остекления. В то же время, чтобы обеспечить благоприятный микроклимат, следует стремиться к большим световым проемам, так как естественное освещение положительно сказывается на психоэмоциональном состоянии человека. Разрешить противоречия подобного рода возможно, если обратиться к решению каждого вопроса, как части общего, т. е. найти оптимальное сочетание конкретно в данном случае.

Основные принципы устойчивого строительства заложены в международные системы экологических сертификаций. На сегодняшний день в России начато внедрение трех лидирующих международных стандартов, по которым определяют экологическую эффективность зданий — BREEAM, LEED и DGNB.

Система разработки и внедрения промышленных технологий возведения полносборных модульных зданий

Подсистемы обеспечения производства монтажных работ	Стадии и этапы внедрения промышленных технологий модульного строительства зданий			
	Инженерно-технические исследования	Подготовка производства, включая технологическое проектирование	Заводское изготовление, комплектация, транспортирование	Производство монтажных работ на объекте
Функциональная и конструктивно-техническая	Учет климатических и инженерно-геологических условий, выбор конструкции модулей	Внедрение единой системы технологической подготовки производства монтажных работ	Стандартизация, унификация конструкций. Промышленность и технологичность работ	Обоснование типа модуля и метода их монтажа. Оценка экономичности, качества и надежности
Технологическая (методы, способы, технология)	Разработка принципов промышленной технологии и способов высокоскоростного строительства зданий из модулей	Разработка технологической документации системы подготовки производства, разработки ППР, типовых решений	Разработка промышленных методов изготовления сборных конструкций	Внедрение интенсивных энерго- и ресурсосберегающих технологий производства монтажных работ
Материально-техническая	Проведение экспериментальных исследований и лабораторных испытаний новой техники и модулей	Проектирование эффективных образцов монтажного оборудования и технологической оснастки	Изготовление монтажных роботов-манипуляторов, технологической оснастки	Механизация монтажных работ, техники, автоматизированных монтажных установок
Организационная (организация технологических процессов)	Моделирование и оптимизация технологического процесса. Вариантные проработки НИР	Подготовка организационно-технологической документации, вариантное проектирование	Комплектные поставки модулей. Технология промышленно-механизированных работ	Поточная организация работ: земляных, монтажных, бетонных
Оперативное управление технологическими процессами	Создание имитационной модели управления процессом в составе НИР	Внедрение системы планирования и управления подготовкой производства	Внедрение автоматизированных и диспетчерских систем управления	Внедрение системы управления процессом монтажа модулей
Контроль качества монтажных работ	Определение критериев и количественных показателей качества работ	Внедрение комплексной системы управления качеством работ и расчета модульных конструкций	Осуществление выходного и пооперационного контроля качества изделий	Производственный непрерывный контроль монтажа модулей
Социально-экономическая	Определение социально-экономического эффекта в конкретных условиях строительства с учетом охраны окружающей среды	Технико-экономическое обеспечение новой технологии. Сравнение вариантов	Определение трудозатрат и стоимости заводского изготовления модулей	Технико-экономический расчет новой технологии работ с учетом затрат на внедрение экологически чистой технологии

Для повышения уровня индустриализации и совершенствования комплексной системы управления качеством модульного строительства требуется: проанализировать существующее состояние вопросов подготовки производства монтажных работ; выявить основные причины и факторы, снижающие качество работ; разработать предложения по повышению технологичности, надежности и эффективности инженерных решений на всех стадиях строительного производства с учетом природно-климатических условий.

Кроме того, диссертант считает, что необходимо разработать предложения:

- по оптимизации и модернизации парка монтажной техники, подобрать рациональные комплекты и выбрать прогрессивные образцы роботизированного оборудования;
- по созданию технологической оснастки и монтажного оборудования с применением кондукторов, захватных приспособлений, платформ и другой оснастки, обеспечивающей точный монтаж модулей;
- разработке и оснащению монтажного оборудования и модулей приборами, GPS, ГЛОНАСС датчиками, метками на конструкциях, «техническим зрением» и средствами контроля точности монтажа возведения полносборных зданий.

2.2. Метод многоступенчатого анализа поливариантного проектирования высокотехнологичного монтажа зданий из трансформируемых модулей заводской готовности

Важным этапом обоснования рациональных высокотехнологичных технологий возведения зданий и сооружений из модулей является математическое моделирование, что позволяет представить существенные признаки технологического процесса в формализованном численном виде [61, 137].

Для принятия рациональных технологических решений важна сама методика анализа, проектирования, формирования, выбора и оценки альтернативных вариантов технологий возведения зданий и сооружений из модулей повышенной заводской готовности (рис. 2.1).

Первый этап. Сбор, группировка и анализ данных возведения полносборных зданий и сооружений из модулей и модульных систем повышенной заводской готовности:

- параметры грузоподъемных средств;
- состав подготовительных работ;
- характеристики строительных материалов;
- сроки и стоимость работ;
- условия производства работ;
- очередность производства работ;
- способы транспортировки.

Второй этап. Разбиение технологического процесса по горизонтали.

Отдельные виды СМР разбиваем на технологические процессы.

Третий этап. Разработка элементов здания из модулей заводской готовности.

Для различных типов здания определяют состав работ, типы модулей, их параметры, комплектующие изделия, условия производства работ, временные параметры и взаимосвязь процессов.

Четвертый этап. Комплексный анализ высокотехнологичных модулей.

Анализируются параметры основных конструктивных модулей здания $\{K\}$ — геометрические размеры, состав, пространственная форма, конфигурация, вес, способы их соединения.

Производится формализация конструкции модуля с разделением ее по структурным и технологическим признакам и условиями их взаимодействия на отдельные части графовой модели.



Рис. 2.1, начало. Алгоритм метода вариантного проектирования зданий из модулей повышенной заводской готовности

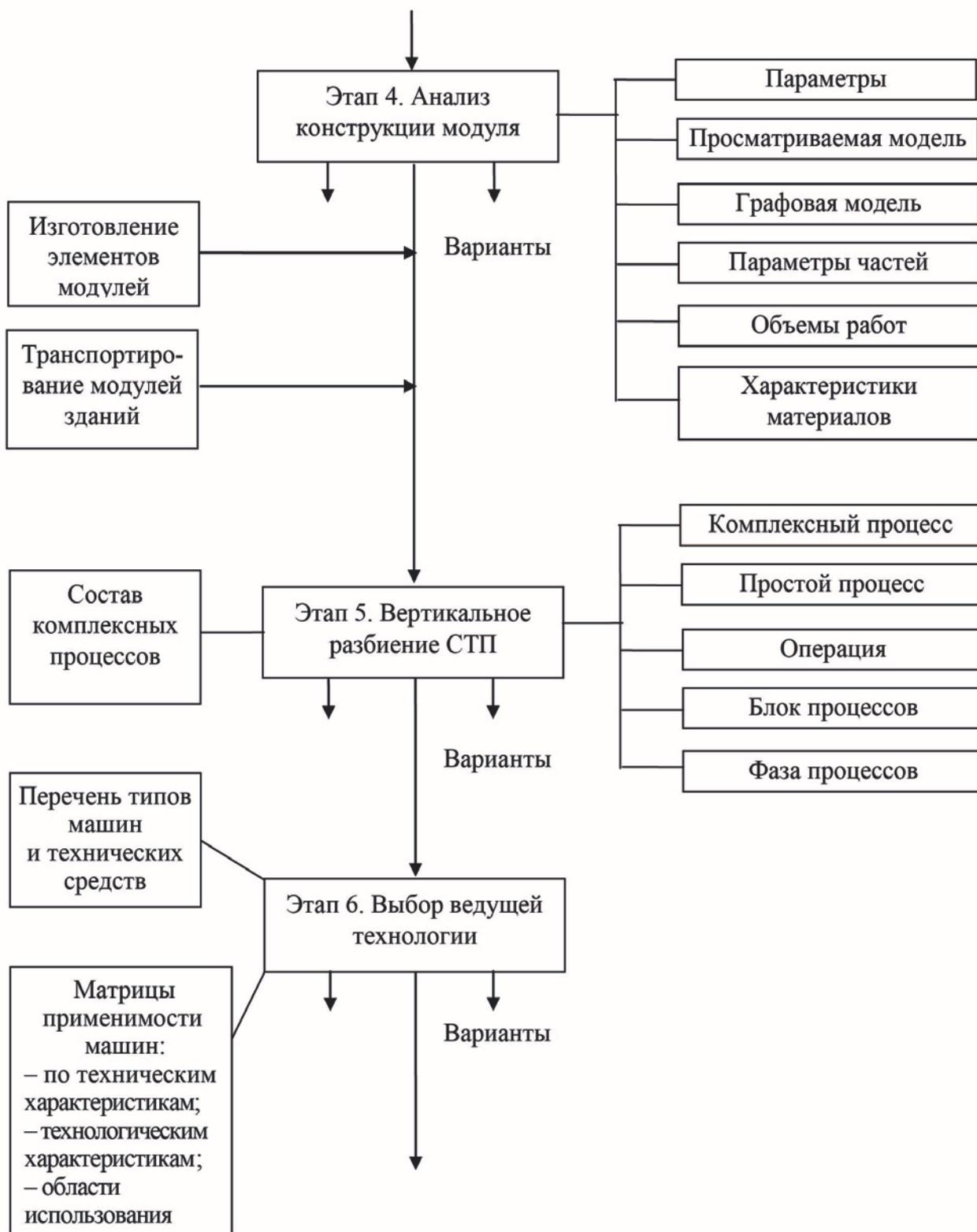


Рис. 2.1, продолжение. Алгоритм метода вариантного проектирования зданий из модулей заводской готовности

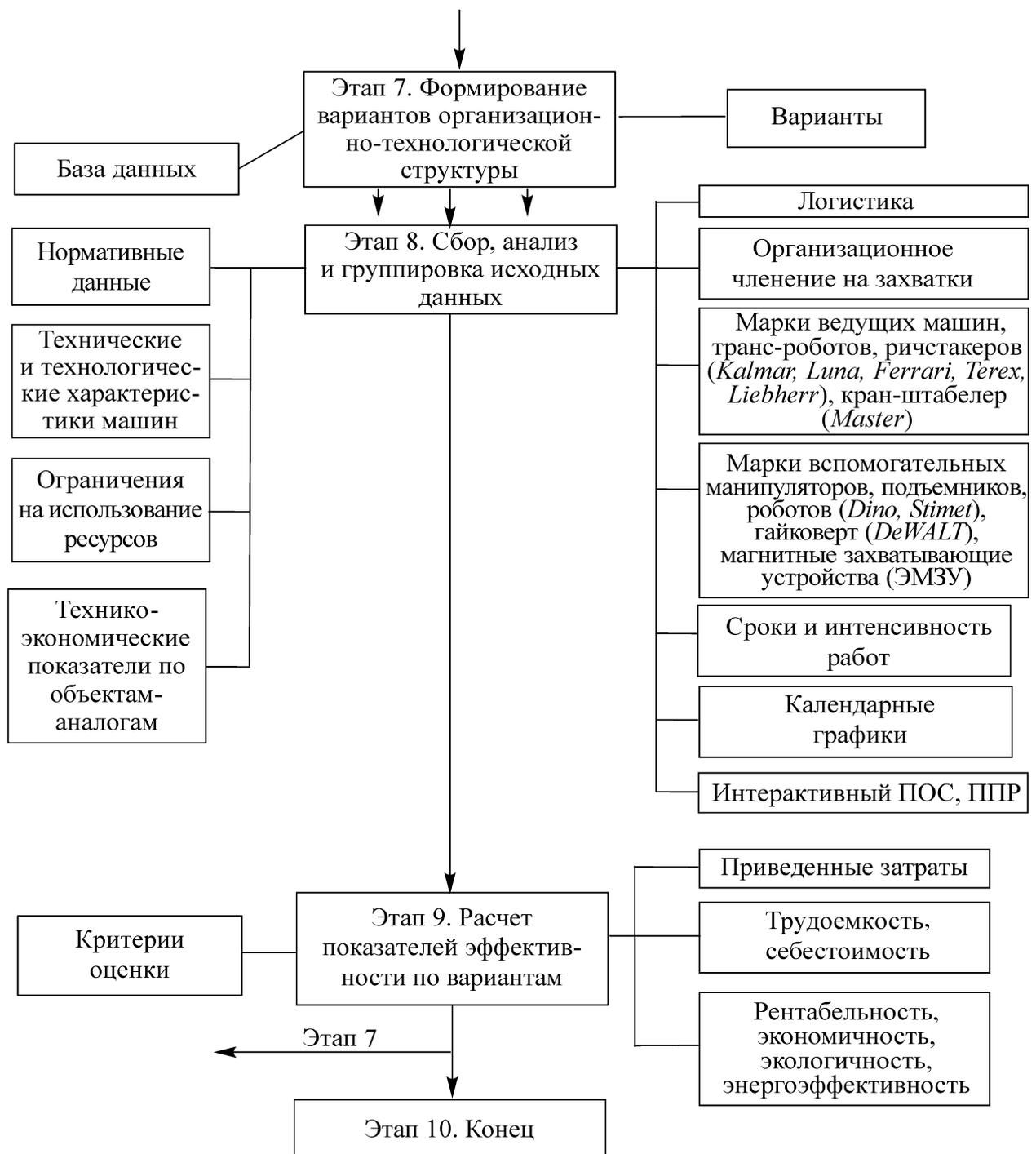


Рис. 2.1, окончание. Алгоритм метода вариантного проектирования зданий из модулей повышенной заводской готовности

Пятый этап. Разбиение комплексного технологического процесса строительства по вертикали.

Производится формирование схемы комплексного технологического процесса $\{P\}$ с учетом перечня процессов и операций, которые входят в состав комплексного процесса определенного вида работ.

Шестой этап. Выбор главной (ведущей) технологии производства работ.

Выбирают «ведущую технологию», осуществляя предварительный подбор технических средств из условий производства строительных работ.

Седьмой этап. Разработка вариантов технологической взаимосвязи.

Вариант представляет собой технологическую модель структуры процессов и операций возведения здания из модулей заводской готовности, для которых не определены продолжительность, технологические и организационные перерывы, начало и окончание операций. Весь процесс разделяется на отдельные блоки, в которых совершается законченный технологический цикл — комплексный технологический процесс.

Восьмой–десятый этапы. Расчет эффективности и выбор рационального решения.

Разработанный метод технологий скоростного возведения здания из модулей заводской готовности является логической моделью вариантного проектирования технологических решений монтажа модулей на научной базе.

Математическая формализация скоростного возведения зданий из модулей заводской готовности может быть представлена следующим образом:

Пусть векторная компонента $D = (D(T_1), \dots, D(T_T))$ представляет собой долговечность полносборного модульного здания при технологии T_j . Множество всех технологий T , а отдельная технология T_j , где $j = 1, 2, \dots, T$.

Задача стоит в выборе j' , для которой $(D_{(j')}) > D(T_j)$ для $j = 1, 2, \dots, T$.

Если взять 10 технологий возведения здания из модулей заводской готовности ($T = 10$), при этом вектор $D | 8, 20, 10, 50, 11, 30, 70, 20, 25, 40 |$, то лучшая из технологий отвечает долговечности здания в 70 лет.

Пусть имеется два вектора — вектор стоимостей и вектор качества строительства модульных зданий и десять технологий:

$$\left| \begin{array}{l} C = (10, 25, 15, 40, 12, 25, 65, 20, 26, 35); \\ D = (8, 20, 10, 50, 11, 30, 70, 20, 25, 40). \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Пусть множество T технологии возведения зданий из модулей заводской готовности, пронумерованное индексом:

$$j = 1, 2, 3, \dots, T, \quad (2.2)$$

$$T = [T_1, T_2, T_3, \dots, T_T]. \quad (2.3)$$

Технологии T_j характеризуются векторным критерием — стоимость монтажа модулей, долговечность модульного здания, продолжительность возведения, надежность здания из модулей и др.

При выборе оптимального варианта из технологий возведения здания из модулей заводской готовности необходимо ее искать среди эффективного множества или оптимального по Парето, т. е. нет превосходящей технологии по всем рассмотренным параметрам.

Математический выбор эффективной технологии возведения здания из модулей заводской готовности решается следующими подходами.

Определение 1. Будем считать, что Y доминирует над другим вектором Z по Парето, если выполняется нестрогое неравенство $Y_i \geq Z_i$ для $i = 1, 2, \dots, n$ хотя бы при одном строгом неравенстве.

Обозначим на множестве всех технологий T через определенную в n -мерном Евклидовом пространстве E_n многокритериальную функцию качества F :

$$F: T \rightarrow E_n, F(T_j) = (F_1(T_j), F_2(T_j), \dots, F_n(T_j)). \quad (2.4)$$

Численное выражение критериев качества технологии T_j — это компонента i

Определение 2. Если система строгих неравенств не совместна, то технология T_y слабо эффективна или слабо оптимальна по Парето:

$$F_i(T) > F_i(T_j) \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.5)$$

Определение 3. Технология T_j эффективна (или оптимальна по Парето), если для всякого T_j верно неравенство

$$F_i(T) \geq F_i(T_j) \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.6)$$

Из множества всех технологий следует выделить более узкое множество компромиссной технологии. Обозначим векторную функцию качества F через M_i , то значение i максимальное на множестве T :

$$M_i = \max \{F_i(T_j), j = 1, 2, \dots, m\}. \quad (2.7)$$

Обозначим через $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ идеальный вектор. Идеальным вектором у нас является вектор $M = (65, 70)$. Условием компромиссной технологии T_j соответственно будет:

$$\max \{(M_i - F_i(T_j))/i = 1, 2, \dots, n\} \geq \min \max \{(M_i - F_i(T_j))/i = 1, 2, \dots, n\}. \quad (2.8)$$

Отклонение лучшей технологии будет минимальным от максимального значения рассмотренных параметров:

$$\left| \begin{array}{l} C = (10, 25, 15, 40, 12, 25, 65, 20, 26, 35); \\ D = (8, 20, 10, 50, 11, 30, 70, 20, 25, 40). \end{array} \right.$$

Идеальный вектор здесь — технология T_4 , $M = (40, 50)$, соответственно отклонения от идеала $(30, 42)$, $(15, 30)$, $(25, 40)$, $(0, 0)$, $(28, 39)$, $(15, 20)$, $(25, 20)$, $(20, 30)$, $(25, 45)$, $(5, 10)$. Минимальное значение равно 5 у технологии возведения здания из модулей T_{10} .

Расчет компромиссной технологии для критериев большей размерности также возможен по этому алгоритму при выборе рациональных технологий строительства из модулей и модульных систем повышенной заводской готовности.

Минимальные затраты выбранного варианта эквивалентны максимальному технико-экономическому эффекту, ожидаемому при внедрении данной технологии возведения зданий из модульных систем. При сравнении альтернативных вариантов различных технологий предпочтение отдается варианту с минимальными удельными затратами по рассматриваемым технико-экономическим показателям. Техничко-экономические показатели оценки технологии модульного строительства характеризуются значительной динамичностью и взаимозависимостью.

Предлагаемые модели и математическая формализация процесса скоростных технологий возведения полносборных зданий из модулей заводской готовности решают оптимизационные задачи принятия рациональных инженерно-технологических решений.

Предложенная методика вариантного проектирования полносборных зданий и сооружений из модулей повышенной заводской готовности позволяет

оптимизировать конструктивно-технологические решения строительства зданий из модулей в условиях Крайнего Севера, горизонтально и вертикально расчленив комплексный строительно-технологический процесс, проанализировать конструктивные решения, выбрать ведущую технологию, сформировать варианты организационно-технологической структуры, осуществить расчет представленных вариантов, показателей эффективности по ним и выбрать наиболее эффективное решение.

2.3. Метод выбора высокотехнологичных и энергоэффективных схем монтажа полносборных зданий в условиях Крайнего Севера

Ключевыми направлениями развития прогрессивных технологий являются: высокоэффективная механизация, автоматизация и роботизация возведения полносборных зданий и автоматизация контроля их выполнения. Настоящее исследование представляет собой опыт систематизированного изложения технологических основ анализа эффективности инженерных решений при строительстве зданий из модулей и контроля качества монтажных работ [134, 200, 224].

Автор считает, что такой научно-обоснованной базой, способной дать надежную основу и методологию проектирования рациональных процессов строительства зданий из модулей, может и должен быть развернутый анализ взаимосвязанных факторов строительного производства, которые в своей совокупности определяют уровень эффективности технологий строительства зданий из модулей.

При разработке высокотехнологичной технологии модульного возведения полносборных зданий следует придерживаться следующей последовательности этапов проектирования (рис. 2.2) [7]:

- уточнение исходных данных, характеристика монтажных работ;
- учет природно-климатических и социально-экономических факторов;
- выбор способов строительства и методов возведения полносборных зданий из модульных систем;



Рис. 2.2. Последовательность проектирования схем механизации, автоматизации и роботизации при модульном строительстве на Севере

- уточнение типа и конструктивных характеристик модульного здания и модулей для условия Крайнего Севера;
- технико-экономическое сравнение вариантов технологических комплексов и модульных систем;
- выбор эффективной технологии возведения полносборных зданий из трансформируемых модульных систем (рис. 2.3);
- установление способа устройства модулей и состава технологических операций;



Рис. 2.3. Структурная схема выполнения монтажных работ по индустриальной ресурсо-энергосберегающей технологии модульного строительства

- выбор средств механизации, автоматизации и роботизации из имеющейся номенклатуры парка машин для монтажа по группам;
- проверка на технологическую совместимость машин (табл. 2.3);

**Модель выбора рациональной комплексно-механизированной,
автоматизированной и роботизированной технологии**

K	t_j a_i	Технологические процессы				
		t_1	t_2	t_3	\dots	t_m
Монтажные роботы	a_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	\dots	P_{1m}
	a_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	\dots	P_{2m}
	a_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	\dots	P_{3m}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\dots	\vdots
	a_n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	\dots	P_{nm}
I комплект		$P_{21} \longrightarrow P_{12} \longrightarrow P_{13} \longrightarrow \dots \longrightarrow P_{1m}$				
II комплект		$P_{31} \longrightarrow \dots \longrightarrow P_{23} \longrightarrow \dots \longrightarrow P_{2m}$				

Парк машин $K = \{a_i\}_{i=1}^n, n$ — количество роботов для монтажных работ

$Q = \{t_j\}_{j=1}^m, m$ — количество технологических процессов при роботизированном монтаже

- выбор нормоконструктивных комплектов для модульного строительства; выбор варианта технологической схемы комплексной механизации, автоматизации и роботизации строительных процессов;
- технико-экономическое обоснование принятого варианта производства монтажных работ;
- разработка технологических карт возведения полносборных зданий из модульных систем с учетом роботизации технологических процессов.

Степень совместимости монтажных машин (роботов) в комплекте:

$$d_{in} = H(a_n) - H(a_n / a_i), \quad (2.9)$$

Уровень технологической организованности системы ВМ:

$$r(K) = \frac{1}{m-1} [\sum_{j=1}^m H(t_j) / H(K-1)], \quad (2.10)$$

Получение новых знаний о закономерностях в технологии монтажных работ позволяет сформулировать технологические требования по формированию комплексов монтажного оборудования, оснащению их средствами автоматизации контроля и управления при производстве монтажных работ в суровых природно-климатических условиях (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Развитие комплексной механизации, автоматизации и роботизации модульного возведения зданий в суровых условиях Севера

2.4. Метод сравнительной оценки дифференцированного Высокотехнологичного монтажа зданий из модульных систем с учетом корреляционной связи технико-экономических и техноло- гических параметров

Взаимосвязь элементов технологической системы «возведение зданий из трансформируемых модулей» в каждом конкретном случае — это определенный метод целесообразного взаимодействия элементов технологической системы (конструкция типового модуля, технические средства, организация процессов). Изменение любого элемента системы приводит к изменению технологии монтажных работ полносборного модульного здания. Многообразие технологических решений можно видеть из классификаций по типам и видам модульных систем, способам возведения сборно-модульных зданий. Определяющую роль играет выбор монтажных средств (кран, транс-робот, манипулятор, платформа и др.). Выбор (принятие решения) лучшей технологии является целенаправленным действием при организации и производстве работ для достижения совокупности целей (сокращение сроков, снижение стоимости здания и монтажа и др.).

Из множества альтернативных технологий отбираются реально возможные технологии. Затем, используя критерии предпочтения и систему технико-экономического обоснования, делают выбор рационального варианта производства работ.

Производными являются: сокращение продолжительности работ, уменьшение количества персонала, увеличение объема продукции, экономия материалов, энергии, ресурсов.

Рассматривая показатель роста производительности труда, следует ориентироваться на удельные показатели табл. 2.4.

Сравнительный анализ основных технико-экономических показателей, проведенный по формулам, позволяет оценить эффективность рассматриваемых технологий по сравнению с базовым вариантом. При этом для

оценки уровня производства монтажных работ используется совокупность технико-экономических показателей, приведенных в табл. 2.4–2.9 [66, 121].

На рис. 2.5 приведен алгоритм методики выбора эффективного варианта строительства модульных зданий, суть которой состоит в том, что из массива известных технологий выбираются наиболее реальные технологий с учетом возможностей строительной организации. Далее с учетом требований заказчика формулируются целевые функции, выбираются основные и дополнительные критерии эффективности, дается оценка значимости и приоритета выбранных критериев (экспертным путем).

Таблица 2.4

Система взаимосвязи технико-экономических и технологических параметров монтажа полносборных зданий

Показатели сравнительной оценки (на 1 модуль, 1 м ³ объема)	Расчетная формула	Взаимосвязь технико-экономических показателей с технологическими параметрами процессов
По производительности П, %	$\beta_1 = \frac{(\Pi_2 - \Pi_1)}{\Pi_1} \cdot 100$	$\Pi = f(\mathcal{E}_m, V, t_{ц}, N)$
По трудоемкости Q, %	$\beta_2 = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} \cdot 100$	$Q = f(Y_m, Y_{к.м}, V_p, \Delta Q)$
По себестоимости С, %	$\beta_3 = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \cdot 100$	$C = f(C_c, E, C_э, C_{м.см})$
По продолжительности Т, %	$\beta_4 = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1} \cdot 100$	$T = f(t_{ц}, t_{в}, \Delta t)$
По затратам материалов (энергии, ресурсов) М, %	$\beta_5 = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \cdot 100$	$M = f(V_б, V_m, P_э)$

Условные обозначения: $\Pi_1, Q_1, C_1, T_1, M_1$ — показатели по базовому варианту; \mathcal{E}_m — энергия подъемного механизма; V_p — объем ручных работ; V — скорость монтажа модуля; $t_{ц}$ — время монтажного цикла; N — число подъемов; n_p — количество монтажников; E — единовременные затраты; C_c — сезонные затраты; $C_э$ — эксплуатационные затраты; Y_m — уровень механизации монтажных работ; $Y_{к.м}$ — уровень комплексной механизации монтажных работ; Δt — экономия рабочего времени при механизации, автоматизации и роботизации монтажных работ; ΔQ — экономия трудозатрат на автоматизации и роботизации работ; $t_{ц}$ — продолжительность полного цикла монтажа модуля; $t_{в}$ — продолжительность вспомогательных операций; $V_б$ — расход бетона; V_m — расход металла; $P_э$ — расход энергии.



Рис. 2.5. Алгоритм методики выбора эффективного варианта технологии возведения полносборных зданий из трансформируемых модулей в условиях Севера

Выполнение сравнительного анализа различных технологий осуществляется после многофакторного анализа производственных процессов по вариантам, выявления основных зависимостей в технологии работ, определения области оптимальных решений рассматриваемых технологий. Эта

операция ввиду большого объема вычислений производится на ЭВМ. Заканчивается выбор технико-экономическим обоснованием конкретной технологии с расчетом технико-экономических показателей, разработкой схем комплексной механизации, автоматизации и роботизации, технологических и комплектovacных карт, подбором рационального комплекта машин.

Суммирование показателей может оказывать позитивное или негативное воздействие, если ТЭП соответствуют или противоречат друг другу. Например, продолжительность работ зависит от сезонности; увеличение количества рабочих снижает уровень механизации работ. Оснащение робототехникой уменьшает количество рабочих на стройке.

При этом основные критерии эффективности связаны с дополнительными критериями. Они могут меняться местами в зависимости от целей, задач и условий производства работ и технологии возведения модульных зданий.

Таблица 2.5

Основные технико-экономические показатели по изготовлению модуля

ТЭП	Расчетные формулы
Обобщенный показатель экономического эффекта \mathcal{E}_T , руб.	$\mathcal{E}_T = P_T - Z_T$ P_T — результат за определенный период Z_T — затраты по изготовлению модуля на заводе и стройплощадке за расчетный период
Себестоимость работ изготовления модуля (СНиП), руб.	$C = 1,08 \sum_{i=1}^n C_{м.ч} \cdot T_o + 1,53$
Себестоимость 1 модуля (m^3), руб.	$C_{м.ч} = E/T_o + \Gamma/T_\Gamma + C_{т.э}$
Удельные приведенные затраты к одному модулю (ВСН), руб.	$П_{уд} = 1,08 \sum_{i=1}^n \left(\frac{E}{V_o} + \frac{\Gamma}{V_\Gamma} + \frac{C_{т.э}}{V_\Gamma} \right) + 1,53$
Удельная себестоимость модуля, руб./ m^3 или руб./кг (ЕНиР)	$C_1 = C/V$

Примечание: E — единовременные затраты; V_o — объем работы на объекте (шт., m^3); V_Γ — годовой объем работ, m^3 ; V — объем работ, выполняемый за 1 ч; Z_p — заработная плата рабочих на ручных операциях; T_Γ — годовой фонд рабочего времени; T_o — продолжительность работы на объекте.

**Система технико-экономических показателей оценки технологии
возведения полносборных зданий из модулей**

ТЭП	Расчетные формулы
Продолжительность работы бригады монтажников на объекте t_0 , дн.	$t_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V \cdot Q}{8\text{Ч} \cdot K_{\text{см}}} + t_{\text{п}}$ <p>V — объем работ, м³ (шт. модулей) Q — трудоемкость работы, чел.-ч Ч — количество рабочих в бригаде, чел.-ч $K_{\text{см}}$ — количество смен $t_{\text{п}}$ — затраты на перебазирование бригады и оборудования с объекта на объект, чел.-дн.</p>
Потребность в кранах и монтажном оборудовании на 1 тыс. м ³ (шт.) модулей Количество кранов Z	$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_i / \Pi_{ij} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{см}}$ <p>Π_{ij} — сменная эксплуатационная производительность i-крана на j-объекте $K_{\text{в}}$ — коэффициент использования крана по времени</p>
Трудоемкость монтажных работ на 1 тыс. м ³ модулей на объекте Q_0 , чел.-дн.	$Q_0 = \sum_{i=1}^n V_i Q_{\text{н}}$ <p>V_i — объем в тыс. м³ (шт.) модулей $Q_{\text{н}}$ — нормативная трудоемкость в чел.-дн. на 1 тыс. м³ (шт.) модулей</p>
Заработная плата рабочих на объекте Z_p , тыс. руб.	$Z_p = \sum_{i=1}^n V_i Z_{\text{н}}$ <p>$Z_{\text{н}}$ — нормативная (договорная) заработная плата в руб. на 1 тыс. м³ (шт.) модулей</p>
Затраты на эксплуатацию строительных машин и робототехнических средств на объекте Z_m , тыс. руб.	$Z_m = \sum_{i=1}^n V_i Z_{\text{э}ij}, C_{\text{э}ij} = C_A + C_p + C_T + C_{\text{ос}}$ <p>C_A — затраты на амортизацию C_p — затраты на ремонт и амортизацию C_T — затраты на топливо (энергию), ГСМ $C_{\text{ос}}$ — затраты на технологическую оснастку</p>

Примечание. Технико-экономические показатели оценки технологии модульного строительства характеризуются значительной динамичностью и взаимозависимостью в зависимости от наличия автоматизированных линий, постов и сборочных площадок на объектах строительства.

**Матрица сравнения альтернативных вариантов возведения
полнооборных зданий**

Технико-экономические показатели	Единица измерения	Варианты		
		I	II	III
Удельная себестоимость $C_{1T} = C/P$	руб./т	C_1^1	C_1^2	C_1^3
Удельные трудозатраты $Q_{1M}^3 = Q/V$	чел.-ч/м ³	Q_2^1	Q_2^2	Q_2^3
Удельные трудозатраты $Q_{1T} = Q/P$	чел.-ч/т	Q_1^1	Q_1^2	Q_1^3
Удельная себестоимость $C_{1M\cdotч} = C/T$	руб./м-ч	C_3^1	C_3^2	C_3^3
Затраты времени $T_{1T} = T/P$	ч/т	T_1^1	T_1^2	T_1^3
Затраты времени $T_{1M}^3 = T/V$	ч/м ³	T_2^1	T_2^2	T_2^3
Удельная себестоимость $C_{1M}^3 = C/V$	руб./м ³	C_2^1	C_2^2	C_2^3

Использованный в работе метод моделирования с последующей многокритериальной оптимизации технологических решений показал, что ключевое значение принадлежит: технологичности проектных решений, упорядочению производства, точности сборки и шеф-монтажных работ на строительном объекте с помощью мобильного малогабаритного оборудования. В дальнейшем в п. 2.8 данного исследования будет описан уход от разноразмерности показателей при сравнении вариантов.

Разработанная схема, основанная на статистических данных и экспертных оценок, помогла провести сравнительный анализ по технико-экономическим показателям транспортировки модулей: стоимости, продолжительности, удельных трудозатрат. Основные факторы и весомость критериев оценки могут меняться местами в зависимости от целей, задач и условий работ и технологии.

Минимальные затраты выбранного варианта эквивалентны максимальному технико-экономическому эффекту, ожидаемому при внедрении данной технологии возведения полнооборных зданий из модулей [129].

При сравнении альтернативных вариантов различных технологий предпочтение отдается варианту с минимальными удельными затратами по

рассматриваемым технико-экономическим показателям, которые характеризуются динамичностью и взаимозависимостью. Если их недостаточно, то используют дополнительные показатели.

2.5. Структурно-функциональное моделирование многоуровневых и многокритериальных связей прогнозных высокотехнологичных процессов скоростного возведения полносборных зданий

Научное и технико-экономическое обоснование прогрессивных методов производства и контроля качества возведении модульных полносборных зданий позволяет повысить точность выполнения технологических операций, устранить трудоемкие операции, добиться экономии материалов и в целом способствовать росту качества конечной продукции — зданий из модулей и повышению эффективности монтажных работ.

Системный анализ технологических решений при возведении полносборных зданий. Процесс производства и монтажа модулей представляет собой сочетание во времени и пространстве материальных и эрготехнических элементов, направленных к единой цели — скоростное возведение полносборных зданий. Эта совокупность взаимосвязанных элементов образует сложную структуру технологической системы производства монтажных работ, которую нужно рассматривать в динамике на всех стадиях ее проектирования, осуществления и функционирования с изменяющимися характеристиками и свойствами отдельных элементов.

Принимая решение при проектировании и в организации строительства, инженер упрощает модель строительной системы, рассматривает отдельные подсистемы без связи с другими, чтобы сделать поставленную задачу технически выполнимой. Трудно формализуемые связи не учитываются вообще или учитываются интуитивно.

В процессе анализа технологической системы можно выявить структурную и функциональную подсистемы, которые взаимодействуют между

собой, соединяясь во времени и пространстве. Так, например, прямые связи определяют способ производства работ для принятых проектных решений, обратные связи проявляются в учете технологических требований производства работ при проектировании. Реже учитываются связи проектного решения с эксплуатацией конструктивных элементов, с реконструкцией сооружений.

В единой системе «модуль–здание», объединяющей структурную и функциональную подсистемы, связи между элементами описываются неполным ориентированным графом. В действительности же этот граф должен быть полным с прямыми и обратными связями для всех элементов.

Поскольку сложные системы в строительстве имеют иерархическую структуру с различным числом уровней и отличаются между собой целевой функцией (критерием функциональной эффективности), то системная оптимизация при поиске наилучших решений должна быть многоуровневой и многокритериальной, учитывающей связи в структурной и функциональной подсистемах. Однако достаточно полный учет этих связей остается пока за пределами наших возможностей из-за трудностей в переработке большого количества информации. В настоящее время появились новые технические средства, создаются автоматизированные банки информации, накапливаются статистические данные о связях в сложных строительных системах, появляется возможность быстро обрабатывать большое количество информации с помощью суперкомпьютеров. Таким образом, к настоящему моменту времени сформировались необходимые предпосылки и условия для осуществления системной оптимизации. Практическая реализация может быть следующей.

Классическая задача оптимизации сводится к поиску параметров системы, описываемой математической моделью связи между элементами вида:

$$R(x_1 \dots x_n) \leq 0, \quad (2.11)$$

при которых целевая функция F получила бы экстремальное значение

$$F(x_1 \dots x_n) = F \text{ min/ max.} \quad (2.12)$$

Здесь $i = 1, \dots, n$ — количество элементов в системе.

Выявление аналитической связи между элементами многоуровневой системы во многих случаях весьма трудоемко, сложно и не всегда целесообразно. Значительно проще разработать альтернативные варианты элементов в системе, оценить их по определенному критерию и затем осуществить синтез системы из отобранных элементов, что и делается на практике. Хотя и в такой постановке задача остается достаточно сложной и трудоемкой, но методически решить ее можно, используя методы системного анализа, в следующем порядке:

- 1) сформулировать задачу поиска оптимального решения;
- 2) выявить элементы системы — все факторы, по предварительным соображениям влияющие на конечный результат;
- 3) построить альтернативное дерево целей с учетом достаточно большого количества вариантов для всех уровней иерархии;
- 4) определить критерии системной оптимизации для оценки альтернативных решений;
- 5) провести оценку альтернатив в дереве целей и отсечь лишние ветви (варианты), оставив необходимые;
- 6) на основе полученного дерева целей провести синтез системы, т. е. сформулировать принятое решение для всей задачи.

Целевая функция при многокритериальной оценке варианта некоторого уровня в дереве целей имеет вид:

$$F_j = \sum_{i=1}^n \beta_i \delta_i, i = 1, \dots, k. \quad (2.13)$$

Системный критерий для всех элементов n уровней можно записать в таком виде:

$$\Phi_j = \sum_{j=1}^m F_j, j = 1, \dots, m. \quad (2.14)$$

Здесь k — число критериев; β_i — весовой коэффициент; Q_i — критерий; m — число вариантов.

Полный перебор альтернативных решений и сопоставление системных критериев вариантов дает возможность выбрать ветвь дерева целей с экстрема-

льным значением критерия, т. е. провести системную многокритериальную и многоуровневую оптимизацию и выбрать наиболее эффективное решение.

Моделирование технологических процессов возведения полносборных зданий из трансформируемых модульных систем при выполнении монтажных работ в условиях Крайнего Севера, и территорий приравненных к ним. Повышение эффективности строительства зданий при возведении модульных зданий требует разработки новых экономичных конструкций модулей и прогрессивных технологических решений производства работ. В связи с этим большое значение приобретают разработка научно-технических и экономических прогнозов в области проектирования и строительства зданий из модулей и модульных систем повышенной заводской готовности, использование прогнозов на практике. Научное прогнозирование позволяет осуществлять предварительную оценку эффективности практического использования будущих конструктивных и технологических решений, способствует улучшению качества проектных решений.

Разработка прогнозов в области проектирования и строительства модульных зданий, обоснование и выбор рациональных и перспективных вариантов, позволяющих экономить трудовые, финансовые, материальные и энергетические ресурсы, могут быть осуществлены в результате использования соответствующих математических моделей и компьютерных программ. Прогнозирование, обоснование и выбор решения — трудоемкие процессы, которые требуют больших трудозатрат, высокой квалификации проектировщиков и должны выполняться в сотрудничестве с технологами.

На рис. 2.6 приведена схема, отражающая методику формирования и выбора вариантов проектно-технологических решений модульного строительства. Возможности широкого внедрения того или иного варианта возведения модульных зданий во многом зависят от перспективы роста объемов строительного-монтажных работ, мощностей предприятий строительной индустрии, мощностей строительных организаций, парка строительных машин и оборудования, и целого ряда факторов прямого и косвенного влияния на

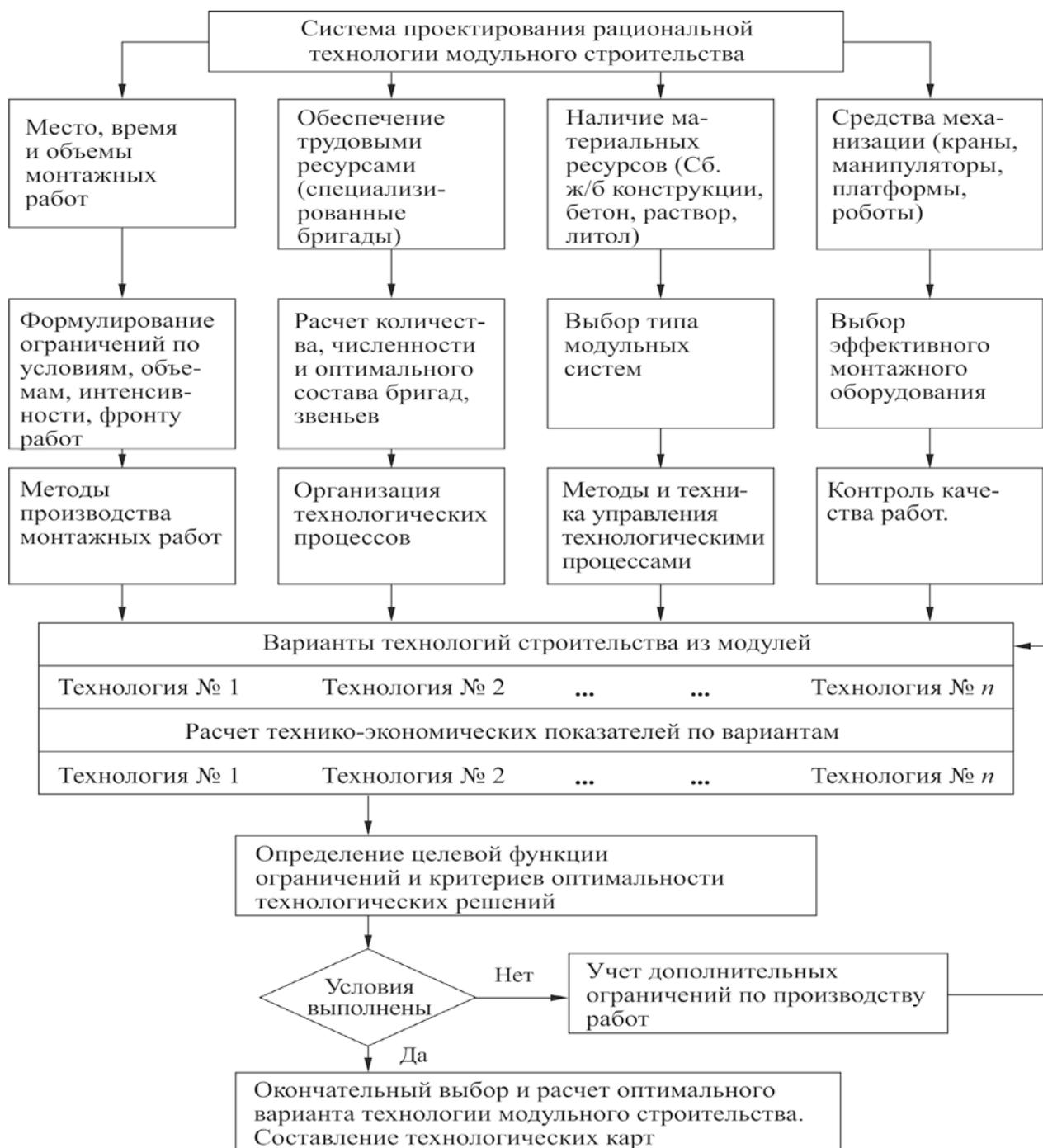


Рис. 2.6. Схема проектирования и выбора рациональной технологии модульного полносборного строительства зданий

производство работ. При наличии научно обоснованных прогнозов на определенный промежуток времени по определенным факторам влияния создается возможность разработки наиболее характерных проектно-технологических решений возведения модульных зданий, их сравнение по комплексу показателей технологичности и выбора лучшего варианта или ряда предпочтительных вариантов.

Для этих целей разработаны методы прогнозирования, комплексной оценки, автоматизации, роботизации и выбора технологичных ресурсосберегающих вариантов возведения модульных зданий и их технологической подготовки. Система моделей прогнозирования и выбора вариантов производства монтажных работ может рассматриваться как многоцелевая и многоуровневая. При реализации этих моделей оцениваются будущие качественные и количественные характеристики возможных, ожидаемых и допускаемых проектных решений.

Для количественного описания достигнутого или прогнозируемого уровня развития модульного строительства, качества проектных решений предлагается использовать матрицы $|A_i^t|$, $|B_{ig}^t|$, $|C_{ij}^t|$, $|D_{il}^t|$, где A_i^t — потребность в объемах монтажных работ i -го типа модулей в t -ом году перспективного периода в соответствующих природно-климатических и территориальных условиях (в стоимостных или натуральных единицах); B_{ig}^t — ожидаемый масштаб (объем) использования g -х ресурсов при проектировании и строительстве i -х модульных зданий в t -ом году перспективного периода; C_{ij}^t — характеристика j -го качества и надежности i -х модулей в t -ом году перспективного периода; D_{il}^t — i -я характеристика технологии и организации проектирования и строительства i -х модульных зданий относительно t -го года перспективного периода.

Для анализа и прогнозирования организационно-технических решений в области трансформируемого полносборного строительства автором рекомендованы следующие модели:

1. Модели прогнозирования объемов работ и потребности в материальных и трудовых ресурсах при возведении полносборных зданий различного вида и назначения в зависимости от объемов ПИР.
2. Модели прогнозирования показателей качества монтажа полносборных зданий из типовых модулей.

Прогнозирование прогрессивной техники и технологии скоростного модульного строительства. Полнобортное модульное строительство зданий представляет собой динамичную технологическую систему с большим разнообразием и многовариантностью решений даже в условиях Крайнего Севера, и территорий приравненных к нему, которые в каждом конкретном случае принимаются исходя из технико-экономического анализа и выбора наиболее эффективного или оптимального варианта возведения полнобортных зданий из модулей с учетом производственных, климатических и грунтовых условий строительства. Поиск оптимальной технологии строительства зданий из модулей связан с определением совокупности параметров и характеристик системы, которые обеспечивают минимизацию приведенных затрат, трудоемкости и продолжительности работ, социально-экологические, эргономические и другие требования.

Методика состоит в реализации следующих этапов [136]:

- анализ конструктивно-технологических решений;
- выбор и оценка эффективности перспективных машин и механизмов;
- прогноз технологичности модулей, индустриальности методов;
- прогноз эксплуатационных качеств модульных домов.

Для прогнозирования объект (технология) расчленяется на отдельные блоки (модули, элементы, техника и др.), так называемый метод технических стратегий. Для выполнения данных этапов составляется алгоритм с использованием современных компьютерных программ, после чего производится стыковка совместимых блоков с наиболее перспективными решениями. Формирование технологий скоростного модульного строительства более высокого уровня проводится следующим образом: I уровень технологии → выбор оптимальных решений → синтез подсистем → технология II уровня → перспективные разработки → технология III уровня. Технологию модульного строительства следует рассматривать в динамике ее развития и совершенствования, с учетом данных Федеральной службы государственной статистики РФ (рис. 2.7-2.8).

Количественная оценка прогноза перспективных технологий возведения полносборных зданий может быть определена по формуле:

$$d = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i / n \sum_{i=1}^n K_i,$$

где K_i — базисные оценки; α_i — весовые хар-ки; n — число показателей.

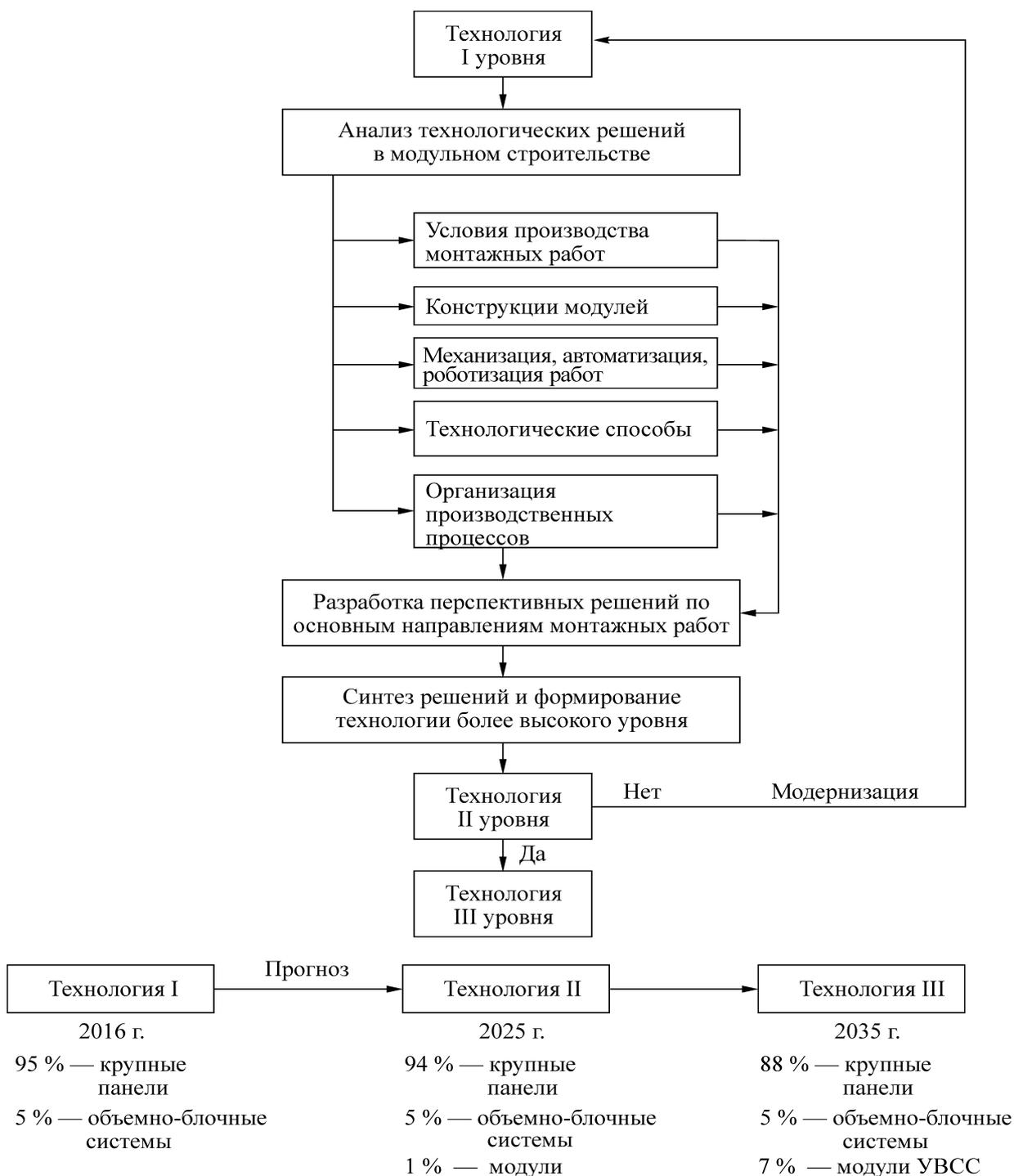


Рис. 2.7. Схема формирования перспективных технологий полносборного строительства в России

Диапазон оценки прогнозирования реальных и практически осуществимых технологий модульного полносборного строительства колеблется в пределах: $d = 0,3-0,9$. При этом технологии с $d > 0,6$ следует признать весьма перспективными.

Выбор метода производства монтажных работ предопределяет прогрессивную технологию, наиболее оптимальную для конкретных условий и направленную на получение наибольшего экономического эффекта. Способ производства работ, в отличие от метода, зависит от технологии приемов и используемых средств механизации.

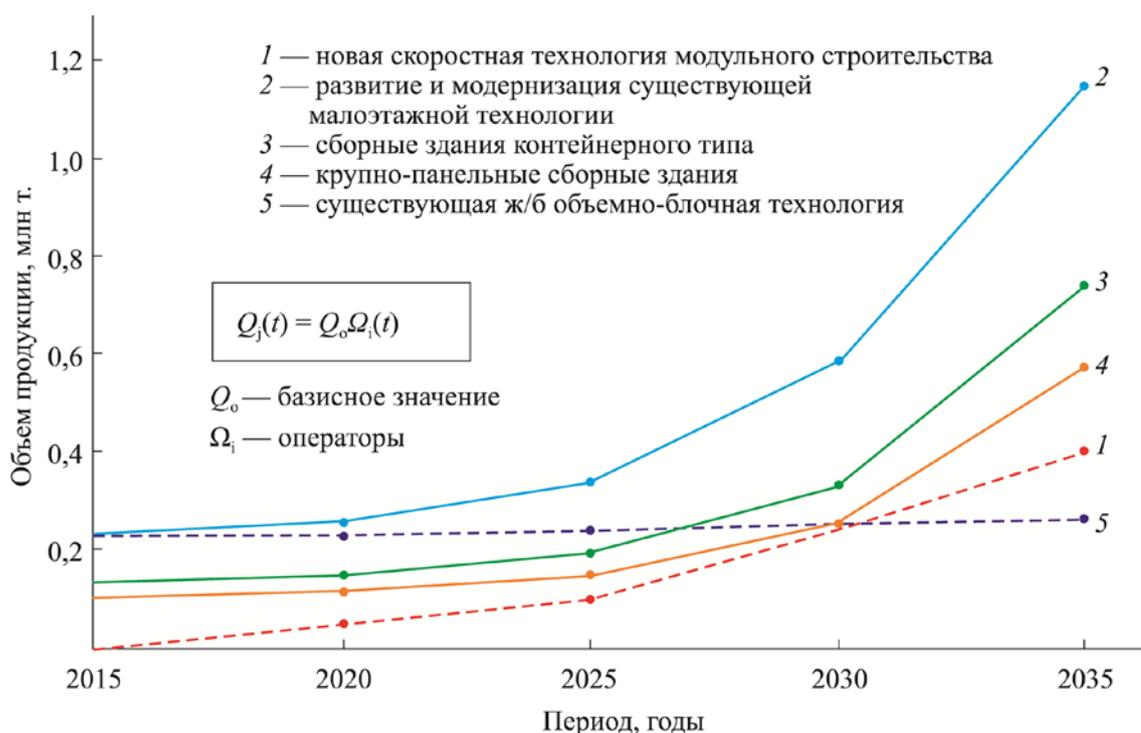


Рис. 2.8. Прогноз развития полносборного строительства зданий

Выбор организационно-технических решений должен быть увязан с объемами монтажных работ, погодными и грунтовыми условиями, материально-техническим обеспечением строительства грузоподъемной и вспомогательной техникой.

Метод производства монтажных работ определяется условиями строительной площадки, проектным решением устройства зданий из модулей, наличием техники для производства монтажных работ, где определяющими факторами являются объемы работ, типы модулей, условия строительства. Эти

факторы формируют технологический цикл производственных процессов, которые следует автоматизировать и роботизировать.

Комплект машин в каждом конкретном случае определяют на основании сопоставления различных вариантов ППР исходя из технико-экономических показателей (стоимости, трудозатрат и производительности) монтажных работ. Проектирование схем комплексной механизации, автоматизации и роботизации модульного строительства является задачей многофакторной.

Технологический цикл возведения полносборных зданий из модулей и модульных систем состоит из следующих работ: подготовительные (геодезические, разбивочные) — устройство ядра жесткости здания — монтаж типовых модулей здания — контроль качества монтажных работ — монтаж ограждающих конструкций. Данный перечень работ в зависимости от выбранной технологии варьируется с учетом комплексной механизации, автоматизации и роботизации технологических процессов.

Мероприятия по сокращению трудовых затрат на Севере и повышению качества монтажных работ можно представить в виде следующего перечня:

- совершенствование конструктивных решений модулей;
- применение новых материалов для изготовления модулей (фибробетон, сталебетон, высокопрочная сталь, композиты и др.);
- повышение степени заводской готовности модулей, технологичности конструкций и операций на всех стадиях производства;
- совершенствование организации монтажных работ; применение поточных и совмещенных методов производства работ;
- проектирование и внедрение комплексной механизации, автоматизации и роботизации монтажных работ;
- применение рациональных комплектов монтажной техники, прогрессивной технологической оснастки и малой механизации;
- применение эффективных средств закрепления и соединения модулей, подготовки мест для монтажа модулей полносборных зданий;
- разработка пассивных систем контроля и управления монтажом.

Совершенствование технологии и организации монтажных работ неразрывно связано с применением высокопроизводительных монтажных агрегатов, специального монтажного оборудования, поскольку индустриальные методы строительства полносборных зданий позволяют в большей мере устранить влияние климатических условий на производство работ. Наряду с использованием средств механизации, автоматизации и роботизации, приспособленных для работы в сложных климатических условиях, например Крайнего Севера, появляется возможность применять такие варианты механизации, которые позволяют получить наибольший экономический эффект при обеспечении высокого качества и надежности модульных зданий.

Анализ внутренней структуры технологии модульного строительства устанавливает взаимосвязь элементов и особенности той или иной технологии, позволяет прогнозировать формирование новых структур и резервов ТБ более совершенных технологий возведения полносборных зданий из модулей.

В перспективе строительство объекта полной готовности «под ключ» потребует разработки индивидуального проекта вместо типовых ПОС, ППР и может напоминать сетевую модель по многофункциональной сборке автомобиля или авиалайнера из многочисленных составных компонентов.

При этом важное влияние на себестоимость, продолжительность и трудоемкость монтажных работ оказывает сокращение подготовительных операций, предшествующих монтажу, и сокращение вспомогательных операций, выполняемых в процессе модульного строительства.

Методика прогнозирования прогрессивной техники и технологии скоростного модульного полносборного строительства требует оценки эффективности принятых решений, а также выбора оптимального комплекта монтажного оборудования, обеспечивающего наиболее высокие ТЭП.

Схема отражает варианты формирования перспективных технологий возведения полносборных зданий, так как варианты конструктивных решений модульных зданий и условий их возведения порождает большое количество технологических вариантов и соответствующих средств механизации монтажных

работ, требует принципиальной концепции строительства (стратегии и тактики), умелого управления со стороны заказчика и генподрядчика строительства.

2.6. Теоретико-игровой подход к проектированию скоростного высокотехнологичного монтажа зданий в условиях неопределенности

Развитие интенсивных технологий на базе модернизированной техники, роботов, прогрессивных технологических процессов и гибких технологий производства монтажных работ позволяет создавать принципиально новые ресурсо-энергосберегающие, безотходные, малооперационные эффективные технологии возведения полносборных зданий из модулей.

Автором разработан теоретико-игровой подход для практического применения в скоростном строительстве, позволяющий учитывать различную вероятность исполнения технологических операций с учетом многих факторов и условий при высокоскоростном строительстве зданий из модулей [181].

Предложена имитационная теоретико-игровая модель анализа производственных ситуаций в технологии и организации скоростного возведения зданий из модулей, в которой состав и очередность работ могут быть изменены при моделировании процессов выполнения модульного строительства с элементами различной технологической структуры (рис. 2.9).

Постановка задачи связана с определением рациональной технологии возведения полносборных зданий из модулей с минимальной трудоемкостью Q (продолжительностью работ T), если возможна реализация различных технологий по элементам $A_j - E_j$ в нескольких вариантах с вероятностью выполнения операций P_{ij} , коэффициентом трудоемкости работ K_{ij} , показателем весомости элемента (работ) в достижении цели V_{ij} .

Экономии строительства и эксплуатации добиваются за счет: унификации, облегчения, сборности, комплектации узлов и деталей; совершенствования конструктивных решений; уменьшения допустимых отходов; оптимизации производства деталей; архитектурному планированию

решений, монтажа энергоэффективного инженерного оборудования и систем электро-водо-газо-теплоснабжения, водоотведения, вентиляции; утилизации отходов, внедрения автоматизированных систем управления домами.

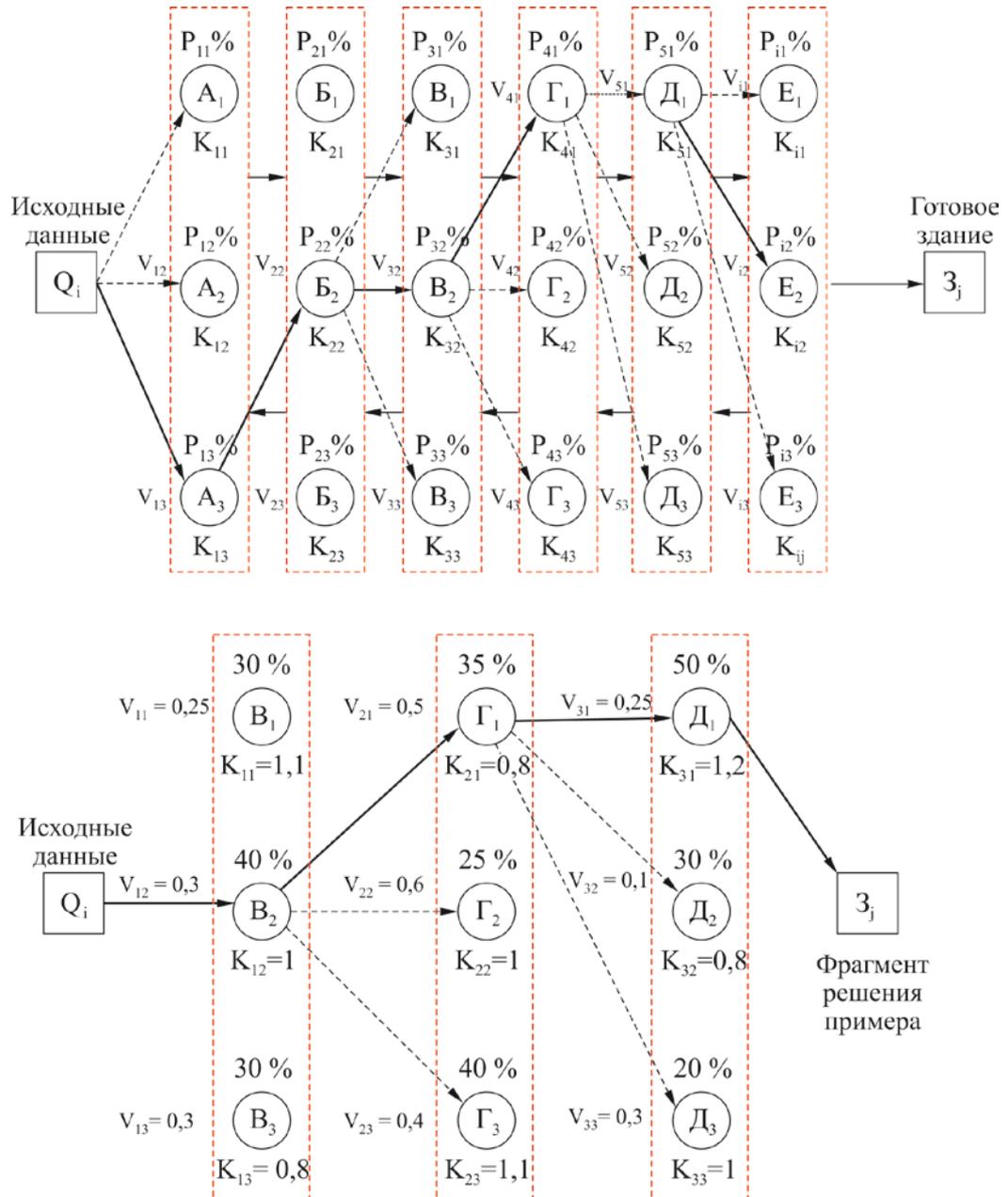


Рис. 2.9. Модель теоретико-игрового анализа и принятия решения при скоростном строительстве зданий из высокотехнологичных модулей: А — условия строительства; Б — производственные ситуации; В — варианты конструкций зданий модулей; Г — варианты технологических решений; Д — варианты механизации работ; Е — варианты контроля качества; З — готовое модульное здание

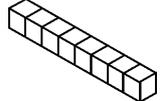
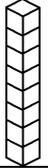
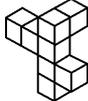
Например, основные принципы проектирования энергетически «эффективного дома» — это максимальное использование выделяемой внутри него тепловой энергии и максимальная защита от потерь тепла через наружные поверхности и вентиляцию, применение альтернативных источников энергии.

В условиях климата с низкими отрицательными температурами, присущего большей части нашей страны, следует уделять внимание тому, насколько здание подвержено отдаче тепла, особенно в условиях Крайнего Севера и Заполярья.

Например, с помощью объемно-планировочных решений удастся значительно снизить теплопотери. Отношение площади ограждающих конструкций к объему строения (коэффициент S/V) влияет на энергетическую эффективность здания. Чем меньше отношение площади ограждающих конструкций к объему, тем менее подвержено здание влияниям климата (табл. 2.8) [3, 103].

Таблица 2.8

**Отношение площади ограждающих конструкций к объему
полноборного здания**

	Объемно-планировочные решения					
Формы полно-борных зданий						
Коэффициент S/V	2,0	2,5	3,0	3,25	4,13	4,13

Следует заметить, что для обогрева дома, который считается дешевым в эксплуатации, может понадобиться либо 70, либо всего лишь 15 кВт/(м² год). Дома, отвечающие первому, более высокому уровню расхода энергии, называются энергосберегающими, или энергоэффективными. Их разновидностью являются пассивные дома, уровень энергии которых не превышает 15 кВт/(м² год).

Если сравнивать два дома, форма одного из которых полусфера (см. табл. 2.8, графа 2), а другого — куб (см. табл. 2.8, графа 3), то получим

следующее. Объем сферы составляет $V = \frac{4\pi R^3}{3} = 268 \text{ м}^3$, значит объем купольного дома (полусфера) составит 134 м^3 . Таким образом, при почти одинаковом объеме (130 м^3 против 134 м^3) площадь поверхности купольного дома составит $100,5 \text{ м}^2$. Следовательно, купольный дом потребует меньше затрат на обогрев (из-за снижения потерь на рассеяние тепла), минимум на 20%.

Возведение полносборных зданий из модульных систем с использованием принципов «устойчивого» строительства происходит при постоянном взаимодействии специалистов, отвечающих за архитектурные, конструктивные решения, «зеленые» технологии, начиная с момента зарождения концепции. Это обусловлено интеграцией составляющих для получения наибольшего эффекта от принятых мероприятий — найти оптимальное сочетание решений, которое позволит создать здание с максимально возможным соответствием экостандартам, учитывая природно-климатические условия местности, функциональное назначение, архитектурные предпочтения и требования нормативных документов.

Использование теоретико-игровой модели позволяет обрабатывать статистические данные, проверять различные многочисленные варианты при вероятностном подходе формирования технологии модульного строительства и находить оптимальный вариант решения.

Теоретико-игровая модель, представленная в виде технологического графа, состоит из отдельных ячеек технологического цикла, в которых с разной вероятностью назначаются технологические параметры, что дает возможность прогнозировать перспективные технологии и не допускать ошибок.

Применяя данную модель, разработчики «проигрывают» различные варианты технологических решений с учетом вероятностных значений элементов системы, имитируя внешние воздействия и изменения, которые могут возникнуть в реальной ситуации строительства зданий из модулей. Модель позволяет вести диалог с помощью компьютерной программы при выборе приемлемого решения с учетом заданных целей и ограничений.

2.7. Обратный многофакторный анализ динамичной высокотехнологичной системы монтажа укрупненных трансформируемых элементов повышенной заводской готовности в условиях Крайнего Севера

Монтажные работы представляют собой динамичную технологическую систему с большим разнообразием и многовариантностью решений, которые в каждом конкретном случае принимаются исходя из технико-экономического анализа и выбора наиболее эффективного или оптимального варианта строительства зданий из модулей с учетом производственных, климатических и грунтовых условий строительства. Поиск оптимальной технологии строительства зданий из модулей связан с определением совокупности параметров и характеристик системы, которые обеспечивают минимизацию приведенных затрат, трудоемкости и продолжительности работ, социально-экологические, эргономические.

Технологический блок (ТБ) возведения полносборных зданий из модулей имеет сложную структуру, состоящую из следующих основных взаимосвязанных между собой модулей:

$$ТБ = \{ |Ф_y|, |К_m|, |Т_p|, |О_{тп}|, |П_p|, |М_c|, |У_k|, |Э_t|, |А_p|, |П_k| \}, \quad (2.15)$$

где $Ф_y$ — функциональный модуль — совокупность требований к условиям работы объемных модулей на Крайнем Севере; $К_m$ — конструктивный — тип трансформируемых модулей, конструкций, колонн, несущих конструкций; $Т_p$ — технологический — совокупность технологических требований (норм, условий) для выполнения всего комплекса (основных и вспомогательных) монтажных и других работ; $О_{тп}$ — организационный — методы организации технологических процессов, увязка материальных и трудовых ресурсов во времени и пространстве; $П_p$ — производственный — методы и способы производства работ; $М_c$ — механизация процессов; подбор комплексов машин, средств комплексной механизации; $У_k$ — управление — методы контроля управления технологическими процессами, внедрение элементов АСУ ТП; $Э_t$

— экономический — технико-экономическая оценка и обоснование решений, расчет технико-экономических показателей вариантов производства работ; A_p — автоматизированный — автоматизированные и роботизированные системы монтажа; P_k — контролирующий — пассивные и виртуальные системы контроля качества.

Совершенствование технологии возведения полносборных зданий для Севера из модулей, оптимизация инженерных решений, а также проектирование и прогнозирование эффективной ресурсосберегающей технологии невозможно без анализа составляющих элементов отдельных блоков и синтеза взаимосвязанных элементов и блоков структуры ТБ.

Каждый ТБ представляет собой большой информационный массив, в котором необходимо решать многокритериальную и многоцелевую задачу со следующими критериями оптимизации: по удельной трудоемкости, себестоимости или приведенным затратам, продолжительности работ, экономии материалов и ресурсов.

Стыковка модулей ТБ осуществляется на основе синтеза полученных оптимальных решений с использованием метода технических стратегий.

Принцип модульной разбивки структуры монтажных работ упрощает проектно-технологическую подготовку строительства, устанавливает взаимосвязь элементов и особенности той или иной технологии, позволяет прогнозировать формирование новых структур ТБ более совершенных технологий. Как показал сравнительный анализ по составляющим ТБ, наиболее индустриальной технологией возведения полносборных зданий из модулей из существующих на момент настоящих исследований является строительство зданий из объемных модулей.

Целевые функции на различных стадиях выбора следующие: минимизация трудозатрат, продолжительности и стоимости работ на площадке, гарантированное качество и надежность зданий из модулей, минимальные затраты материальных и трудовых ресурсов представлены в табл. 2.9.

Модель многоцелевой выбора решений при модульном строительстве

Уровни и стадии оптимизации	Варианты инженерных решений, условий работ					Пример оптимального решения
	1	2	3	...	n	
Градостроительный комплекс, тип, серия, этажность здания	Γ_1	Γ_2	Γ_3	...	Γ_n	Жилое 16-этажное здание
Транспорт	A_1	A_2	A_3	...	A_n	Автомобильный
Тип элементов	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	...	\mathcal{E}_n	Сталобетон
Технология строительства	T_1	T_2	T_3	...	T_n	Высокотехнологичная строительная система
Роботизация работ	P_1	P_2	P_3	...	P_n	Транс-робот
Схема организации монтажных работ	O_1	O_2	O_3	...	O_n	Внецентренный монтаж
Контроль точности и качества	K_1	K_2	K_3	...	K_n	Радиочастотный метод
Ограждающие конструкции	H_1	H_2	H_3	...	H_n	Сэндвич-панели + стеклоблоки

В них используют наиболее эффективные инженерные сети. Для этого применяют возобновляемые источники энергии (солнечную, ветровую и т. п.) и наряду с этим обращают внимание на сокращение потерь тепла, повышение сопротивления теплопередачи, что обеспечивает хорошие условия регулирования теплообмена в здании и снижает энергозатраты.

Здания, конструктивно совмещенные с установками для утилизации возобновляемой энергии, называют энергоактивными. В них происходит совмещение несущих и технологических функций конструкций, что снижает длину прокладываемых коммуникаций.

Основные принципы проектирования энергетически эффективного дома — это максимальное использование выделяемой внутри него тепловой энергии и максимальная защита от потерь тепла через наружные поверхности и вентиляцию, применение альтернативных источников энергии.

Значительная потеря тепла в зимний период происходит через оконное остекление. Проследив изменение количества теплопотерь в зависимости от варианта остекления и сравнив их характеристики, можно сделать вывод, что снижения энергозатрат можно добиться путем грамотного выбора остекления.

Энергопотребление зданий, как уже было сказано, можно снизить за счет ориентации здания, что актуально для нашего климата, особенно в зимний период. Ориентируя основной фасад здания на южную сторону, получим дополнительную возможность обогрева здания за счет солнечной энергии в холодные месяцы года, что понизит стоимость обогрева. Южное направление также увеличит использование светового дня, следовательно, снизится потребление в электрическом освещении в течение дня. Южная ориентация здания также может использоваться для получения солнечной энергии или нагревания воды для обогрева самого здания.

Все перечисленные выше факторы позволяют обеспечить хорошие условия регулирования теплообмена в здании, снизить энергозатраты и улучшить микроклимат помещений. Однако использование инноваций в области энергосбережения не достаточно при создании энергоэффективного дома. Всегда присутствует человеческий фактор, негативно влияющий на конечный результат, т. е. возникает нерациональное расходование тепловой энергии. Одна из причин этого — низкое качество и неплотности сопряжений, окон, дверей, ограждающих конструкций.

При оценке теплопроводности теплоизоляционных материалов не учитывается наличие инфильтрации, в то время как в зимний период холодный воздух проникает в помещения при инфильтрации через стены, стыки и неплотности окон. Проходя через толщу стены, он вызывает снижение температуры ограждения и на его поверхности, а проникая в комнату, охлаждает внутри воздух и вызывает дополнительные потери теплоты. Фильтрация воздуха приводит к увеличению тепловых потерь через ограждения почти в 2 раза.

Другое слабое место — сопряжение окон с наружными стенами. Здесь при косом дожде вода часто попадает в тело панелей, ухудшая их теплозащитные свойства и разрушая строительную конструкцию. Возможно попадание влаги в утеплитель и из-за некачественного выполнения стыков панелей, соединения мембран. Нередко вода в этих местах проникает и в жилые помещения. В результате термическое сопротивление стен в таких зданиях в 4–5 раз ниже нормативного.

Ухудшение теплозащитных свойств в холодную пору года ведет к образованию на внутренней поверхности конденсата и даже черной плесени, промерзанию панелей. Затраты на отопление таких зданий увеличиваются.

С такими проблемами, в частности с появлением конденсата на внутренних поверхностях стен в местах стыков модулей, приходится сталкиваться как в зданиях постройки прошлых лет, так и в современной застройке. Это говорит о том, что стыковые соединения не удовлетворяют современным требованиям энергоэффективности ни с конструктивной точки зрения, ни, в первую очередь, с точки зрения качества выполнения работ.

Несовершенство нерегулируемых систем естественной вентиляции также является причиной нерационального использования энергии. В зимний и, в общем случае, в любой другой период, в течение которого производится отопление помещений, энергия затрачивается, в том числе, на подогрев вентилируемого воздуха. Затраты на вентиляцию современных зданий при составлении энергетических паспортов оцениваются в 40–50 % всех затрат на отопление. При этом требуемый уровень воздухообмена необходим как в «холодных» домах, так и «теплых». Отсюда следует, что как бы мы ни утепляли здание, расходы тепла на вентиляцию, без использования специальных инженерных методов, уменьшаться от этого не будут, и чем теплее у здания будет «шуба», тем большими в относительном выражении будут затраты на вентиляцию».

Тепловизионный (с использованием инфракрасной съемки) контроль качества строительного-монтажных работ позволит навести порядок на

строительных площадках, повысит ответственность строителей за выполнение «скрытых работ», даст информацию разработчикам и производителям по совершенствованию конструкций и инженерного оборудования.

Из вышесказанного понятно, что повышение энергоэффективности рациональным и экономически целесообразным способом является сочетание конструктивно-инженерных решений, например увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций при одновременном использовании современных инженерных энергосберегающих методов.

Поиск оптимальной технологии строительства зданий из модулей связан с определением совокупности параметров и характеристик системы, которые обеспечивают минимизацию приведенных затрат, трудоемкости и продолжительности работ, социально-экологические, эргономические и другие требования. Предлагаемый анализ устанавливает взаимосвязь элементов и особенности той или иной технологии, позволяет прогнозировать формирование новых структур ТБ более совершенных технологий возведения полносборных зданий из модулей [115].

2.8. Квалификационно-матричная система ранжирования высокотехнологичных строительных систем с учетом близости к рациональному варианту инженерно-технологических решений

2.8.1. Исследование аддитивных факторов совершенствования технологии скоростного возведения полносборных зданий в условиях Крайнего Севера

В качестве исходных данных для матриц используют СП, СНиП, ЕНиР, ГОСТ, ТСН, РТМ (руководящие технические материалы), технические регламенты и условия, МДС и другие документы. Классификацией их серьезно не занимались, упразднены НИИ труда и другие, но сейчас есть цифровые технологии для обработки больших массивов данных. В результате мы имеем распределенные по классам, уровням, индексам серию матриц: $[M_m]$ —

матрицы по материалам; $[M_K]$ — матрицы по строительным конструкциям; $[M_T]$ — матрицы по технологиям. Затем по специальным программам ПК находится оптимальный вариант близости к идеальному варианту инженерного решения, путем сложения полученных матриц мы получаем комплексную матрицу принятия решения (M). Такая методика исключает грубые ошибки при составлении матриц и выдает различные вариации комплексных технологических решений.

Приведем некоторые соображения о разнообразии матриц и применении их в строительстве. Известны матрицы для изготовления различных видов строительной продукции, в том числе модифицированного кирпича; математические матрицы, с которыми можно производить действия с огромным объемом информации в цифровом формате; новый вид информационно-технической матрицы, который является виртуальным кирпичиком в кладке новых проектируемых на ПК зданий. Матрицы могут быть многослойные, многоярусные, исполненные в системе 3D...6D. Основой матрицы должна быть действующая нормативная база. Многообразные действия с матрицами будут порождать новые идеи проектирования зданий из оптимальных и наиболее рентабельных материалов и композитов нового поколения. После цифровой обработки матриц на выходе мы сразу имеем оптимальное решение осуществления нашего проекта. Всё это представляет глубокую многостороннюю подготовку строительного производства с использованием информационных технологических матриц. Особенно это ценно применять в сложных и неопределенных условиях строительства, связанных с большими рисками при строительстве. Экономия затрат материалов, ресурсов и времени огромная.

Задача полученной общей матрицы состоит в том, чтобы выстроить разные уровни системы и последовательного перехода от материалов к строительным конструкциям и далее к технологиям производства.

Экспертное оптимальное решение имеет следующий вид: $R = (N, X)_N, (f)_{j=1}^m$, где $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ — множество рассматриваемых технологий; $N = \{1, \dots, n\} \in N$ — множество экспертов .

Для экспертов $i \in N, x_j > x_k$; технология x_k хуже технологии $x_j, f_j \in \{0, \dots, n-1\}, f_j$ — критическое число технологии x_j . Если за x_j голосуют не меньше экспертов, чем f_j , то x_j — коллективный выбор технологии.

Оптимальное решение из многообразия вариантов объемно-планировочных решений зданий может быть достигнуто по направлениям: вид и конструкция здания, технология, организация и механизация работ по возведению полносборных зданий.

Каждый вариант представляет множество различных характеристик, таких как показатели эффективности (стоимость m^2 , оперативность монтажа, степень заводской готовности, трудозатраты по монтажу, затраты по транспортировке), критерии оптимальности (перекрываемый пролет, долговечность, удельный вес $1 m^2$ каркаса, удельный вес $1 m^2$ покрытия, размеры) и др.

В исследовании есть многокритериальная задача, основная трудность решения которой заключается в многообразии критериев строительства, поэтому задача исследования — перейти к безразмерным единицам, использовать критерий Сэвиджа и Вальда.

Переход в расчетах к безразмерным единицам или так называемое нормирование показателей производится следующим образом:

$$\bar{x}_{ij} = \left(\frac{x_{ij}}{x_j^*} \right)^2, \text{ при } x_j^* = \max; \quad \bar{x}_{ij} = \left(\frac{x_j^*}{x_{ij}} \right)^2, \text{ при } x_j^* = \min, \quad (2.16)$$

где \bar{x}_{ij} — нормализованное значение; x_{ij} — исходное значение; x_j^* — оптимальное значение показателей эффективности.

Аналогично, методом нормализации векторов

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (2.17)$$

Наилучшей величиной каждого безразмерного показателя эффективности, полученной по выражениям (2.16)–(2.17), является наибольшая.

Дальнейшее преобразование матрицы:

$$P_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^2}}, \quad (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (2.18)$$

Уровень энтропии E_j для каждого показателя:

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}, \quad (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (2.19)$$

Уровень изменчивости j -го показателя эффективности:

$$d_j = 1 - E_j, \quad (j = \overline{1, n}). \quad (2.20)$$

Весомость разноразмерных показателей эффективности:

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad (j = \overline{1, n}). \quad (2.21)$$

Автор считает необходимым проверять согласованность оценки различных привлеченных специалистов. Для достаточной надежности предложенного метода при необходимости исключать значения с большой несогласованностью. Блок-схема алгоритма приводится на рис. 2.10.



Рис. 2.10. Алгоритм метода экспертной оценки

Последовательность алгоритма определения весомости показателей представлена определением:

- преобразования данных в матрицу P ;
- нормализации матрицы \bar{P} ;
- уровня энтропии E_j ;
- уровня изменчивости d_j показателей эффективности;
- весомости показателей q_j .

Коэффициента детерминации, критерий Фишера, критерий Стьюдента и ранговый коэффициент корреляции Кендалла проверяет надежность экспертизы:

$$W = \frac{4}{k(k-1)} \sum_{i,j=1}^n \frac{C_{pij}^2}{n(n-1)}, \quad (2.22)$$

где k — число экспертов; n — количество показателей эффективности;

Суммарное число наблюдений:

$$C_{pij} = \sum_{ij} X_{ij}^2 - k \sum_{ij} X_{ij} + C_k^2 C_n^2, \quad (2.23)$$

где $C_k^2 = \frac{K!}{2((K-1)!)}$; $C_n^2 = \frac{N!}{2((N-1)!)}$.

Значения коэффициента конкордации W от 0 до 1; $W = 1$, если мнения экспертов полностью согласованы; если $W = 0$, считается, что мнения экспертов не согласованы, и следует обратить на это внимание, либо заменить эксперта.

Расчет коэффициента можно произвести на ПК, например, в программах SPSS или Statistica, из чего автор может сделать вывод о том, что эксперты сходятся или расходятся в необходимости включения показателей отобранных вариантов.

При этом для отобранных показателей W не дает ответа на вопрос, какие из них оставить, а какие исключить. Для этого автор рекомендует в дальнейшем дополнительно использовать значения коэффициента вариации.

Представленным исследованием определены: направления совершенствования монтажа зданий из высокотехнологичных модулей и оценены важность и приоритетность данных факторов (табл. 2.10).

В качестве экспертов автор привлекал преподавателей строительных вузов и квалифицированных специалистов. Согласованность, весомость факторов, достоверности оценок имеют постоянную динамику и требует проверки.

Выявленная система значимых факторов и их весомость представлена в таблице. Приведенные наиболее важные факторы, по мнению опрошенных специалистов, показывают ценность способов монтажа полносборных зданий из объемных модулей с учетом выявленных показателей.

**Факторы влияющие на технологичность и совершенствование технологий
полносборного строительства в условиях Крайнего Севера**

Технико-экономические показатели	Весомость q
Трудозатраты монтажа полносборных зданий , чел.-ч/м ²	0,150
Сроки монтажа по технологии (100 м ²), дн.	0,150
Долговечность возводимых зданий, лет	0,149
Требуемое количество рабочих (100 м ²), чел.	0,101
Удельный вес 1 м ² монтажного элемента, кг	0,052
Перекрываемый пролет зданий, м	0,047
Требуемое подъемно-монтажное оборудование, шт.	0,098
Вес 1 м ² каркаса полносборного здания, кг	0,031
Затраты по транспортировке, балл	0,071
Высота этажа полносборного здания, м	0,051
Стоимость 1 м ² построенного здания (цены 2016 г.), руб./м ²	0,103
	$\Sigma = 1,00$

Факторы по результатам совершенствования технологий возведения в условиях Крайнего Севера зданий из трансформируемых модулей УВСС:

- время монтажа;
- стоимость;
- трудозатраты по монтажу;
- долговечность.

Предложенный перечень факторов для разработки перспективной технологии монтажа зданий из высокотехнологичных модулей отражает наиболее важные из них. Весомость приведенных факторов — это научно-обоснованная база для совершенствования технических решений.

2.8.2. Выбор рационального варианта монтажного элемента высокотехнологичной строительной системы

Предложенная в п. 2.8 методика вариантного проектирования использована при выборе оптимального варианта возведения полносборных зданий из модулей УВСС в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Тюменской областях. Расчет и алгоритм вариантного проектирования монтажа полносборных модульных зданий приведен в табл. 2.11 и рис. 2.11.

Таблица 2.11

Технико-экономические показатели различных монтируемых элементов

Технико-экономические показатели	Варианты монтируемых элементов			Весомость q
	I	II	III	
Долговечность возводимых зданий, лет	100	100	100	0,149
Требуемое количество рабочих (100 м ²), чел.	8	6	2	0,101
Сроки монтажа по технологии (100 м ²), дн.	9	6	1	0,150
Затраты на транспортировку, балл	6	3	1	0,071
Высота этажа полносборного здания, м	6	3	6	0,051
Перекрываемый пролет здания, м	12	6	12	0,047
Стоимость 1 м ² построенного здания (цены 2016 г.), \$/м ²	550	300	350	0,103
Трудозатраты на монтаж, чел.-ч/м ²	2,5	0,56	0,2	0,150
Требуемое подъемно-монтажное оборудование, шт.	2	1	1	0,098
Удельный вес 1 м ² монтажного элемента, кг	600	1190	300	0,031

Примечание: I вариант — возведение зданий поэлементно; II — возведение зданий из панелей; III — возведение из высокотехнологичных объемных модулей УВСС.

Таблица 2.12

Показатели различных теплоизоляционных материалов

Технико-экономические показатели	Виды теплоизоляционных материалов					q
	А	Б	В	Г	Д	
Затраты труда на теплоизоляцию, чел.-ч	20,04	7,11	10,03	20,04	18,17	0,148
Паропроницаемость, $\frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$	0,31	0,10	0,03	0,38	0,015	0,101
Водопоглощение, не более, % по объему	1	4	5	35	0,2	0,051
Теплопроводность при (25 ± 5) °С, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°С}}$	0,038	0,09	0,08	0,035	0,030	0,151
Огнестойкость, класс	НГ	Г1	НГ	НГ	Г4	0,048
Прочность на сжатие, МПа	0,045	0,5	1,1	0,3	0,5	0,050
Расчетное сопротивление теплопередаче, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$	2,11	1,56	1,5	2,00	2,00	0,148
Стоимость 1 м ³ (цены 2016 г.), руб.	5450	3000	5500	5600	5000	0,050
Плотность, кг/м ³	145	300	200	30	45	0,102
Толщина, мм	80	140	120	70	60	0,148

Примечание. Д – экструзионный пенополистирол, Г – пенобетон, В – пеностекло, Б – пенополистиролбетон, А – минеральная вата.

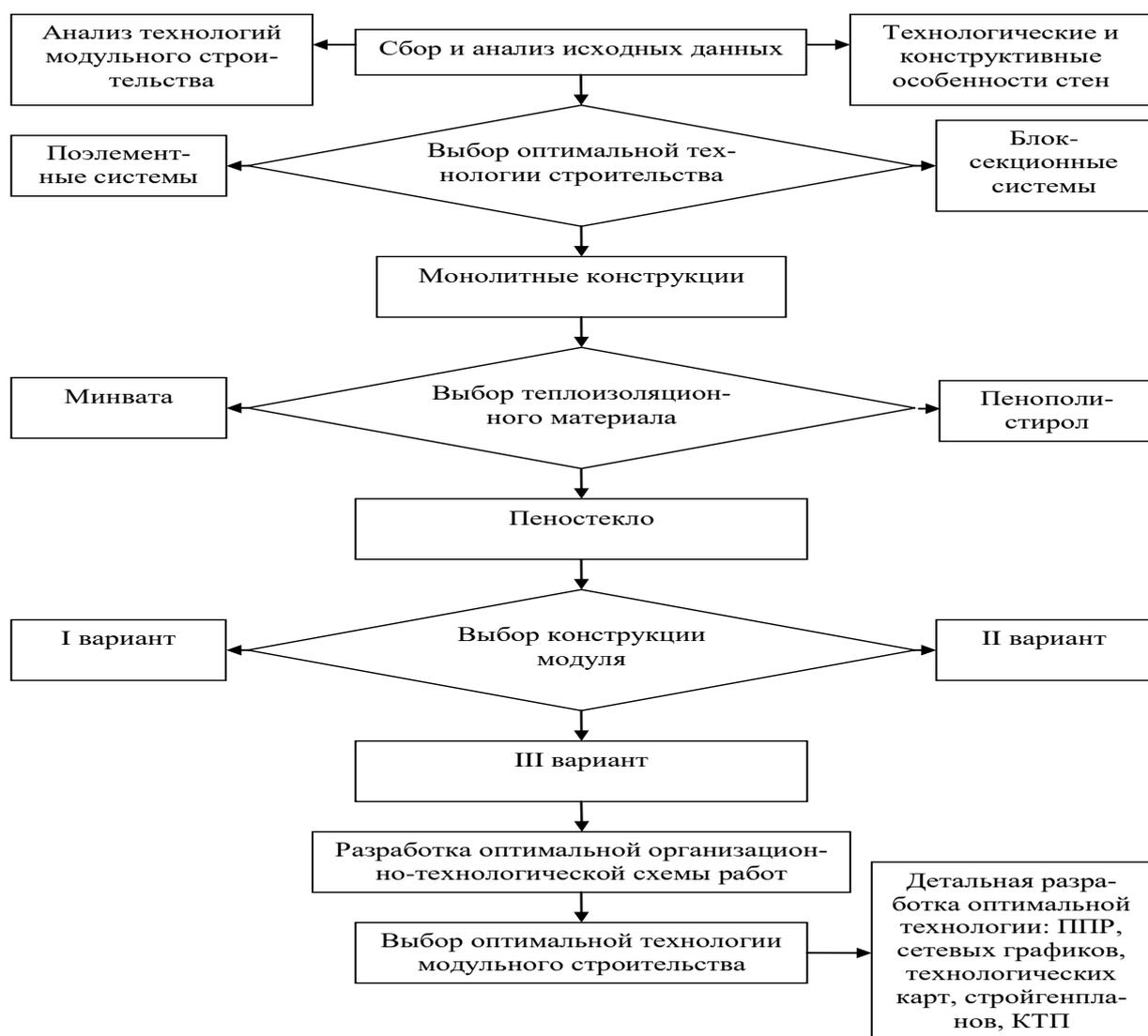


Рис. 2.11. Алгоритм вариантного проектирования технологии полносборного модульного строительства

Далее выбирается по параметрам теплоизоляция зданий (табл. 2.12).

Таблица 2.13

Результаты анализа вариантов модульного строительства

Варианты теплоизоляционных материалов для конструкций модулей	Относительный коэффициент близости к оптимальному варианту
Теплоизоляционные материалы: пенополистиролбетон	0,227
пеностекло	0,773
пенобетон	0,543
Конструкция модулей УВСС: I вариант	0,511
II вариант	0,742
III вариант	0,537

Результаты компьютерного расчета полученных матриц сравнительного анализа даны в табл. 2.13.

2.8.3. Выбор рациональных технологии скоростного возведения полносборных зданий в условиях полной неопределенности

Научное и технико-экономическое обоснование прогрессивных методов производства и контроля качества модульных зданий позволяет повысить точность выполнения технологических операций, устранить операции, добиться экономии материалов и в целом способствовать росту качества конечной продукции и повышению эффективности монтажных работ.

Составим исходную матрицу принятия решений (табл. 2.14).

Таблица 2.14

Исходная матрица с вариантами технологических схем

Технико-экономические показатели	Технологические схемы монтажа				
	Поэлементный		Высокотехнологичный	Объемно-блочный	Весомость q
	Деревянный каркас	Стальной каркас			
1	2	3	4	5	6
Формообразование, балл	6	10	4	2	0,024
Простота монтажа, балл	0,8	0,3	1	0,2	0,0333
Рабочий разряд	3	3	3	4	0,0213
Транспортные затраты, балл	5	2	1	8	0,052
Долговечность, лет	30	80	90	90	0,0426
Подъемные механизмы, шт.	1	1	1	2	0,014
Вес покрытия, кг/м ²	200	350	400	750	0,0233
Антисептики	+	-	-	-	0,0133
Вес каркаса, кг/м ²	150	250	300	650	0,012
Перекрываемый пролет, м	8	12	12	6	0,034

1	2	3	4	5	6
Огнестойкость, балл	3,2	6,5	12	15	0,0133
Качество технологии, балл	7	9	10	8	0,150
Обучаемость техно-гии, дн.	13	8	2	14	0,0306
Этажность здания, этаж	2	35	35	16	0,0333
Максимальная высота этажа, м	6	6	6	2,8	0,014
Количество рабочих (100 м ²), чел.	6	8	2	9	0,024
Время монтажа (100 м ²), дн.	12	9	0,1	5	0,1506
Огнестойкость, мин	30	45	90	90	0,014
Стоимость 1 м ² здания (цены 2016 г.), \$/м ²	300	550	350	300	0,148
Трудозатраты по монтажу, чел.-дн./м ²	1,4	2,5	0,2	1,8	0,152

Пусть v_i , $i = \overline{1, m}$ — возможные варианты, а x_j , $j = \overline{1, n}$ — их частные критерии оптимальности, то v_i будет характеризоваться определенным вектором критерия оптимальности:

$$v_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}). \quad (2.24)$$

Исходная матрица принятия решений P (табл. 2.16):

$$P = \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ v_i \\ \cdot \\ v_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & x_{1j} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & x_{2j} & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdot & x_{ij} & \cdot & x_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & x_{mj} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

В матрицу P варианты, которые не удовлетворяют требованиям ГОСТ, СП, ТУ или проектному заданию, не включаются:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}, \text{ при } x_i = \max x_{ij}, 0 \leq x_{ij} \leq 1, i = \overline{1, m}; \quad (2.26)$$

$$a_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} = \frac{\min x_j^*}{x_{ij}},$$

где a_{ij} — нормализованное значение; x_{ij} — исходное значение и x_j^* — оптимальное значение для каждого показателя.

Проведем поиск оптимума по методу Вальда (по критерию максимина (критерий Вальда) и методу Сэвиджа:

$$a_{ij} = \left(\frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \right); \quad a_{ij} = \left(\frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \right). \quad (2.27)$$

Преобразуя исходную матрицу $P = [x_{ij}]$, ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$) в матрицу принятия решения $\bar{P} = [a_{ij}]$: ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$), получим

$$\bar{P} = \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ v_i \\ \cdot \\ v_m \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1j} & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & a_{2j} & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdot & a_{ij} & \cdot & a_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & a_{mj} & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Таблица 2.15

Нормализованная матрица P

I	II	III	IV
0,6	1	0,4	0,2
0,3	1	0,7	0,2
0,67	0,67	1	0,5
0,4	1	0,67	0,25
0,04	0,04	0,035	1
1	1	1	0,5
0,3	0,4	1	0,22
0	1	1	1
0,3	1	0,86	0,15
0,33	0,5	0,5	1
1	0,8	0,87	0,35
0,7	0,9	1	0,8
0,08	0,13	1	0,07
0,2	0,4	0,4	1
0,5	0,7	1	0,58
0,38	0,5	1	0,3
0,07	0,1	1	0,14
0,19	0,88	1	0,63
0,5	0,6	1	0,43
0,25	0,3	1	0,25

Имея матрицу принятия решений \bar{P} , можно определить ряд предпочтительностей:

$$\{v_i\} = \{v_i > v_b, \dots, v_i > v_m\}; \quad (2.29)$$

$$(v_j \in V, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (2.30)$$

Матрица оптимизации вариантов возведения зданий с безразмерными величинами вычисляется по формуле

$$K_i = \sum_{j=1}^n q_j a_{ij}, \forall ij (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (2.31)$$

Наглядно оптимальный вариант показывает полученная преобразованная матрица (табл. 2.16).

Таблица 2.16

Преобразованная матрица P

I	II	III	IV
0.012	0.02	0.008	0.004
0.006	0.02	0.014	0.004
0.007	0.007	0.01	0.005
0.02	0.05	0.034	0.013
0.002	0.002	0.001	0.04
0.01	0.01	0.01	0.005
0.006	0.008	0.02	0.004
0	0.01	0.01	0.01
0.003	0.01	0.009	0.002
0.013	0.02	0.02	0.04
0.01	0.008	0.009	0.004
0.105	0.135	0.15	0.12
0.002	0.004	0.03	0.002
0.006	0.012	0.012	0.03
0.005	0.007	0.01	0.006
0.02	0.025	0.05	0.015
0.011	0.015	0.15	0.021
0.002	0.009	0.01	0.006
0.075	0.09	0.15	0.065
0.038	0.045	0.15	0.038

В условиях полной определенности благодаря наличию показателей весомости q , определенных экспертами, принятие решения имеет смысл.

Критерий max/min будет максимальным для благоприятного варианта возведения зданий:

$$K_i = \sum_{j=1}^n q_j a_{ij}, \forall ij (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (2.32)$$

Специалист может выбрать тот вариант технологий, который гарантирует ему наибольший эффект:

$$\max/\min a_{ij} \geq C. \quad (2.33)$$

Проведем поиск оптимума по методу Вальда. Результаты выбора оптимального варианта с использованием компьютерной программы на основе матрицы оптимизации представлен ниже (табл. 2.17).

Таблица 2.17

Результаты оптимизационного анализа технологий

	Поэлементный на деревянном каркасе	Блочно-конвейерный	Поэлементный на стальном каркасе	Высокотехнологичный монтаж
Σ	0,387	0,434	0,487	0,657

Следовательно, оптимальным по критериям Вальда и Сэвиджа является четвертый вариант: поэлементная < высокотехнологичная технология.

По результатам многокритериальной оптимизации технологических решений на 51,4% наиболее оптимальными в условиях Крайнего Севера являются объемно-модульные конструкции системы УВСС.

2.8.4. Выбор рациональных энерго-ресурсосберегающих режимов скоростного монтажа полносборных зданий из модулей

Неопределенные условия процесса монтажа полносборных зданий происходит при сложных или суровых климатических условиях Крайнего Севера, что существенно влияет на производство работ. Задача состоит в выборе эффективного режима монтажа полносборных зданий с наиболее высокой производительностью процесса монтажа при котором обеспечивается бездефектная энерго-ресурсосберегающая технология. Математическая модель системы «модуль–здание» — воздействие монтажного механизма (крана, робота) представлена в виде игры. Рассмотрены различные способы монтажа зданий и управления процессом возведения полносборных зданий.

На рис. 2.12 приведен алгоритм решения задачи оптимального управления процессом монтажа модулей здания, где указано: 1 — ввод исходных данных (характеристики монтажного процесса, климатические условия);

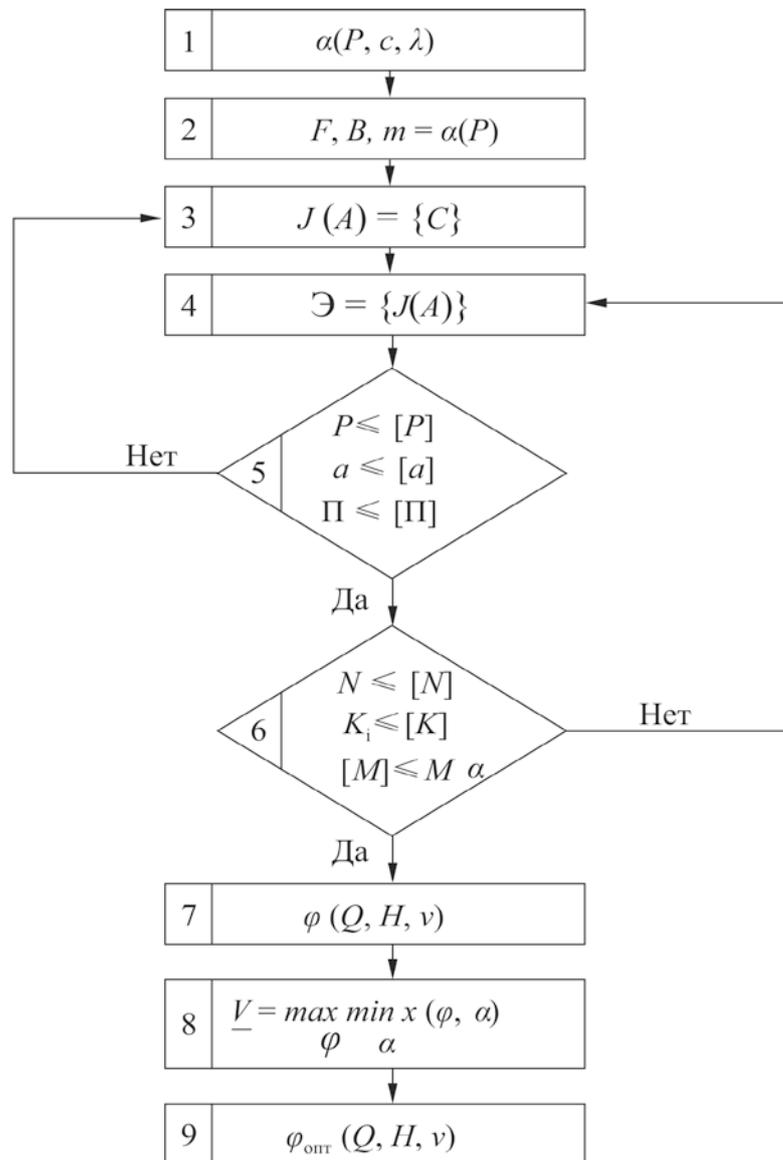


Рис. 2.12. Алгоритм решения задачи оптимального управления процессом монтажа полносборных модульных зданий

2 — уточнение параметров монтируемых модулей (длина, ширина, масса); 3 — выбор способа монтажа элементов; 4 — выбор эффективного монтажного оборудования из существующего парка грузоподъемных машин; 5 — проверка расчетных параметров на допустимые нагрузки (по несущей способности модулей, огнестойкости $[a]$, стабильности стыков $[\Pi]$); 6 — проверка монтируемых модулей на качество и прочность; 7 — выбор параметров высокотехнологичного монтажа; 8 — определение гарантированного положительного результата в расчете на самый худший вариант производства монтажных работ; 9 — определение оптимальных параметров и режима работы монтажного робота на отдельных этапах

возведения зданий. Методами математического анализа находятся оптимальные решения для вероятных вариантов производства монтажных работ.

При решении оптимизационных задач автором использовался принцип максимизации эффекта или минимизации затрат. Выбор оптимальных стратегий монтажника-технолога для конкретных примеров производился по критериям Вальда, Сэвиджа, Гурвица, Бернулли-Лапласа, Байеса, многокритериальной оптимизации по Парето, обобщенному и комбинированному критериям оптимальности с использованием готовых компьютерных программ.

Критерии оптимизации технологических решений для создания энергоэффективных режимов и технологий монтажа приведены в табл. 2.18.

Таблица 2.18

Принципы оценки энергоэффективности и критерии оптимизации технологических режимов монтажа полносборных зданий

Критерии оптимизации	Формула	Примечание
1	2	3
Критерий минимальных затрат — критерий Вальда	$\min y_i^{\max} = \min \max_{j} y_{ij}$	y_{ij} — затраты при использовании совокупности параметров i и данных j
Критерий минимального риска — критерий Севиджа	$\min R_i^{\max} = \min \max_{j} R_{ij};$ $R_{ij} = y_{ij} - \min y_{ij}$	R_j — величина риска при использовании параметров i , исходных данных j
Обобщенного минимакса — критерий устойчивости Гурвица	$\min r_i = \min[\alpha y_i^{\max} + (1 - \alpha) y_i^{\min}]$	α — коэффициент оптимизации y_i^{\max} — max возможные затраты y_i^{\min} — min возможные затраты

1	2	3
Критерий среднего ожидаемого дохода критерий Бернулли-Лапласа	$y = \max \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}$	y_{ij} — затраты при использовании параметров i и совокупности исходных данных j
Критерий максимизации среднего ожидаемого дохода – критерий Байеса	$K = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_j y_{ij}$	$i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}$ P_j — вероятность
Многокритериальной оптимизации по Парето	$V^x \rightarrow \{ \Pi_k^m \} \rightarrow \{ y_n^m \}$	V^x — варианты решений Π_k^m — варьируемый параметр
Для решения задач по оптимизации парка машин и выбора рациональных комплектов монтажного оборудования, комплексную механизацию, автоматизацию, роботизацию монтажных процессов на заводе и стройке, а также вариантность конструкций модулей целесообразно использовать принцип оптимальности Беллмана (метод динамического программирования). Эту многомерность элементов нельзя решить (оптимизировать) другими способами математических расчетов		
Принцип оптимального решения	Функциональное уравнение Беллмана	
	$y(i, j) = \min [C(i, j, k) + y((i + 1), k)]$ $k = 1, 2, \dots, N(i + 1)$	$y(i, j)$ — минимальные затраты на монтаж здания по i -технологии с j -комплексом машин

Возведение полносборных зданий из сборных модулей повышенной заводской готовности неправомерно противопоставлять полносборной технологии КУБ 2.5, возведению здания из объемных блок-комнат (заводы ЗАО ОБД) или иным технологиям возведения полносборных зданий, основываясь только на тех или иных отдельных достоинствах и недостатках технических решений. Необходим взвешенный экономический анализ вариантов технологий возведения полносборных зданий (табл. 2.19).

Стадии производства работ при возведении полносборных модульных зданий в условиях Крайнего Севера

Инженерные изыскания	Организационно-технологическая подготовка производства	Технология монтажа полносборных зданий	Технико-экономическое обоснование и расчет экономической эффективности	Испытания и эксплуатация полносборных зданий
1	2	3	4	5
<p>Объем инженерных изысканий на строительной площадке</p> <p>Оценка влияния других факторов (мерзлые грунты, наледи, грунтовые воды, сейсмическая активность)</p>	<p>Точность разбивки монтажного горизонта для монтажа здания</p> <p>Оценка качества изготовления монтажных элементов</p> <p>Контроль качества проектной документации (ППР, технологических карт)</p> <p>Технологичность монтажных элементов зданий при изготовлении, транспортировке, монтаже, стыковке, изготовлении основания для монтажа самого здания (сборного или монолитного)</p> <p>Оценка состояния парка грузоподъемных машин и монтажных оборудования</p> <p>Выбор и обоснование рациональных монтируемых конструкций здания</p>	<p>Операционный контроль</p> <p>Поэтапный контроль</p> <p>Приемочный контроль</p> <p>Инспекционный контроль</p> <p>Оценка качества разбивочных работ</p> <p>Оценка качества выполнения монтажных и смежных работ</p> <p>Оценка эффективности и надежности монтажного оборудования</p> <p>Анализ исполнительных схем и качества выполнения производственной документации</p>	<p>Сравнительный с аналогом техникотехнический эффект</p> <p>Технико-экономический расчет и ТЭО принятого варианта</p> <p>Расчет реального годового экономического эффекта</p> <p>Социальная эффективность</p> <p>Соблюдение требований охраны окружающей среды, сохранности окружающих зданий</p> <p>Контроль трещин и дефектов монтажных элементов при их складировании, транспортировании и монтаже</p> <p>Обеспечение требований техники безопасности</p>	<p>Статические испытания</p> <p>Ускоренные полевые испытания</p> <p>Приближенные методы оценки несущей способности, качества и надежности возведения полносборных зданий</p> <p>Неразрушающие методы контроля качества</p>

Концепции и принципы, которые выдвинуты в данной работе, предполагают необходимость рассмотрения всей системы взаимосвязанных элементов производственно-эргономической и естественно-природной системы (табл. 2.20), где имеется взаимосвязь между отдельными элементами. Количественная оценка этих связей пока не изучена, однако при анализе этой сложной системы можно воспользоваться методикой В. Н. Евстифеева на основе морфологической модели с использованием теории цепей Маркова.

Таблица 2.20

Взаимосвязь элементов системы и факторов технологического процесса возведения промышленных полносборных зданий

Многофакторное пространство технологического процесса высокотехнологичного возведения промышленных зданий				
Элемент	Монтажник	Монтажное оборудование	Технология	Организация работ
Материал, конструкция, длина, сечение, форма, стык элементов и другой тип элемента и другие факторы	Климатические условия, ручные операции, управление краном, контроль операций	Надежность, производительность, мобильность, энергоёмкость, безотказность в зимних условиях, уровень шума, влияние на окружающую среду (здания) и др.	Технологические ограничения, монтаж с колес, монтаж с приобъектного склада, монтажа манипулятором, автоматизированный монтаж, роботизированный монтаж, комбинированные технологии и др.	Проходка и захватка при монтаже, наличие котлована, контроль качества, наличие монтируемых элементов, техники, квалифицированные рабочие, организация и оплата труда и др.

При анализе системы выявлено, что определяющими факторами технологического процесса в представленной модели являются:

- требуемые свойства и назначение здания, конструктивные характеристики здания;
- допускаемые технологии возведения зданий с учетом ограничений экологического характера, санитарно-технических норм по выхлопам газов, влиянию на окружающую среду и близстоящие здания;
- выбор монтажного оборудования с учетом природно-климатических условий (зимних условий) и принятых архитектурно-конструктивных решений перспективного зданий. Во многом это определяется

возможностями строительных организаций, располагающих конкретным парком грузоподъемных машин и отработанной технологией производства монтажных работ.

Многообразие технических возможностей при выборе оптимальных технологий возведения полносборных зданий обусловлено многочисленными реальными ситуациями, которые возникают в системе и оказывают решающее значение на принятие решений выбора той или иной технологии и организации монтажных работ [129].

Научное и технико-экономическое обоснование прогрессивных методов производства и контроля качества модульных зданий позволяет повысить точность выполнения технологических операций, устранить трудоемкие операции, добиться экономии материалов и в целом способствовать росту качества конечной продукции — зданий из модулей и повышению эффективности монтажных работ.

В данном разделе описан опыт систематизированного изложения технологических основ анализа эффективности инженерных решений при строительстве зданий из модулей и контроль качества монтажных работ. Автор считает, что такой научно-обоснованной базой, способной дать надежную основу и методологию проектирования рациональных процессов возведения полносборных зданий из модулей, может и должен быть развернутый анализ взаимоувязанных факторов строительного производства, которые в своей совокупности определяют уровень эффективности, в соответствии с методикой приведенной в главе 2, п. 2.5.

Взаимосвязь элементов технологической системы «Возведения полносборных здания из модульных систем УВСС» в каждом конкретном случае — это определенный метод целесообразного взаимодействия элементов технологической системы (конструкция типового модуля, технические средства, организация процессов). Изменение любого элемента системы приводит к изменению технологии монтажных работ модульного здания. Многообразие технологических решений можно видеть из классификаций по

типам и видам модульных систем, способам возведения сборно-модульных зданий. На рис. 2.13 представлена взаимосвязь элементов системы «Технология скоростного полносборного строительства из модульных систем», в которой определяющую роль играет выбор монтажных средств (кран, транс-робот, манипулятор, платформа, траверса и др.). Выбор лучшей технологии — это целенаправленное действие при организации и производстве работ для достижения совокупности целей (сокращение сроков, экономия материалов, снижение стоимости монтажа и др.).



Рис. 2.13. Схема формирования рациональной технологии модульного строительства

Из множества альтернативных технологий отбираются реально возможные технологии. Затем, используя критерии предпочтения и систему технико-экономического обоснования, делают выбор рационального варианта производства работ. Выбор может быть проведен в конкретных определенных или неопределенных условиях.

Системный анализ (подход) при изучении монтажных работ выражается в выдвижении и сопоставлении альтернативных вариантов технологий

возведения модульных зданий по выбранным критериям эффективности. Системный анализ включает в себя: формулирование конечных целей, выбор критериев эффективности; определение взаимосвязей каждого элемента в изучаемой системе; анализ решений.

Принцип многофункциональности системы обеспечения и выполнения полносборного строительства из модулей заключается в том, что на основе многочисленных исследований, описанных автором ранее, установлены:

а) взаимосвязь функции, назначения и работы конструкции полносборных модульных зданий с природно-климатическими и производственными условиями строительства;

б) взаимосвязь указанных элементов системы с применяемыми методами производства и организации работ, использованием средств механизации и автоматизации контроля качества и управления технологическими процессами.

Научно-методологические основы предлагаемой технология полносборного модульного строительства рассматривается как часть сложной производственной системы различных строительных процессов в их совокупности и взаимосвязи, а также в динамике выполнения по характерным группам монтажных циклов строительных сооружений и объектов.

Принцип системного проектирования – это отбор лучших из реализуемых технологий в соответствии с принятой целевой функцией: минимизация трудозатрат, стоимость, продолжительность работ монтажного цикла и др.

В данной главе излагаются методы оптимизации технологических решений и выбора наиболее эффективных ресурсо-энергосберегающих технологий, приводятся конкретные примеры решения задач по оптимизации технологических процессов и принятию решений в многокритериальных задачах производства работ монтажного цикла. Дается оценка устойчивости прогнозируемых решений при проектировании перспективных технологий в условиях неопределенности, в сложных и экстремальных условиях строительства.

Многоцелевая и многокритериальная оптимизация инженерных решений в технологии полносборного модульного строительства. В результате проведенных исследований установлено, что снижение материалоемкости, трудоемкости и стоимости устройства модульных зданий, сокращение продолжительности выполнения работ монтажного цикла могут быть достигнуты за счет: использования малолюдных технологий, унифицированных быстросборных элементов, системы скоростного монтажа и демонтажа зданий, перспективных технологий соединения блок-модулей, монтажно-конвейерных линий с элементами роботизации и автоматизации процессов, как на производстве, так и на строительной площадке.

Используя принцип системного проектирования, а также предложенные методы оптимизации инженерно-технических решений выбор наиболее эффективных ресурсо-энергосберегающих технологий возведения полносборных зданий из модулей и модульных систем повышенной заводской готовности осуществляется поэтапным поиском оптимальной технологии модульного строительства при минимизации затрат выполнения монтажных работ и типов модулей и т. д. (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Обобщенная матрица возможных современных технологий возведения полносборных зданий

Стратегии технолога	Варианты условий возведения полносборных зданий			
	Π_1	Π_2	...	Π_j
T_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{ij}
T_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}
·	·	·	...	·
·	·	·	...	·
·	·	·	...	·
T_i	X_{i1}	X_{i2}	X_{i2}	X_{ij}

Обозначения: T_i — стратегии технолога ($i = 1, \dots, m$), Π_j — условия производства работ, $j = 1, \dots, n$; заданы различными условиями строительства; X_{ij} — величины стоимостей строительства полносборных зданий, которые являются элементами матрицы игры.

Алгоритм выбора оптимальной технологии определяется последовательностью:

- формирование технологий строительства полносборных зданий в зависимости от условий строительства, наличия монтажной техники;
- выбор только таких вариантов технологии, осуществление которых обеспечивает совместимость и комплексную механизацию, автоматизацию и роботизацию основных и вспомогательных машин с технологическим оборудованием;
- расчет затрат и экономического эффекта по каждому из выбранных вариантов и принятие окончательного решения.

Модернизация энергетического комплекса РАО ЕЭС, переход на альтернативные и возобновляемые источники энергии, проблемы тепла в системе ЖКХ — основные проблемы строительства. Энергоэффективные дома, как результат оптимального решения не фантастические проекты, а признаки грядущих перемен.

Повысить энергоэффективность зданий и снизить энергопотребление возможно теплоизоляцией наружного контура здания, устройством мансардных крыш и эффективных многослойных окон, системой вентиляции с рекуперацией тепла, применением альтернативных и возобновляемых источников энергии: солнечные коллекторы, тепловые насосы, подземные возобновляемые источники, новые оптимальные технологии отопления «пассивного дома» и др. В условиях Крайнего Севера следует уделять внимание тому, насколько полносборное здание сильно отдает тепло.

Сравнительные соотношения можно вывести для площади здания и его периметра при равной высоте (рис. 2.13). Эти соотношения говорят в пользу ширококорпусного дома, с меньшей поверхностью ограждения на 20%.

Вариантное проектирование позволяет повысить качество проектирования и принимаемых решений при разработке проектов производства монтажных работ, значительно сократить материалоемкость, энергоемкость, продолжительность строительства модульных зданий.

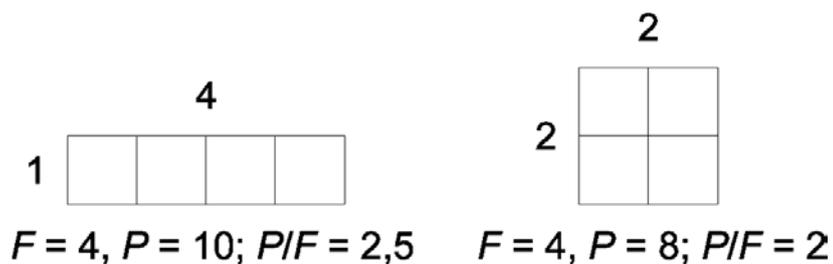


Рис. 2.13. Соотношения между периметром (P) и площадью здания (F)

Представлен алгоритм и матрица выбора оптимального варианта технологии возведения зданий. Согласно проведенной предварительной оценке вариантов совершенствования технологии возведения зданий автором выявлена необходимость комплексного подхода к разработке новой конструктивно-технологической системы высокоэффективного возведения полносборных зданий, необходимость выстроить логистическую схему передвижения блок-секций здания: завод-изготовитель (склад с кранами-роботами) — транспорт (авто, тракторный, водный, воздушный (вертолеты, дирижабли), пневматический, гидравлический) — трейлеры, погрузчики, баржи, понтоны — склад приобъектный (краны-погрузчики, роботы) — монтаж блок-секций «с колес» кранами-телескопами, укрупнительная сборка на комплектной площадке, (координатные, козловые краны, роботы) — сборка нормоккомплектов на объекте строительства.

Автором выявлены основные требования к перспективным разработкам систем возведения домов: изготовление полносборных зданий максимально возможной степени заводской готовности модулей здания, возможность развернуть производство на строительной площадке, расчет общих трудозатрат механизированных и ручных работ (на заводе, при транспортировке, на объекте), коэффициентов потерь при производстве работ на разных стадиях строительства. Существует множество конструктивно-технологических решений использования унифицированных объемных конструкций, предварительно изготовленных на заводе в виде многослойных сэндвич-панелей, получившие свои размеры с привязкой к типовым пролетам зданий, но имеющие ограниченное использование для мансардных этажей либо объемных

блок-комнат, изготавливаемых на производственных линиях и транспортируемых на значительные расстояния, размерный модуль при этом увязан с параметрами типовой жилой комнаты. Большая масса таких комнат, сложность изготовления и ограниченные архитектурно-планировочные решения являются существенными недостатками данных решений металлических модульных зданий, ограниченных временным использованием при строительстве капитальных объектов.

Блок-схема методики формирования и выбора организационно-технологических решений технологии скоростного возведения зданий и сооружений из модулей УВСС заводской готовности представлена на рис. 2.14.



Рис. 2.14. Параметры, влияющие на технологичность использования модулей УВСС в условиях Крайнего Севера

Выбор оптимального конструктивно-технологического решения представляет сложную научную задачу выбора рациональных схем полного производственного цикла возведения быстровозводимых модульных систем (БМС) и оптимального решения из множества возможных вариантов модулей.

Важным этапом в обосновании оптимальных технологий возведения зданий и сооружений является разработка математических моделей, при этом предложенные ранее модели не учитывают специфики последних разработок зарубежных технологий монтажных средств в области быстровозводимого строительства и не отражают комплексный подход к оптимизации, учитывая логистику и производственный цикл.

Предлагаемые модели, в том числе благодаря методу экспертных оценок, обеспечивают принятие рациональных технологических решений в области быстровозводимых систем. Весомость факторов может меняться местами в зависимости от целей, задач и условий производства работ и технологии возведения модульных зданий

Совокупность параметров и характеристик, определяющих технологичность применения конструкций из БМС в строительстве, при количестве типов модулей ВСС $i = 1, \dots, n$ обозначим через $\{K\}$:

$$\{K\} = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}; \quad (2.34)$$

$$K_i^{\min} \leq K_i \leq K_i^{\max}. \quad (2.35)$$

Для совокупности схем m транспортирования модулей УВСС

$$\{T\} = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}; \quad (2.36)$$

$$T_j^{\min} \leq T_j \leq T_j^{\max}; \quad j = 1, \dots, m \quad (2.37)$$

Выбор оптимальных методов транспортирования модулей. Пример доставки модулей от завода-изготовителя приведен в табл. 2.22.

На основе экспертных оценок и статистических данных сделан анализ вариантов транспортных схем по продолжительности, стоимости и удельным трудозатратам.

**Сравнение технико-экономических показателей вариантов схем
транспортирования модулей УВСС**

Показатели	Варианты			
	1	2	3	4
$Q_{уд}$	0,42	0,75	1,00	0,36
$C_{уд}$	0,35	0,44	0,60	1,00
T	0,85	0,77	0,92	0,23

Примечание: 1 — автомобиль; 2 — авто-ж/д; 3 — авто-ж/д-паром-авто, а также 4 — доставка вертолетом. T — продолжительность транспортировки; $Q_{уд}$ — удельные трудозатраты; $C_{уд}$ — стоимость.

На рис. 2.15 видно изменение удельных показателей рассмотренных вариантов: вариант 4 — по продолжительности и трудозатратам является более предпочтительным; вариант 1 — по трудозатратам и стоимости; K — коэффициент относительной эффективности монтажа, весьма перспективными являются смешанные схемы перевозок, особенно на дальние расстояния.

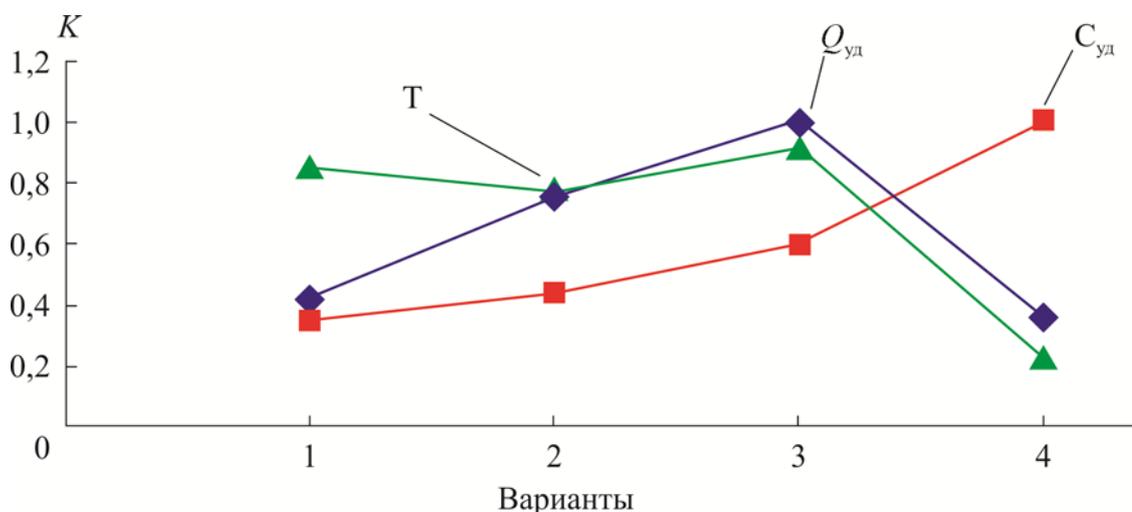


Рис. 2.15. Соотношение показателей транспортных схем

Использованный в работе метод моделирования и последующей многокритериальной оптимизации технологических решений показал, что ключевое значение принадлежит: технологичности проектных решений, размерам монтируемых элементов, упорядочению производства, точности сборки и монтажу с помощью мобильного малогабаритного оборудования (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Зависимость трудоемкости монтажа от площади монтажного элемента

Основные факторы и весомость критериев оценки могут меняться местами в зависимости от целей, задач и условий производства работ .

Минимальные затраты выбранного варианта эквивалентны максимальному технико-экономическому эффекту. При сравнении альтернативных вариантов технологий предпочтение отдается варианту с минимальными удельными затратами по рассматриваемым ТЭП. Если их недостаточно, то используют дополнительные показатели. Согласно зависимостям трудоемкости монтажа определены области высокотехнологичного, среднетехнологичного и слаботехнологичного монтажа объемных модулей зданий [140, 143-144].

Выводы по главе 2

1. Сформулированы основные стадии и этапы разработки и внедрения индустриальных технологий скоростного строительства зданий из высокотехнологичных модулей. В основе проектирования и формирования прогрессивных технологий возведения полносборных зданий лежит системный анализ высокотехнологичных решений в области автоматизации и роботизации монтажных работ с учетом факторов влияния, а также моделирование рационально-оптимальной технологической структуры.

2. Разработаны методики и алгоритмы вариантного проектирования полносборных зданий из унифицированных модулей здания. В результате проведенных исследований установлено, что снижение трудоемкости и стоимости устройства модульных зданий, сокращение продолжительности монтажных работ может быть достигнуто за счет: использования малолюдных технологий, унифицированных быстросборных элементов, системы скоростного монтажа и демонтажа зданий, перспективных технологий соединения блок-модулей, монтажно-конвейерных линий с элементами роботизации процессов как на производстве, так и на строительной площадке.

3. Предложена методика выбора энерго-ресурсосберегающих схем высокоэффективной механизации, автоматизации и роботизации полносборного модульного строительства. Разработаны схемы эффективной комплексной механизации, автоматизации и роботизации монтажных работ, выполняемых по технологическим параметрам монтажных машин как единого целого комплекта. Разработана схема выполнения монтажных работ по индустриальной энерго-ресурсосберегающей технологии высокоскоростного возведения полносборных зданий из модульных систем. Предложена модель выбора рациональной комплексно-механизированной технологии модульного строительства. Определены степень совместимости монтажных машин и механизмов в комплекте и уровень технологической организованности системы, совместимость машин оценивается общим уровнем технологической организованности системы.

4. Предложенный метод моделирования с последующей многокритериальной оптимизации технологических решений показал, что ключевое значение принадлежит: технологичности проектных решений, упорядочению производства, точности сборки и шеф-монтажных работ на строительном объекте с помощью мобильного малогабаритного оборудования.

5. Предложена методика прогнозирования прогрессивной техники и технологии скоростного модульного строительства, которая требует оценки эффективности и выбора оптимального комплекта монтажного оборудования,

обеспечивающего наиболее высокие технико-экономические показатели. Разработана схема формирования перспективных технологий полносборного модульного строительства. Предложен прогноз развития и экономическая эффективность быстровозводимого модульного строительства. Для прогнозирования и проектирования многоцелевой и многофункциональной системы рациональной технологии монтажа требуется многоуровневая и многофакторная комплексная оптимизация технических решений.

6. Разработаны и внедрены теоретико-игровые и аналитические многоцелевые методики выбора рациональных способов высокотехнологичного монтажа полносборных модульных зданий и сравнительной оценки различных вариантов технологий за счет многофункциональной оптимизации параметров технологических операций по критериям объемно-планировочных, организационно-технологических и экономических факторов. Разработана система взаимосвязи технико-экономических и технологических параметров монтажа полносборных зданий. Теоретико-игровой подход позволяет учесть реальные ситуации, связанные с различной вероятностью выполнения технологических операций при возведении полносборных зданий, особенностями применения новых конструкций блок-модулей, средств механизации, автоматизации и роботизации, методов производства монтажных работ. Этот способ проектирования позволяет устранить ошибочные решения организационно-технологического планирования производства работ.

7. Представлена модель многоцелевой оптимизации решений при модульном строительстве. Принцип модульной разбивки структуры монтажных работ упрощает проектно-технологическую подготовку строительства, устанавливает взаимосвязь элементов и особенности той или иной технологии, позволяет прогнозировать формирование новых структур ТБ более совершенных технологий. Как показал сравнительный анализ по составляющим ТБ наиболее индустриальной технологией возведения

полносборных зданий из модулей из существующих на момент настоящих исследований является строительство зданий из объемных модулей.

8. Предложен ряд факторов, которые по мнению автора следует первоначально развивать для разработки технологии скоростного возведения полносборных зданий из модулей, при этом весовые факторы всегда разные и находятся в динамике, но могут служить научно обоснованной базой для совершенствования организационно-технологических и объемно-планировочных решений полносборного строительства. Разработана многофункциональная оптимизация методов индустриальной технологии монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий с учётом параметров технологических операций по объемно-планировочным, организационно-технологическим и экономическим критериям, что дает снижение расходов материалов 45,2 %, увеличение полезного объема разработанного модуля 42,9 %, увеличение срока службы модульных зданий до 90 лет, повышение заводской готовности до 95 %, устранение «мокрых» процессов и сварки.

Глава 3. ТРАНСПОРТНО-МОНТАЖНЫЙ ПРОЦЕСС И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СБОРКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

3.1. Средства и методы обеспечения точности высокотехнологичного монтажа зданий и сооружений из объемных модулей заводской готовности

Повышенные требования по точности при высокотехнологичном скоростном монтаже полносборных зданий из модулей УВСС по сравнению с модульными и полносборными крупнопанельными системами вызваны следующими причинами: возрастанием нагрузок от веса капитальных модульных зданий; увеличением этажности зданий из модулей; обеспечение возможности гарантированной собираемости здания из модулей, более совершенные методы монтажа; автоматизированный и роботизированный процесс сборки; сокращенное время сборки в условиях Крайнего Севера [86, 118, 138].

Определение функционального допуска сборки модулей УВСС сводится к определению известных значений технологических допусков в трех координатах.

Расчет точности высокотехнологичной скоростной сборки системы УВСС проводится определением величины трех групп погрешностей: при монтаже высокотехнологичных модулей, изготовлении модулей и разбивочно-геодезических работах.

Фактические погрешности при монтаже не должны превышать нормативных. Порядок расчета точности высокотехнологичной сборки:

- 1) формируется чертеж модулей и узлов;
- 2) определяется последовательность высокотехнологичного монтажа модулей УВСС и ориентиры в виде граней, осей модулей или центра тяжести, а при ограниченном монтаже — ограничивающие устройства, достаточные для обеспечения заданного пространственного положения модуля;

- 3) проводится технологический анализ цепи погрешностей и разрабатывается структурная схема полей допусков с присвоением буквенных индексов, обозначаемых прямоугольниками;
- 4) устанавливаются величины технологических допусков при решении уравнения точности сборки.

Основным допуском при монтаже зданий из объемных модулей УВСС, определяющим точность, является отклонение от вертикальности, зависящей от точности разбивки установочных рисок Δ_p^k относительно разбивочной оси в вершине $\Delta_{об}$ и основании $\Delta_{он}$ укрупненного блока.

Отклонение от вертикальности укрупненного блока:

$$\Delta_{нк} = \sqrt{2 \left(\sum_{i=1}^n \Delta_{p_i}^k \right)^2 + \sum_{i=1}^n \Delta_{онi}^2 + \sum_{i=1}^n \Delta_{обi}^2}, \quad (3.1)$$

где Δ_p^k , $\Delta_{он}$, $\Delta_{об}$ — допустимые отклонения укрупненного блока полносборного здания из модулей УВСС.

Строится схема полей допусков с учетом классов точности узлов со значениями отклонений и допусков полносборного модульного каркаса.

Предельные отклонения при высокотехнологичном монтаже металлических модулей зданий не должны превышать требований ГОСТ и СП [20].

Методы и средства измерений при монтаже зданий из модулей УВСС принимают из условия

$$\delta x_{\Sigma_{мет}} \leq \delta x_{мет}, \quad (3.2)$$

где $\delta x_{мет}$ — предельная погрешность измерения; $\delta x_{\Sigma_{мет}}$ — расчетная погрешность метода и средства измерения [20, 57].

Предельная погрешность

$$\delta x_{мет} \leq K \cdot \Delta x, \quad (3.3)$$

где K — коэффициент, зависящий от характера объекта и цели измерений ($K = 0,2$ при контроле точности изготовления и установки модулей УВСС,

$K = 0,4$ при производстве разбивочных работ); Δx — нормативный допуск измеряемого геометрического параметра.

Средства и методы измерений при высокотехнологичной сборке полносборных зданий из модулей УВСС с обеспечением минимальных затрат и исключения систематических погрешностей приведены табл. 3.1.

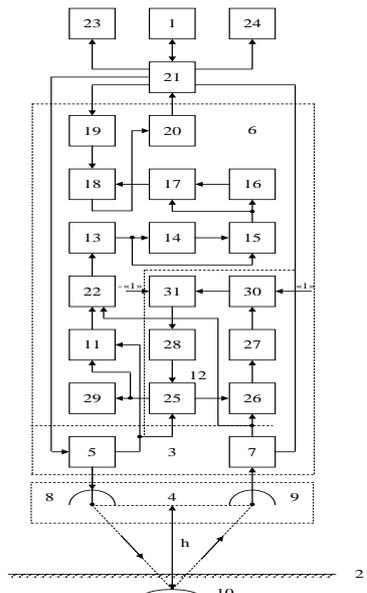
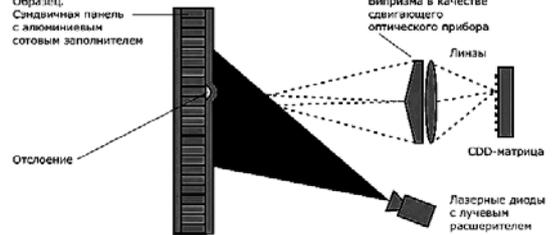
Таблица 3.1

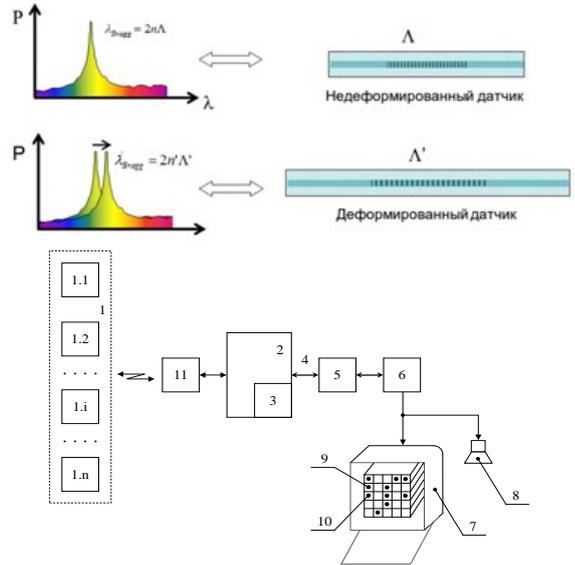
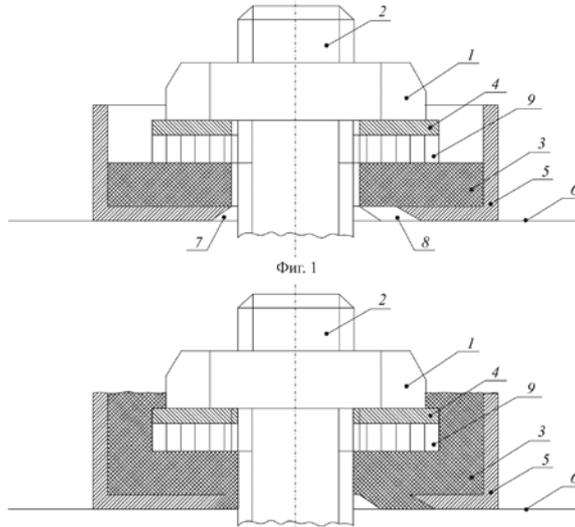
Средства и методы измерений погрешностей высокотехнологичного монтажа модулей УВСС

Наименование	Назначение	Схема применения
1	2	3
<i>Оптические системы контроля точности монтажа</i>		
1. Оптические нивелиры типа PENTAX AP-200	Магнитный компенсатор позволяет автоматически нивелировать визирную линию, ускоряя и упрощая работу с прибором. Пыле- и влагозащитный корпус рассчитан на выполнение геодезических работ в сложных климатических условиях	Оптические нивелиры PENTAX серии AP-200 позволяют определять превышения с погрешностью от 1,5 до 2,5 мм на километр двойного хода. $\delta x_i = \frac{1}{2}(a_i + a'_i),$ где a_i — прямой отсчет; a'_i — обратный отсчет $ a_i - a'_i \leq 1,5 \text{ мм}$
2. Система цифровой корреляции изображений (DIC Q-400)	Используется для задач бесконтактного трехмерного анализа перемещений и деформаций поверхности объекта. Система состоит из ССД камер высокого разрешения, устройства монохромного равномерного освещения и компьютера с программным обеспечением	Система позволяет измерять перемещения каждой точки поверхности с точностью пикселя. Таким образом, может быть решена задача измерения как микродеформации (на уровне 0,01%), так и очень больших деформаций (на уровне 100%), в зависимости от области наблюдения. Как правило, чувствительность системы к измерению перемещения составляет 1 к 100 000 от поля зрения, или 1 мкм для поля зрения в 100 мм. Изменение положения точек неоднородной структуры поверхности регистрируются камерами и обрабатываются специальными высокоточными алгоритмами
3. Система технического зрения (роботизированный монтаж и пассивный контроль точности сборки)	Сенсорные устройства, которые обеспечивают получение изображения монтируемых модулей и рабочей зоны с точностью до 0,1–0,2 мм	 <p>Выверка вертикальности, горизонтальности и контроль точности монтажа модуля выполняется ориентирующим устройством автоматически</p>

1	2	3
<i>Лазерные системы 3D измерения точности монтажа</i>		
4. Системы лазерного проецирования и разметки LPT	Создание лазерной 3D проекции основывается на направлении лазерного луча в конкретное место трехмерного пространства. Перед началом проецирования контура проводится процесс привязки систем координат объекта и проектора, для чего используется сканирование специальных точек на объекте, положение которых известно в системе координат CAD модели	<p><i>Точность проекции: +/-0,25 мм на 4,75 м</i></p> <p>Лазерная проекция идеально вписывается в автоматизированную систему конструирования и монтажа, благодаря чему:</p> <ul style="list-style-type: none"> резко сокращается время на подготовку производства и на сами операции сборки; отпадает необходимость в разработке, изготовлении, использовании и хранении дорогостоящей технологической оснастки; изменения в конструкции изделия легко трансформируются в новые данные для лазерной проекции
5. Система внутриплощадочного позиционирования монтируемых элементов iGPS	Основное назначение данной системы — контроль геометрических параметров крупногабаритных объектов в реальном режиме времени. Принцип работы системы iGPS заключается в следующем: инфракрасные лазерные передатчики (аналоги спутников GPS) закрепляются неподвижно в пространстве цеха вокруг измеряемого объекта. В контролируемых точках устанавливаются сенсоры, которые принимают сигналы от передатчиков и вычисляют угол и расстояние, основываясь на времени прихода инфракрасных импульсов, излученных передатчиком	<p>Контролируемые точки постоянно сравниваются с теоретически рассчитанными точками, заложенными в CAD модели, которая загружается в программное обеспечение системы iGPS. Обе стыкуемые части совмещаются математически на экране компьютера и их положение постоянно контролируется для обеспечения высокой точности стыковки.</p> <p>Важным преимуществом iGPS является возможность быстрой и легкой модернизации. При измерении геометрии отсека или другой части сенсоры заново расставляются на точки с известными координатами, загружается новая CAD модель и система готова продолжать работу.</p> <p>Общие технические характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> зона покрытия одного излучателя: до 110 м, по горизонтали 360°, по вертикали ±50°; точность определения углов 1”; точность определения координат: датчик положения: 0,06 мм, ручной жезл: 0,08 мм*. <p>Приведены данные для измерения в 10-метровом пространстве, данные могут различаться при разных конфигурациях</p>
6. Система лазерная координатно-измерительная API OMNITRAC-2	Лазерный трекер — это высокотехнологичный измерительный прибор, основанный на принципе слежения за специальным уголковым отражателем с помощью лазерного луча. Возвращенный	<p><i>Задачи, решаемые с помощью лазерного трекера API Omnitrac 2:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> юстировка и выставка узлов в проектное положение; оцифровка поверхностей; сборка приспособлений и технологический контроль;

1	2	3
	<p>сигнал попадает обратно в объектив прибора, передается на приемный датчик дальномера с учетом двух углов и расстояния вычисляются пространственные координаты отражателя, как в динамике, так и в статике</p>	<p>измерение деформаций и их мониторинг в динамике; автоколлимационные измерения; измерение крупногабаритных конструкций <i>Технические характеристики трекера:</i> максимальный диапазон измерений (по радиусу) — от 0 до 100 м; погрешность измерений — 3,5 мкм/м (2 сигма); погрешность измерения дистанции ± 25 мкм или 0,7 мкм/м, что больше</p>
<p>7. Лазерный интерферометр XD</p>	<p>Является незаменимым инструментом при решении задач, связанных с контролем геометрической точности различных типов модулей зданий. Система делает возможным одновременно измерять несколько параметров и позволяет получить истинную картину погрешностей по всем осям, что невозможно для монопараметрических систем</p>	<p>Возможности: для измерений точности линейного позиционирования; для измерений точности линейного позиционирования, отклонения от прямолинейности по осям X и Y; для измерений точности линейного позиционирования, отклонения от прямолинейности по осям X и Y, продольного и поперечного угла наклона; единственная лазерная измерительная система, которая в автоматическом режиме измеряет угол качания вокруг оси, одновременно выполняя измерения точности линейного позиционирования, отклонения от прямолинейности по осям X и Y, продольного и поперечного угла наклона</p>
<p>8. Бесконтактная мобильная измерительная система на базе лазерного радара серии MV300</p>	<p>Лазерный радар является уникальным решением, которое обеспечивает возможность автоматизированного, бесконтактного измерения геометрических параметров в большом объеме радиусом до 50 метров</p>	<p>Измерительный диапазон для MV350 до 50 м, MV330 до 30 м. Точность от 24 мкм (на расстоянии 2 м) до 201 мкм (на 20 м). Лазерный радар показывает впечатляющие возможности, учитывая бесконтактность измерений в большом измерительном объеме. Специальные режимы: определение точки пересечения поверхности x, y, z с заданным пространственным вектором; сканирование поверхностей и сравнение с САД моделью (0,05 с); автоматическое определение центров отверстий (5–30 с в зависимости от установки); определение центров специальных марок (10 с); определение центров металлических сфер (в том числе и в режиме псевдослежения) каждые 5 с; определение края специальной ленты или точек ребер конструкции (1–5 с)</p>

1	2	3
<i>Интерферометрические методы контроля</i>		
<p>9. Пассивная система мониторинга строительных конструкций при возведении и эксплуатации полносборных зданий (патент РФ № 3456789 от 04.08.2015 г.) [74].</p>	<p>Принцип основан на оценке изменения нестационарного электромагнитного поля или границ модулей ВСС (элементов) по методу радиолокационного зондирования строительных конструкций со скачком относительной диэлектрической проницаемости на границе неоднородности строительных конструкций</p>	<p>Позволяет оперативно определять расположения и формы неоднородностей включений в строительных конструкциях, модулях УВСС и сооружениях, т. е. осуществлять мониторинг строительных конструкций для определения положения арматуры, модулей в пространстве, пустот и иных неоднородностей</p> 
<p>10. Системы шерографии семейства Dantec</p>	<p>Поверхность модуля засвечивается лазером и отражается на CCD-камеру, оснащенную так называемой «сдвигающей оптикой», которая проецирует изображение объекта на матрицу камеры дважды и каждая точка объекта является дважды отображаемой на CCD-чипе. Когда объект испытания деформируется под нагрузкой, лазерное излучение, отраженное каждым участком поверхности, также изменяется, что дает представление о характере самого дефекта через его реакцию на поверх-</p>	 <p>Данные системы позволяют своевременно обнаруживать такие дефекты материала, как нарушения сцепления, расслоения, воздушные пузыри, или включения инородных частиц (металлических, водяных, воздушных), непрочности, нарушения связей, трещины, «схлопнутые» дефекты и другие аномалии до момента возникновения возможных серьезных (критичных) нарушений в процессе эксплуатации. Таким образом, необходимое корректирующее действие может быть предпринято оперативно, что увеличивает эффективность и сокращает расходы на тестирование и до-</p>

1	2	3
<i>Оптоволоконные системы высокоточных измерений</i>		
<p>11. Пассивные автоматические средства периодического отслеживания состояния модулей УВСС здания при его эксплуатации [32]</p>	<p>Позволяет выявить ненормативные деформации модулей УВСС и предупредить их разрушение. При воздействии нагрузки P резонансная частота ωc увеличивается на величину $\Delta\omega g$, которая называется девиацией частоты ($\omega c + \Delta\omega g$) за счет деформации пьезокристалла. Если происходит растяжение модуля УВСС здания, то резонансная частота транспондера уменьшается ($\omega c - \Delta\omega g$). Следовательно, по девиации частоты $\Delta\omega g$ можно судить о нагрузках и деформациях</p>	 <p>Основные характеристики системы: мощность передатчика — 100 МВт; значительная дальность — 200 м; габариты датчиков — 8×15×5 мм; долговечность датчиков — 20 лет; потребляемая мощность — 0 Вт; высокая точность измерений (1 %) в диапазоне ($\pm 0,2$; $\pm 2,0$; $\pm 5,0$ мм)</p>
<p>12. Система дистанционного контроля состояния резьбовых соединений строительных элементов и конструкций [29].</p>	<p>Система может быть использована для дистанционного измерения усилий резьбовых соединениях модулей УВСС</p>	 <p>1 — гайка; 2 — резьбовой стержень; 3 — эластичный стопорный элемент; 4 — плоская шайба; 5 — шайба с буртом; 6 — деталь; 7 — отверстие; 8 — боковые стенки; 9 — силоизмерительная шайба</p>

В различных строительных элементах и конструкциях, имеющих важное стратегическое значение, устанавливают силоизмерительные устройства.

Высокая скорость строительства обеспечивается безусловным применением постоянного автоматического контроля качества производства монтажных работ на всех стадиях строительства и выполнения технологических операций. Система оперативного мониторинга позволяет круглосуточно автоматически отслеживать состояние и монтаж контролируемого модуля и выводить информацию на пульт оператора.

Действительное значение x_j прямого измерения параметра x :

$$x_j = \bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m}, \quad (3.4)$$

где \bar{x} — среднее арифметическое значение параметра x ; $j = 1, \dots, m$ — число наблюдений в каждом $i = 1, \dots, n$ месте.

Действительное отклонение δx_j :

$$\delta x_j = x_j - x_{\text{пот}}, \quad (3.5)$$

где $x_{\text{пот}}$ — номинальное значение параметра x .

Действительное отклонение параметра x :

$$\delta x_i = \bar{\delta x} = \frac{\sum_{j=1}^m \delta x_j}{m}, \quad (3.6)$$

где $\bar{\delta x}$ — среднее арифметическое значение; m — количество наблюдений;

δx_j — отклонение в установленном месте.

При дальнейшем вычислении x_i и δx_i исключают результаты с грубыми погрешностями и вводят поправки для исключения систематических погрешностей в соответствии с приложением 2 [20].

Условие точности измеряемого параметра:

$$\delta x_{\text{inf}} \leq \delta x_i \leq \delta x_{\text{sup}},$$

где δx_{inf} и δx_{sup} — предельные отклонения.

Расчетная погрешность измерения при этом:

$$\delta x_{\Sigma met} = \sqrt{\sum_{p=1}^r K_p^2 \delta x_p^2 + \left(\sum_{q=1}^u K_q \delta x_q \right)^2} \quad (3.7)$$

или

$$\delta x_{\Sigma met} = 2,5\sigma_{x_{\Sigma met}} = 2,5\sqrt{\sum_{p=1}^r K_p^2 \sigma_{x_p}^2 + \left(\sum_{q=1}^u K_q \sigma_{x_q} \right)^2}, \quad (3.8)$$

где $p = 1, 2, \dots, r$ — число случайных погрешностей; δx_p — случайные погрешности; K_p, K_q — коэффициенты характера зависимости между каждой из погрешностей измерения и суммарной; δx_q — систематические погрешности; $q = 1, 2, \dots, u$ — число систематических погрешностей.

Среднее значение составляющих погрешностей $\delta x_{p,q}$ при большом числе отдельных операций:

$$\delta x_{p,q} = \frac{\delta x_{\Sigma met}}{\sqrt{r + u^2}}, \quad (3.9)$$

где u — число систематических погрешностей; r — число случайных погрешностей.

В табл. 3.2 приведены значения предельных погрешностей средств и методов основных измерений.

Оценка точности ширины модуля УВСС ($\Delta x = 4$ мм [20]):

$$L = 3000 \dots 3600 \pm 1,0 \text{ мм.}$$

1. Предельная погрешность проводимых измерений модуля УВСС δx_{met} по условию (2) п. 5.3 [20]:

$$\delta x_{met} = 0,2\Delta x = 0,2 \cdot 4,0 = 0,8 \text{ мм.}$$

2. Суммарная погрешность измерения ширины модуля применяемой 10-метровой металлической рулеткой (ГОСТ 7502–80) включает погрешности: δx_4 — шкалы рулетки; δx_1 — поверки применяемой рулетки; δx_2 — от температуры воздуха; δx_3 — от колебания натяжения рулетки.

По [20] δx_1 принимаем равной 0,2 мм.

Погрешность δx_2 (погрешность измерения равна 0,5 °C):

$$\delta x_2 = L\alpha\Delta t = 3600 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \approx 0,22 \text{ мм.}$$

Погрешность δx_3 :

$$\delta x_3 = \frac{L\Delta P}{FE} = \frac{3600 \cdot 10}{2 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,09 \approx 0,1 \text{ мм},$$

где F — площадь поперечного сечения рулетки, 2 мм^2 ; ΔP — погрешность натяжения, равная $10H$; E — модуль упругости, равный $2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}$.

Таблица 3.2

Предельные погрешности основных измерений при монтаже

Используемые средства	Метод	Погрешность, мм	Ограничения, м
<i>Отклонения от разбивочной оси</i>			
Теодолиты по ГОСТу 10529 типов: Т2, Т5; Т30	Измерение линейкой отклонений	1,0 4,0 2,0	Непосредственный контакт с ориентирами Расстояние между точками закрепления разбивочной оси 80 м
<i>Отклонения от уклона и проектных отметок</i>			
ГОСТ 10528 Нивелир и рейка: Н-10, РН-10 Н-3, РН-3 Н-05; РН-05 Высотомер:	Нивелирование геометрическое: техническое точное высокоточное Нивелирование гидростатическое двойным наблюдением с		Расстояние до рек: 50,0 50,0 50,0 Превышение:
точный; технический Микронивелир: точный; технический	перестановкой сосудов между наблюдениями Измерение двойным наблюдением с разворотом прибора на 180° между наблюдениями	0,2 3,0 0,2 3,0	0,1 0,5 Длина шага: 1,0 2,0
<i>Отклонения от отвесной линии</i>			
Теодолиты по ГОСТу 10529 типов: Т2 Т5 Т30 Линейка по ГОСТу 427 или ГОСТу 17435	Проектирование коллимационной плоскостью при двух положениях вертикального круга, $S < 2H$, где H – высота, м, контролируемой конструкции; S – расстояние теодолита до контролируемого параметра сечения	$H/7$ $H/3,5$ $H/1,7$	50 50 30
Оптические центриры «ЗенитОЦП» и линейка	Высокоточное проектирование двумя наблюдениями	3	100

Погрешность δx_4 модуля УВСС:

$$\delta x_4 = 0,3\sqrt{2} \approx 0,4 \text{ мм.}$$

3. Расчетная суммарная погрешность по формуле (3.11):

$$\delta_{x_{\Sigma met}} = \sqrt{\delta x_2^2 + \delta x_3^2 + \delta x_4^2 + \delta x_1^2} = \sqrt{0,22^2 + 0,1^2 + 0,4^2 + 0,2^2} = \sqrt{26} \approx 0,5 \text{ мм.}$$

где δx_1 — систематическая погрешность, а δx_2 , δx_3 и δx_4 — случайные погрешности.

4. Таким образом, расчетная суммарная погрешность средств и методов измерений $\delta x_{\Sigma met} = 0,5$ мм меньше предельной по [20] $\delta x_{met} = 0,8$ мм.

Оценка точности измерений модулей УВСС:

1. Для оценки точности измерений используют двойные наблюдения.

Минимальное число наблюдений M при оценке точности измерений: 6 — при оценке точности измерений; 20 — при оценке измерений.

2. Оценку точности измерений проводят определением действительной погрешности $\delta x_{s,met}$ и сравнением ее с предельной погрешностью δx_{met} .

3. Действительная погрешность

$$\delta x_{s,met} = t S_{x,met}, \quad (3.10)$$

где t — коэффициент по табл. 1 [22]; $\delta x_{s,met}$ — средняя квадратическая погрешность.

Среднюю квадратическую погрешность определяем по формуле

$$S_{x,met} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x}_i)^2}{m(M-1)}}, \quad (3.11)$$

где x — результат многократных наблюдений параметра; m — число наблюдений параметра в данном месте; \bar{x}_i — результат наблюдения; M — число равнозначных результатов.

Если для средств и методов установлена средняя квадратическая погрешность $S_{x,met}$, то действительная погрешность

$$\delta x_{met} = t \cdot \frac{S_{x,met}}{\sqrt{m}}. \quad (3.12)$$

4. Действительная погрешность при двойных наблюдениях

$$\delta x_{s,met} = \left| \delta x_{m,met} \right| + t S_{x,met}, \quad (3.13)$$

где $\delta x_{m,met}$ — абсолютное значение остаточной систематической погрешности.

Оценка точности измерений ширины модулей УВСС при контроле их изготовления в заводских условиях. Многократные наблюдения выполняют при $M = 20$ и $m = 2$; первые десять наблюдений выполняют в одном направлении, а вторые десять — в другом со сдвигом шкалы рулетки на 70–90 мм для уменьшения систематической погрешности в соответствии с п. 6.6 [20]. Результаты наблюдений приведены в табл. 3.3 (приведено $M = 10$).

Правильность вычислений длины ряда модуля:

$$\sum_{j=1}^M (\bar{x} - x_j) = a \cdot M = -0,2 \cdot 10 = -2;$$

$$\sum_{j=1}^M (\bar{x} - x_j)^2 = \sum_{j=1}^M (x_j - x_0)^2 - \frac{\left[\sum_{j=1}^M (x_j - x_0) \right]^2}{M} = 346 - \frac{52^2}{10} = 75,6.$$

где x_0 — наименьший результат наблюдений, равный $x_0 = 3000$; ошибка округления $a = -0,2$.

Таблица 3.3

Результаты измерений длины ряда модуля

Номера наблюдений	Отсчеты по длинномеру		Результат наблюдений	$\bar{x} - x_j$	$(\bar{x} - x_j)^2$	$\bar{x} - x_j$	$(x_j - x_0)^2$
	Внутренняя сторона модуля	Внешняя сторона модуля					
Прямо							
1	0	3005	3005	0	0	5	25
2	7	3016	3009	-4	16	9	81
3	14	3019	3005	0	0	5	25
4	21	3021	3000	5	25	0	0
5	29	3032	3003	2	4	3	9
Обратно							
6	36	3044	3008	-3	9	8	64
7	43	3045	3002	3	9	2	4
8	50	3057	3007	-2	4	7	49
9	57	3065	3008	-3	9	8	64
10	64	3069	3005	0	0	5	25
				$\Sigma -2$	$\Sigma 76$	$\Sigma 52$	$\Sigma 346$

Примечание: $\bar{x} = 3000 + \frac{52}{10} = 3005,2$.

Средняя квадратическая погрешность

$$S_{x,met} = \sqrt{\frac{76}{2(10-1)}} = 2,0 \text{ мм.}$$

Действительная погрешность:

$$\delta_{s,met} = 2,5 \cdot 2,0 = 5,0 \text{ мм.}$$

Предельная погрешность (допуск на длину 20 мм)

$$\delta_{x_{met}} = 0,2 \cdot 20 = 4,0 \text{ мм.}$$

Условие точности (4.9) [20]: $5,0 > 4,0$ мм не соблюдено, т. е. действительная погрешность измерения не соответствует требуемой (табл. 3.4).

Соответственно, можно сделать вывод, что должно быть увеличено число наблюдений или использованы иные средства измерений.

При $m = 4$ получаем:

$$S_{x,met} = \sqrt{\frac{76}{4(10-1)}} = 1,4 \text{ мм;}$$

$$\delta_{x_{s,met}} = 2,5 \cdot 1,4 = 3,5 \text{ мм} < 4,0 \text{ мм.}$$

Таблица 3.4

Допуски и коэффициенты точности при монтаже модулей

Контролируемый параметр	Допуски, мм	Коэффициент точности
Перепад между смежными модулями УВСС	≤ 1	0,78
Стыки между модулями	≤ 1	0,78
Перепад между модулями	≤ 1	0,77
Стыки между смежными модулями	≤ 1	0,78
Отклонение отверстий для крепления модулей от проектного положения	$\pm 0,3$	0,77

Определим усилие стягивания болтами модулей УВСС через усилие натяжения болта:

$$R_{нат} = F \cdot d \cdot k_{нат}, \quad (3.14)$$

где $k_{\text{нат}}$ — коэффициент натяжения болта, см^2 ; d — диаметр болта, см ; F — приложенное усилие, Н .

Параметры динамометрического ключа для затягивания болтов (рис. 3.1):

- затягивание в диапазоне от 0,1 до 6000 Нм ;
- точность $\pm 3\%$;
- абсолютная точность показаний.

Для проверки момента затяга рекомендуется использовать ключи с непосредственным отображением момента (табл. 3.5).

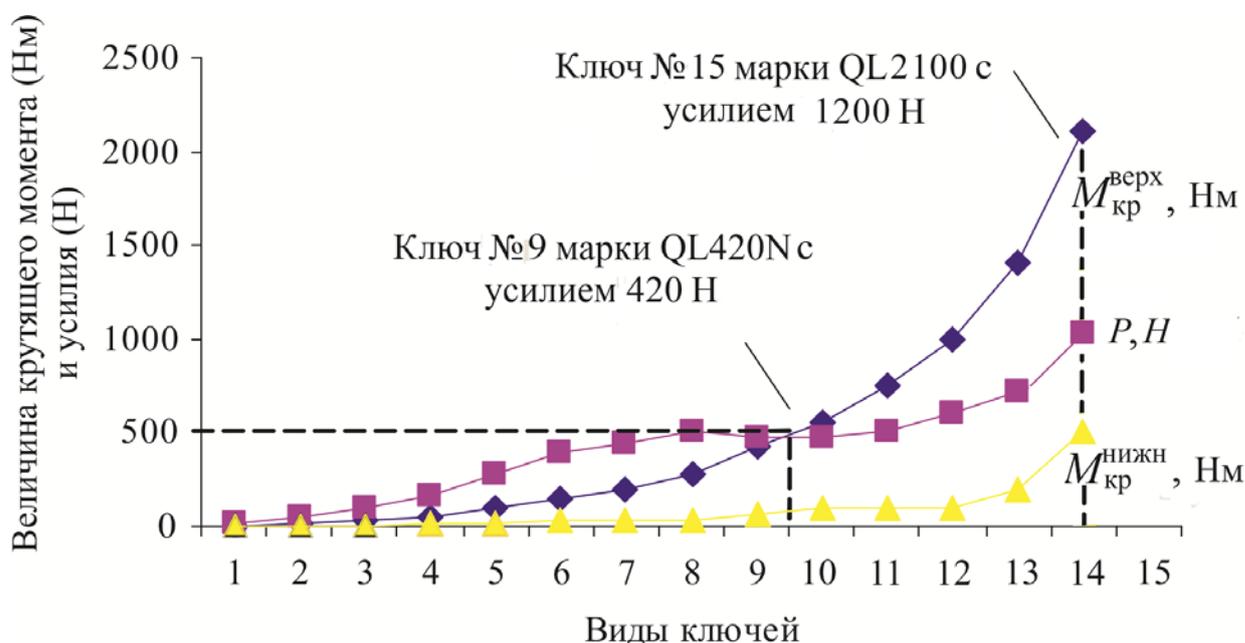


Рис. 3.1. Оптимальные величины момента динамометрических ключей при энергоэффективном монтаже

Установлено, что погрешность снятия отсчета в δx_4 на краях модуля УВСС составит 0,4 мм, погрешность рулетки не превышает 0,3 мм, погрешность методов технического зрения дает погрешность 0,1 мм на 1 м дистанции камеры до монтируемого модуля УВСС.

Действительная погрешность измерения не соответствовала требуемой, поэтому было увеличено число наблюдений m .

Таблица 3.5

Достигаемые усилия различными типами ключей

Модели <i>QL</i>	Усилие для максимального момента, Н	Длина ключа, мм	Диапазон крутящих моментов, Нм	Шаг, Нм	Вес, кг	Насадка
1,5	10	175	0,5–1,5	0,025	0,1	1/4"
3	25		1–3	0,05		
6	50		2–6	0,1		
12	90	185	4–12	0,2	0,2	3/8"
25	160	220	5–25	0,25	0,3	
50	280	260	10–50	0,5	0,5	1/2"
100	390	340	20–100	1	0,7	
140	450	400	30–140	1	0,8	3/4"
200	510	495	40–200	2	1,5	
280	480	695	40–280		2,0	
420	480	975	60–420	5	3,0	1"
E550	510	1190	100–550		5,0	
E750	610	1365	100–750		7,1	
E1000	720	1535	100–1000	10	9,5	1"
E1400	850	1794	200–1400		13	
E2100	1200	1950	500–2100	20	20	

Максимальный крутящий момент при затяжке болта не должен превышать значений табл. 3.6.

Таблица 3.6

Максимальный крутящий момент при затяжке болта

Диаметр болтов <i>d</i> , мм	10	12	16	20	24	30	36	42	48
Максимальный крутящий момент <i>M</i> , Н×м	12	24	60	100	250	550	950	1500	2300

Расчетный момент закручивания *M*, необходимый для натяжения болта, следует определять по формуле:

$$M = KPd, \quad (3.15)$$

где *K* - среднее значение коэффициента закручивания, в соответствии с требованиями ГОСТ 22356; *P* - расчетное усилие натяжения болта, кН; *d* - номинальный диаметр болта, мм.

Натяжение высокопрочных болтов фланцевых соединений следует осуществлять только по месту закручивания, величина которого определяется по формуле:

$$M = 0,9 K P d, \quad (3.16)$$

Отклонение фактического момента закручивания от момента, определяемого по формуле (3.16), должно быть не менее расчетного и не превышать его более чем на 10%, табл.3.7, с учетом климатического региона Крайнего Севера (табл.3.8).

Таблица 3.7

Контролируемое усилие натяжения болтов

Усилие натяжения болтов (контролируемое), кН (тс)		
Номинальные диаметры высокопрочных болтов с временным сопротивлением не менее 1100 МПа (110 кгс/мм ²), исполнения ХЛ по ГОСТ 22353-ГОСТ 22356		
M20	M24	M27
167 (17)	239 (24,4)	312 (31,8)

Таблица 3.8

Требования к болтам в зависимости от климатических условий

Температура наружного воздуха, °С	От -40 °С и выше	От -40 до -50 °С	От -51 до -65 °С
марка стали	ВСт3кп2, ВСт3пс2, Ст20	09Г2С-6, 10Г2С1-6	09Г2С-8, 10Г2С1-8
Ключ трещоточный, с шарнирно-закрепленной рукояткой	M42-M140	Ногинский опытный завод монтажных приспособлений	

Предложенные инженерно-технологические решения контроля точности монтажа полносборного здания из модулей защищены заявками на изобретение.

3.2. Комплектно-блочный монтаж зданий из высокотехнологичных модулей УВСС и систем повышенной заводской готовности

Выбор способов монтажа зависит от различных факторов и их комбинаций: степени укрупнения модулей конструкций, направления развития

монтажа, уровня механизации, автоматизации и роботизации работ, последовательности установки элементов и т. д.

Анализ составляющих организационно-технологической структуры монтажа модулей УВСС позволяет формализовать процесс выбора составляющих в соответствии с принятыми критериями (табл. 3.9), количественно их описать, сформировать метод поиска рациональных (оптимальных) решений [132, 148].

Таблица 3.9

Требования и критерии оптимизации монтажа зданий из модулей УВСС

Критерии оптимизации min/max	Сокращение		Снижение себестоимости ниже плановой	Обеспечение	
	продолжительности работы	трудоемкости		качества работ	производительности труда выше плановой
I. Экономические					
Min себестоимости	–	+	+	–	–
Min времени окупаемости	–	+	+	+	+
Max прибыли	–	+	+	–	–
II. Технологические					
Max производительности	+	–	–	–	+
Max качества	–	–	–	+	–
Min трудоемкости	–	+	+	–	–
III. Комбинированные					
Min времени окупаемости при min затрат и заданном качестве	+	+	+	+	+
Min себестоимости при max производительности	+	–	+	–	+
Max прибыли при max производительности	+	+	+	–	+

В качестве критерия, характеризующего степень совершенства УВСС по сравнению с традиционной поэлементной сборкой объектов, можно принять показатель блочности (табл. 3.10)

$$P_6 = \frac{t_6 m_6}{\sum t_n m_n}, \tag{3.17}$$

где t_6 — трудоемкость монтажных работ единицы массы модуля УВСС; t_n — монтаж из отдельных элементов; m_n — масса n -го элемента: $m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = m_6$; m_6 — масса УВСС модуля.

Таблица 3.10

Показатели технологичности зданий из модулей УВСС

Показатель	Формула расчета
<i>Транспортные</i>	
Разнотипность УВСС	$Y_1 = 1/X_2$; $Y_1 = X_4/(X_2X_1)$, где X_4 — максимальное количество модулей УВСС i -го типа; X_2 — количество типов; X_1 — общее количество
Коэффициент относительной металлоемкости УВСС	$V_{с.к} = M_{с.к}/X_5$, где X_5 — масса модулей УВСС i -го типа; $M_{с.к}$ — масса строительных конструкций
Удельная частота перегрузок	$УЧП = X_3X_5/(X_3X_5N_{п})$, где X_3 — количество модулей ВСС i -го типа
Загрузка транспортных средств	$Y_4 = 1/(X_1X_6)$; $Y_4 = X_3/Q$, где X_6 — максимальная масса модулей ВСС
Коэффициент использования допустимых габаритов (массы)	$K_{габ} = F_{СП}/F_{габ}$; $K_{м} = X_5/Q$, где Q — грузоподъемность; $F_{СП}$ и $F_{габ}$ — площади габарита и поперечного сечения
Разновесность УВСС	$Y_3 = X_5 X_3/(X_1X_6)$
<i>Монтажные</i>	
Разнотипность УВСС	Y_1
Коэффициент технологичности установки	$K_{т.у} = (T_о + T_в)/T_м$, где $T_о$ — трудоемкость ориентирования; $T_м$ и $T_в$ — монтажа и выверки
Блочность УВСС	$B = X_6T_6/\sum X_4T_4$, где T_6 и T_4 — трудоемкость монтажа 1 т УВСС массой соответственно X_6 и X_4
Загрузка кранов	Y_4
Относительная масса УВСС	$Y_6 = \sum X_3X_5/X_8$, где X_8 — площадь застройки объекта из модулей УВСС
Крупность конструкций	$Y_5 = X_1 X_8$
Степень укрупнения УВСС	$Y_7 = \sum X_3 X_5/X_1$
Разновесность УВСС	$Y_3 = \frac{\sum (X_5 X_3 - X_6 X_7)}{X_1 \sum X_3 - X_7}$, где X_7 — количество модулей УВСС с массой X_6
Концентрация УВСС	$Y_2 = X_1 X_8$

Выражением затрат энергии предлагается описывать транспортно-такелажные и монтажные работы:

$$W = \sum_1^n m_i(L_i + l_i), \quad (3.18)$$

где L_i — расстояние транспортирования; l_i — приведенное расстояние перемещения при такелаже и монтаже; m_i — масса i -го УВСС модуля.

Стоимость транспортно-монтажных работ

$$C = cWK_{\text{усл}}, \quad (3.19)$$

где $K_{\text{усл}}$ — коэффициент влияния внешних условий; c — стоимость единицы транспортно-монтажных работ.

Сравнение методов монтажа с учетом ранее проведенных исследований, статистической информации, технических и нормативных документов полносборных модульных зданий УВСС представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Сравнение методов монтажа полносборных модульных зданий

Технико-экономические показатели	Способы монтажа модулей УВСС				
	Свободный	Ограниченно-свободный	Полупринадетельный	Полуавтоматизированный	Роботизированный
Фиксация элементов	Без ограничений	С ограничениями связи	Кондуктор ферма-шаблон	Объемно-групповой кондуктор	Телескопическая монтажная платформа
Трудоемкость, %	100	76	61	40	5
Продолжительность, %	100	60	50	20	5
Технологическая оснастка	Гибкие стропы	Траверы с гибкой связью	Траверы с жесткой связью	Кондуктор с жесткими захватами	Транс-робот с жесткими захватами
Точность монтажа, мм	20	7	4,5	2,5	0,3
Себестоимость, %	100	86	68	45	10

Из таблицы видно, что роботизированный метод способа наводки УВСС модуля выигрывает в точности сборки в 8,3 раза и стоимости в 4,5 раз.

3.3. Системно-функциональное моделирование энергоэффективной технологии монтажа и выверки зданий из высокотехнологичных модулей

Объективные и стабильные результаты позволяют получать исследование энергетических моделей монтажа модулей УВСС. Система из 18 способов фиксации, приведения и ориентирования модулей УВСС, приведена в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Система способов фиксации модулей полносборных зданий

Способы проектирования	Способ приведения монтируемых сэндвич-панелей в проектное положение					
	свободный	полупринудительный		принудительный		
	Используемые фиксирующие устройства					
	—	пассивные	активные	пассивные	смешанные	активные
Осевой I						
Граневой II					Условные обозначения: — выверяемый элемент — синхронные активные ф-ры — пассивные факторы	
Комбинированный III						Перемещения: с — свободные р — регламентированные
	а	б	в	г	д	е
Замковый Стендовый	I тип		II тип		III тип	

Разработанная система реализованных и перспективных способов наведения и выверки при фиксации модулей позволяет выявить основные закономерности монтажного процесса.

Разработка методики, описывающей количественную взаимосвязь между производительностью и качеством, при роботизированном монтаже позволила получить численные значения выявленных зависимостей.

Для исследования с коэффициентами их значимости, выраженные продолжительностью операций способов выверки модулей в минутах, построен граф «дерево целей» (табл. 3.13).

**Сводная таблица результатов хронометражных измерений способов
монтажа модулей УВСС**

	Способ монтажа или монтажное оснащение, реализующее рассматриваемый способ	Номер ветви	Коэффициент значимости	Выверка верха монтируемого модуля	Выверка низа монтируемого модуля	Наведение монтируемого модуля	Выверка монтажного оснащения	Установка монтажного оснащения	Операции
Индивидуальные и групповые кондукторы	подкос, стрелковый кондуктор	1	62,6	42,1	2,13	11,0	0,00	7,57	Способы монтажа полносборных зданий
	домкратный кондуктор	2	58,37	34,2	4,06	11,0	0,00	9,11	
	полуавтоматический кондуктор	3	65,5	3,45	0,74	11,0	41,2		
	групповой на две панели	4	62,12	43,4	3,64	11,0	0,00	4,08	
	групповой на четыре панели	5	63,91	47,1	3,10	11,0	0,00	2,71	
Групповые кондукторы	с фиксатором в одном уровне	клиновые	6	22,05	1,32	3,22	13,1	2,12	
		угловые	7	21,75	0,62				
		поворотные	8	20,81	0,08				
		клиновые	9	21,88	0,12	3,22	14,13		
		угловые	10	21,83	0,07				
		поворотные, $r = 100$ мм	11	21,87	0,11				
	поворотные, $r = 100$ мм	12	21,9	0,14	3,11				
	с фиксатором в двух уровнях	поворотными, на весу	13	6,04		0,17			
		поворотными и клиновыми, на весу	14	6,03		0,16	0,47		
		поворотными, $R = 100$, $r = 10$ мм	15	7,54	1,67				
		поворотными, на весу	16	5,31	0,41				
		поворотными и клиновыми, на весу	17	6,07	0,67	0,00			
	поворотными	18	11,96	6,56	0,48	0,14	0,66		
Роботизированная телескопическая монтажная платформа УВСС	19	2,03	0,75						

Установлено, что манипуляции, осуществляемые групповыми согласованными кондукторами, позволяющие обеспечить максимальную мощность, принудительные способы фиксации и высокую производительность, являются наиболее эффективными из существующих способов выверки; следует исключить из технологического процесса операцию выверки монтируемых модулей методом скольжения как наиболее энергоемкую. Экспериментальная проверка методики оценки эффективности способов временного закрепления выверки модулей показала следующую сходимость теоретически обоснованных результатов.

Строительный технологический процесс можно представить в виде уравнения энергетического баланса:

$$\varepsilon dm = \eta N dt, \quad (3.20)$$

где εdm — полные затраты энергии при возведении здания массой m , кН; $\varepsilon = f_1(m_1)$ — удельная энергоёмкость предмета труда, кДж/кН; η — суммарный КПД средств производства; ηNdt — полезная часть работы, кВт.

Эффективность техники:

$$k = k_0 \alpha \eta; \quad (3.21)$$

$$k_0 = \frac{t_{\text{раб}}}{t_0},$$

где α — КПД силовой передачи; k_0 — коэффициент использования монтажного робота во времени; η — КПД рабочих органов.

Изменение энергии строительной системы «модуль–транспортно-монтажная роботизированная платформа» в канонической форме:

$$\Delta W = \sum_1^n A_{\text{вн}i} = \Delta W_y + \Delta W_{\text{п}} + \Delta W_{\text{к}} = (A_{\text{п}} + A_y + A_{\text{т}} + A_{\text{и}}) - (A_{\text{с}} + A_{\text{торм}} + A_{\text{св}}), \quad (3.22)$$

где ΔW_y , $\Delta W_{\text{к}}$ и $\Delta W_{\text{п}}$ — изменение энергии упругих деформаций, кинетической и потенциальной энергии; $\sum A_{\text{вн}i}$ — сумма работ внешних i -х сил; $A_{\text{п}}$ — работа сил вертикального подъема модулей; $A_{\text{т}}$ — работа сил горизонтальной тяги; $A_{\text{св}}$ — работа сил собственного веса; $A_{\text{и}}$ — работа сил инерции модулей; $A_{\text{торм}}$ — работа сил торможения при остановке; A_y — работа сил упругости; A_0 — работа сил сопротивления (трение, ветровая нагрузка и т. д.).

Условия наиболее эффективной системы с энергетических позиций:

1. Минимальное взаимодействие с внешней средой.
2. Перемещение монтажной системы будет идеальным энергетическим балансом W_3 , если траектория в виде параболы:

$$H = aS - bS^2. \quad (3.23)$$

Массе модуля УВСС m_0 будет соответствовать удельное значение энергозатрат A соответствующего энергетического уровня:

$$\varepsilon_0 = \frac{A_1}{m_0} + A_2 m_0,$$

где $A_2 m_0$ — расходование полной энергии на нисходящем участке параболы; A_1/m_0 — накопление на восходящей части.

Оптимальное значение массы перемещаемого модуля УВСС m_0 , как минимум, ε_0 определяет производная от энергетического уровня по массе:

$$\frac{\partial \varepsilon_0}{\partial m_0} = \frac{A_1}{A_2} + A_2 = 0,$$

отсюда

$$m_0 = \frac{A_1}{A_2} \quad \text{и} \quad \varepsilon_0 = 2\sqrt{A_1 A_2},$$

где A_1, A_2 — константы, описывающие траекторию монтажа модулей.

Технология считается оптимальной с энергетических позиций при совпадении параметров ε_0, A_1, A_2 :

$$A_{\text{и}} = m_0 g H_0; \quad A_{\text{т}} = TS; \quad A_y = \frac{\sum \Delta l}{2} EF;$$

$$A_{\text{н}} = m_0 \frac{\sum (V^2)}{4}; \quad A_{\alpha} = S \sum F_{\text{тр}},$$

где $\sum \Delta l$ — суммарное изменение длины упругих элементов; l — длина элементов; E — модуль Юнга; $\sum F_{\text{тр}}$ — суммарное значение сил сопротивления; F — площадь сечения.

Пример модели выверки и монтажа модулей УВСС при помощи монтажного робота приведен на рис. 3.2.

Затраты энергии на моделях перемещения модуля аналогичны силам, их вызвавшим: $F_{\text{с}}^{\text{в}}$ — суммарные затраты энергии при выверке верха модуля; $F_{\text{с}}^{\text{н}}$ — низа модуля; F_1 — на уровне верха; F_2 — на уровне опоры; T — затраты энергии на трение; R — на уровне нижнего пояса робота.

Проведено энергетическое моделирование монтажа модулей УВСС. Предложенный метод позволяет определить перспективную эффективность разрабатываемых монтажных средств, основанных на нетрадиционных способах преобразования энергии. Затраты энергии наиболее минимальны при регламентированных процессах, и оптимальны при совпадении параметров ε_0, A_1, A_2 .

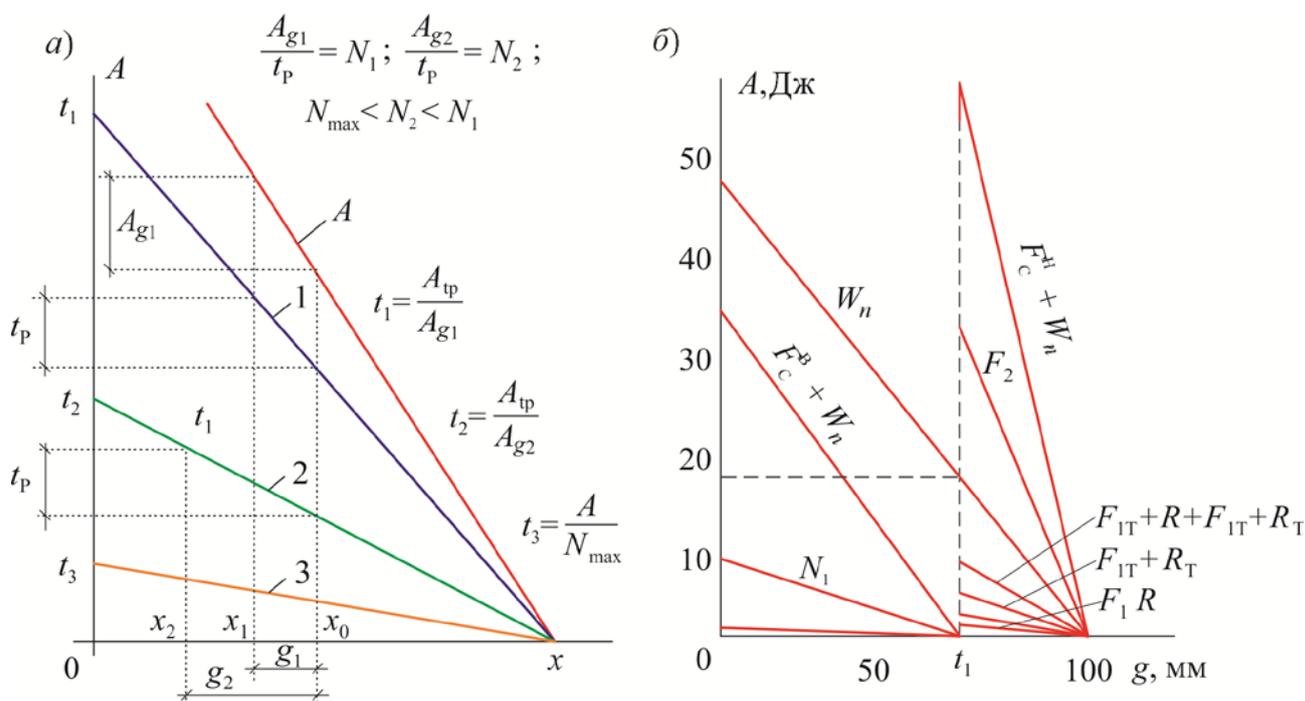


Рис. 3.2. Энергетическая модель выверки (а) и роботизированного монтажа модулей УВСС (б): взаимосвязь точности монтажа (g), потребляемой мощности (N) машин и устройств (гидроподъемников, манипуляторов) и времени реакции (t_p) при свободных (1, 2) и регламентированных (3) процессах; x_0 — проектное положение модуля; x_1, x_2 — смещенное положение при N_1 и N_2

Примеры разработанного метода энергоэффективного монтажа представлены и примеры разработок представлены в различных разделах работы:

1. Разработанные элементы энергоэффективного монтажа колонн при нулевых затратах энергии, представлены в п.4.5;
2. Разработанное решение энергоэффективного болтового соединения при снижении энерго затрат в 38 раз, представлены в п.4.1;
3. Разработанное решение энергоэффективного монтажного башенного крана при нулевых затратах энергии при монтаже элементов, представлены в п.3.3.

3.4. Детерминированный факторный анализ дефектов монтажа и эксплуатации модульных и полносборных зданий

Основой исследования при мониторинге в 2011–2016 гг. в г. Новом Уренгое Тюменской области, Санкт-Петербурге, Ленинградской и Новгородской областях явилось осуществление обследования существующих быстровозводимых модульных и полносборных зданий [38, 87, 95].

Результаты изучения этого вопроса и основные причины дефектов представлены автором ниже. Таким образом, для обеспечения необходимого качества возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных модулей и снижения затрат на устранение дефектов при организации технологического процесса, строительстве и эксплуатации транспортно-логистическая схема завод–объект не должны допускать залеживания монтируемых модулей УВСС и срыва технологических сроков монтажных работ [78–81, 188].

Эксплуатационная надежность многоцелевых полносборных зданий из УВСС определяется по уравнению

$$K_H = \sum_{i=1}^m K_i a_i / m, \quad (3.24)$$

где K_H — обобщенный (интегральный) коэффициент; a_i — весовой коэффициент модуля УВСС в здании; m — количество рассматриваемых модулей.

Коэффициент надежности модуля УВСС:

$$K_i = \frac{(1 - \Phi_k / 100)}{T_c} \cdot T_{oc}, \quad (3.25)$$

где T_{oc} — остаточный срок эксплуатации; T_c — проектный срок эксплуатации.

Срок службы (долговечность) полносборного здания:

$$K_D = T_{oc} / T_c, \quad (3.26)$$

где K_D — коэффициент долговечности УВСС.

Вероятность безотказной работы модульного здания:

$$P_i = e^{-\lambda t}, \quad (3.27)$$

где t — время эксплуатации здания; λ — интенсивность отказов.

Установлено, что при возведении полносборных зданий при известной точности изготовления высокотехнологичных модулей следует рассчитывать коэффициент точности K_{cp} как технологический допуск на разбивочные и монтажные работы:

$$K_{\text{cp}}^2 = \left(\Delta_{\Sigma}^2 - \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_{i\text{н}}^2 \right) / \sum_{i=1}^{n-1} (I_{i\text{г}}^2 + I_{i\text{м}}^2), \quad (3.28)$$

где $I_{\text{г}}$ и $I_{\text{м}}$ — допуски на разбивочные работы и монтаж модулей; $\Delta_{i\text{н}}$ — известные допуски на изготовление модулей.

Полная собираемость полносборного здания из модулей УВСС:

$$\Delta_{\text{ф}} \geq \Delta_{\Sigma}, \quad (3.29)$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2},$$

где Δ_{Σ} — суммарный допуск; Δ_i — величина i -го допуска; $\Delta_{\text{ф}}$ — фактическая величина допуска; n — число технологических допусков при монтаже УВСС модулей.

Условие полносборности и соответственно собираемости здания:

$$\delta_{\text{м}}^{\text{ф}} = \sqrt{\delta_{\text{у}}^2 + \delta_{\text{д}}^2} \leq \delta_{\text{м}}^{\text{н}}, \quad (3.30)$$

где $\delta_{\text{м}}^{\text{ф}}$ — фактические отклонения; $\delta_{\text{у}}$ — погрешности при монтаже высокотехнологичных модулей; $\delta_{\text{д}}$ — погрешности при деформации монтируемых модулей; $\delta_{\text{м}}^{\text{н}}$ — нормативное отклонение при скоростном монтаже модулей.

Таким образом, в регионах со сложными климатическими условиями наиболее очевидны достоинства зданий из блочных модулей на основе металлокаркаса:

- всесезонность монтажа, что особенно важно для сейсмических районов и регионов с суровым климатом;
- простота монтажа зданий модулей;
- низкая стоимость модульных зданий заводского изготовления;
- прочность, долговечность, мобильность, поскольку конструктивной основой блочных модулей служит сборно-разборный металлокаркас;
- короткие сроки возведения объектов из блок-модулей и как следствие — снижение стоимости монтажа;

- универсальность и технологичность блочно-модульных зданий.

Анализ показал, что имеющие временной разрыв с момента вывоза с завода и до сборки быстровозводимые модульные здания подвержены потенциальным отказам в работе модулей, которые, как правило, проявляются в периоды эксплуатации этих зданий [4].



Рис. 3.3. Распределение дефектов модульных зданий по типу конструкций (слева) и по типу дефектов (справа)



Рис. 3.4. Распределение дефектов полносборных пятиэтажных зданий

При анализе транспортных схем на практике установлено, что имело место нахождение блок-модулей и других комплектующих БМЗ в пути сверх

положенного времени, а также залеживание продукции на складах разного уровня. Как правило, это следствие неувязки сроков поставки модулей и вспомогательных изделий со сроками производства работ, логистических сбоях в транспортных операциях, на некоторых объектах отмечались недостаточная интенсивность и длительные приостановки строительства.

Результаты обследования в период мониторинга в 2011–2016 гг. 74-х модульных зданий со сроками службы в среднем 10 лет и 54-х полносборных зданий со сроками службы 30–40 лет приведены на рис. 3.3–3.4. Распределение дефектов у обследованных домов показало, что наибольшую часть составляют дефекты наружных стен, перекрытий, систем вентиляции и отделочные покрытия; увлажнение конструкций составляет 15–20 % всех дефектов [6].

Монтаж полносборных модульных зданий — сложный и трудоемкий процесс. Большое значение имеет квалифицированная и своевременная оценка качества и безопасности полносборного строительства и строительной продукции, основанная на управлении технологическими процессами, позволяющая определить последующие условия эксплуатации объекта в условиях Крайнего Севера [135, 147].

Для оценки качества определяют коэффициент соответствия проекту (нормам) K_c как отношение числа наблюдений, соответствующих нормам, к общему числу. Для количественных оценок качества СМР возведения зданий из полносборных элементов индустриального изготовления рассчитывают уровень отсутствия брака и показатель точности процесса по формулам в табл. 3.14.

Показатели качества для отдельных полносборных зданий приведены в табл. 3.14 (рис. 3.5).

Наибольшая оценка соответствует СМР по возведению полносборного здания № 2 (категория «оптимально» (более 0,76)).

Так, для полносборного здания № 3 получаем итоговую оценку:

$$K_{\text{СМР}} = 0,63^{0,19} \cdot (0,63 \cdot 0,28)^{0,12} \cdot (0,58 \cdot 0,77)^{0,025} \cdot (0,69 \cdot 0,981)^{0,26} = 0,620.$$

Преимущества показателя $K_{\text{СМР}}$ обусловлены его количественностью, комплексностью.

и чувствительностью к интегральному свойству модуля полносборной системы УВСС в виде надежности.

Таблица 3.14

Значения коэффициентов стабильности возведения полносборных зданий

№ дома	K_R	K_x	K_T	K_s	K_d	K_p	$K_{СК}$	$K_{СМР}$
1	0,74	0,61	0,43	0,59	0,67	0,947	0,71	0,774
2	0,952	0,73	0,68	0,67	0,53	0,962	0,77	0,813
3	0,69	0,58	0,28	0,77	0,63	0,981	0,63	0,620
4	0,96	0,61	0,65	0,60	0,43	0,978	0,57	0,761
5	0,86	0,54	0,23	0,57	0,47	0,958	0,69	0,682
Оценка О	0,95	0,75	1,00	0,75	0,90	0,998	0,75	0,909
Среднее	0,902	0,54	0,22	0,72	0,50	0,990	0,70	0,757
Оценка НО	0,90	0,50	0,67	0,50	0,75	0,994	0,50	0,674

Примечания. 1. Оценка НО – значения, ниже которых категория качества принята «не оптимально». Оценка О – значения, выше которых категория качества принята «оптимально».

2. Коэффициенты: K_p – снижения надежности; K_T – точности технологического процесса; K_d – средний уровень отсутствия брака; K_R – снижения прочности; K_x – стабильности по систематическим погрешностям; K_c – соответствия; K_s – стабильности по случайным погрешностям; $K_{СК}$ – уровень качества системы; $K_{СМР}$ – комплексный показатель качества.

Предложенные инженерно-технологические решения контроля качества монтажа полносборного здания из модулей защищены заявкой на изобретение РФ № 2016139184 от 05.10.2016 и патентом РФ № 2589886 [32, 74].

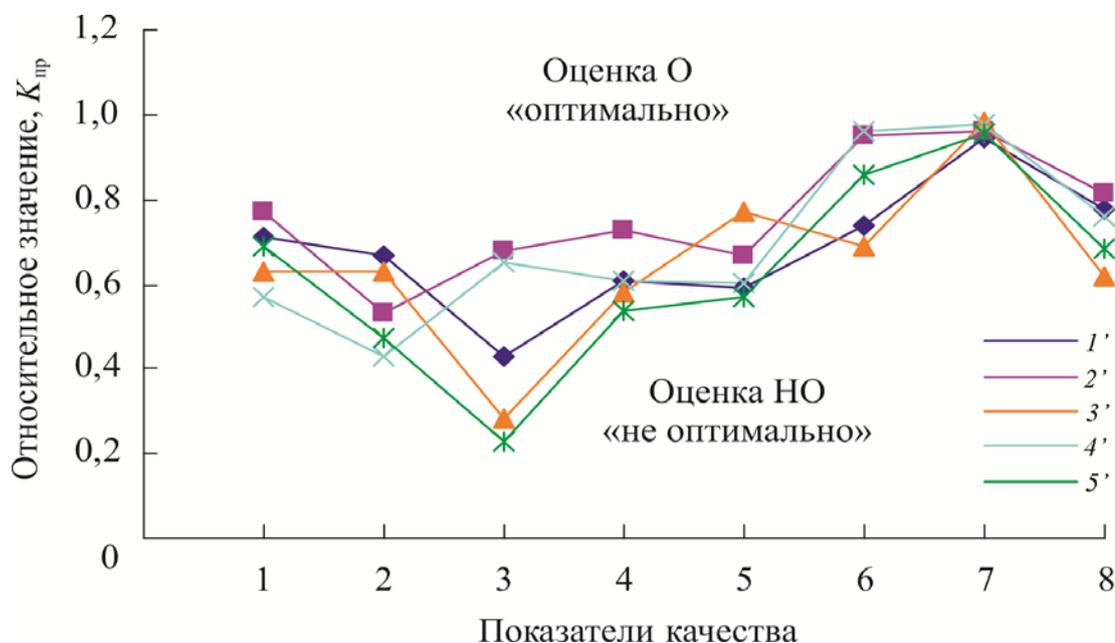


Рис. 3.5. Графики показателей (коэффициентов) качества монтажа модулей: 1'–5' – варианты модулей; 1 – система качества модулей; 2 – отсутствие брака; 3 – точность технологического процесса; 4 – снижение точности сборки; 5 – стабильность по погрешностям; 6 – деформация; 7 – снижение надежности; 8 – комплексный показатель качества

Предлагаемое устройство зондирования строительных модулей УВСС относится к устройствам определения расположения неоднородностей в строительных конструкциях (модулях), и может найти применение в областях:

- зондирование строительных конструкций;
- определения скрытых дефектов в них.

Автоматическим определением глубины расположения подповерхностных объектов с использованием корреляционной функции $R(\tau)$ зондирующего и отраженного сигналов. Предлагаемые в работе замковые соединения требуют отбраковки на стадии изготовления и контроля качества на объекте.

3.5. Целевая (ориентированная) методика формирования эффективной транспортно-технологической системы модульного строительства в условиях Крайнего Севера, и территорий приравненных к нему

Из-за огромной удаленности северных и заполярных территорий от производственных цехов, заводов и фабрик осложняется доставка сырья и материалов к месту строительства, которая к тому же в большинстве случаев возможна лишь в период летней навигации – 4-5 месяцев в году. Если на «материке» для строительства жилых домов применяются, в основном, монолитные и кирпичные технологии, то на Крайнем Севере возведение зданий по ним – полный анахронизм.

Погрузочно-разгрузочные и монтажные операции — важные операции транспортно-логистического процесса при скоростном строительстве полносборных зданий и сооружений из модульных систем. Их доля в общих затратах строительного транспорта в среднем составляет более 60%. Заводы-поставщики и базы комплектации строительных организаций не всегда имеют оборудованные места для погрузки и разгрузки транспортных средств. С использованием автопоездов большой грузоподъемности с прицепами остро

ощущается недостаток в подготовке подъездных путей и фронтов погрузки-разгрузки.

Пункты подготовки грузов часто не справляются со своими задачами из-за того, что фронт работ имеет недостаточно обоснованные размеры и слабое техническое оснащение. Использование грузоподъемных механизмов на большинстве складов по времени составляет 15–20%, а по грузоподъемности — 30–50%. Фактическая продолжительность простоев автотранспортных средств под погрузкой и разгрузкой превышает нормативную в среднем в два раза. Непроизводительные затраты времени, связанные с ожиданием выполнения погрузочно-разгрузочных работ, составляют более трети (36%) от общего времени работы автотранспортных средств на линии [54]. От результатов формирования отправочных и транспортных комплектов, своевременной отгрузки грузов на стройки зависит эффективность использования подвижного состава и эффективность работы строительных бригад.

Пункт подготовки модулей, его структуру можно представить в обобщенной схеме структурных элементов, которыми являются:

- фронт погрузки или количество постов для погрузки и разгрузки;
- площади или объемы, на которых выполняются операции перемещения, пакетирования и контейнеризации модулей;
- пути перемещения модулей.

Ритм работы погрузочного пункта R на заводе поставщика есть время, через которое отправляются один за другим загруженные автомобили. Он зависит от времени простоя автотранспорта под погрузкой $t_{\text{п}}$ и числа постов погрузки $N_{\text{п}}$ в пункте подготовки модулей:

$$R = \frac{t_{\text{п}}}{N_{\text{п}}}. \quad (3.31)$$

Интервал движения J пробега автотранспорта t_e :

$$J = \frac{t_e}{A}, \quad (3.32)$$

где A — количество единиц транспорта.

Необходимость в определенном числе постов погрузки для обеспечения бесперебойной работы пунктов подготовки модулей рассчитывается по формуле

$$N_{\Pi} = \frac{t_{\Pi}}{J} \eta_{\Pi}, \quad (3.33)$$

где η_{Π} — коэффициент неравномерности прибытия автотранспортов на пост погрузки. Значение η_{Π} зависит от уровня организации грузопотоков.

Для обеспечения синхронности работы подвижного состава и постов погрузки в пунктах подготовки модулей необходимо равенство между ритмами работы пункта и интервалом движения автотранспорта, т. е. $J = R$, откуда и определяется необходимое количество единиц транспорта A :

$$A = \frac{N_{\Pi}}{t_{\Pi}} \left(\frac{l}{\beta V_T} + t_{\Pi} + t_p \right), \quad (3.34)$$

где β — коэффициент использования пробега; N_{Π} — количество постов погрузки на складе поставщика или базы комплектации; L — расстояние перевозок, км; t_{Π} — время простоя транспорта при загрузке, ч; V_T — скорость, км/ч; t_p — время простоя транспорта при разгрузке, ч.

Количество погрузочно-разгрузочных механизмов на пункте подготовки модулей исходя из их производительности и уровня использования определяется по формуле

$$N_M = \frac{G_c^i}{T_k Q_k (1 - k_M) k_n}, \quad (3.35)$$

где G_c^i — суточный (сменный) объем перевозки i -го вида материалов и изделий, т; T_k — продолжительность работы k -го механизма в течение смены (суток), ч; Q_k — техническая производительность механизма, т/ч; k_M — коэффициент стабильности, отражающий удельный вес времени движения механизмов между пунктами погрузки и разгрузки в общем рабочем времени:

$$k_M = \frac{T_{дв}^k}{T_H^k}, \quad (3.36)$$

где $T_{дв}^k$ — общее время, затрачиваемое транспортом на переезды, ч; $T_{н}^k$ — время нахождения транспорта в наряде, ч.

Коэффициент эффективности погрузочно-разгрузочных работ

$$k_n = \frac{T_{пр}^k}{T_{н}^k - T_{дв}^k} \leq 1, \quad (3.37)$$

где $T_{пр}^k$ — общее время, затрачиваемое механизмом непосредственно на погрузку, ч.

Направление грузопотока в пункте подготовки модулей влияет на выбор средств механизации, интенсивность подготовки модуля, пропускную способность пункта и производительность погрузочно-разгрузочных машин. Минимальные затраты времени на загрузку автотранспортных средств рассчитывают по уравнению

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n x_{il} t_{il} \rightarrow \min, \quad (3.38)$$

где l — расстояние от места складирования до места погрузки ($l = 1, 2, 3, \dots, n$); n — число площадок; x_{il} — количество i -го вида модулей, перемещаемое на расстояние l до места погрузки, $i = 1, 2, \dots, m$, м³; m — количество наименований; t_{il} — время, необходимое для перемещения 1 т (м³) модулей на расстояние l км.

Производительность каждого транспорта, занятого перевозкой модулей, как показывает практика, может быть увеличена на 50% за счет ускорения загрузки при рациональном размещении изделий на складах заводо-поставщиков и транспортируемости несущих элементов. И это позволяет обойтись меньшим количеством средств подвижного состава для доставки одного и того же модуля.

Транспортный процесс представляется как сложная динамическая система, имеющая несколько фаз, для которых производится расчет наиболее выгодных вариантов технической оснащённости в каждой фазе. На основе выбранных вариантов рациональных транспортно-технологических схем в каждой фазе

транспортного процесса определяется оптимальный и все близкие к нему варианты технической оснащенности транспортного процесса в целом.

Для выявления и изучения таких вариантов наиболее эффективным является технологический граф (рис. 3.6). Вершинами графа X_{ij} являются элементы множества факторов, характеризующих условия строительства объектов. Из этого множества выделяется некоторое конечное число подмножеств, соответствующих категориям одинаковой природы:

- объемно-планировочные и конструктивные решения зданий;
- тип грузоподъемных механизмов;
- количество грузоподъемных механизмов;
- тип транспортных средств и др.

Расчеты по выбору рационального технического процесса при доставке грузов на стройки показали, что за счет правильного технического процесса во всех его фазах при совместной работе погрузочно-разгрузочного оборудования и транспортных средств возможно сокращение транспортных расходов в среднем на 36–48%, а простоев строительных бригад на 95%.

Предлагаемая методика может быть использована при выборе оптимального состава транспортно-технологических комплексов машин и механизмов, участвующих в транспортном процессе по доставке комплектов материалов и изделий на стройки.

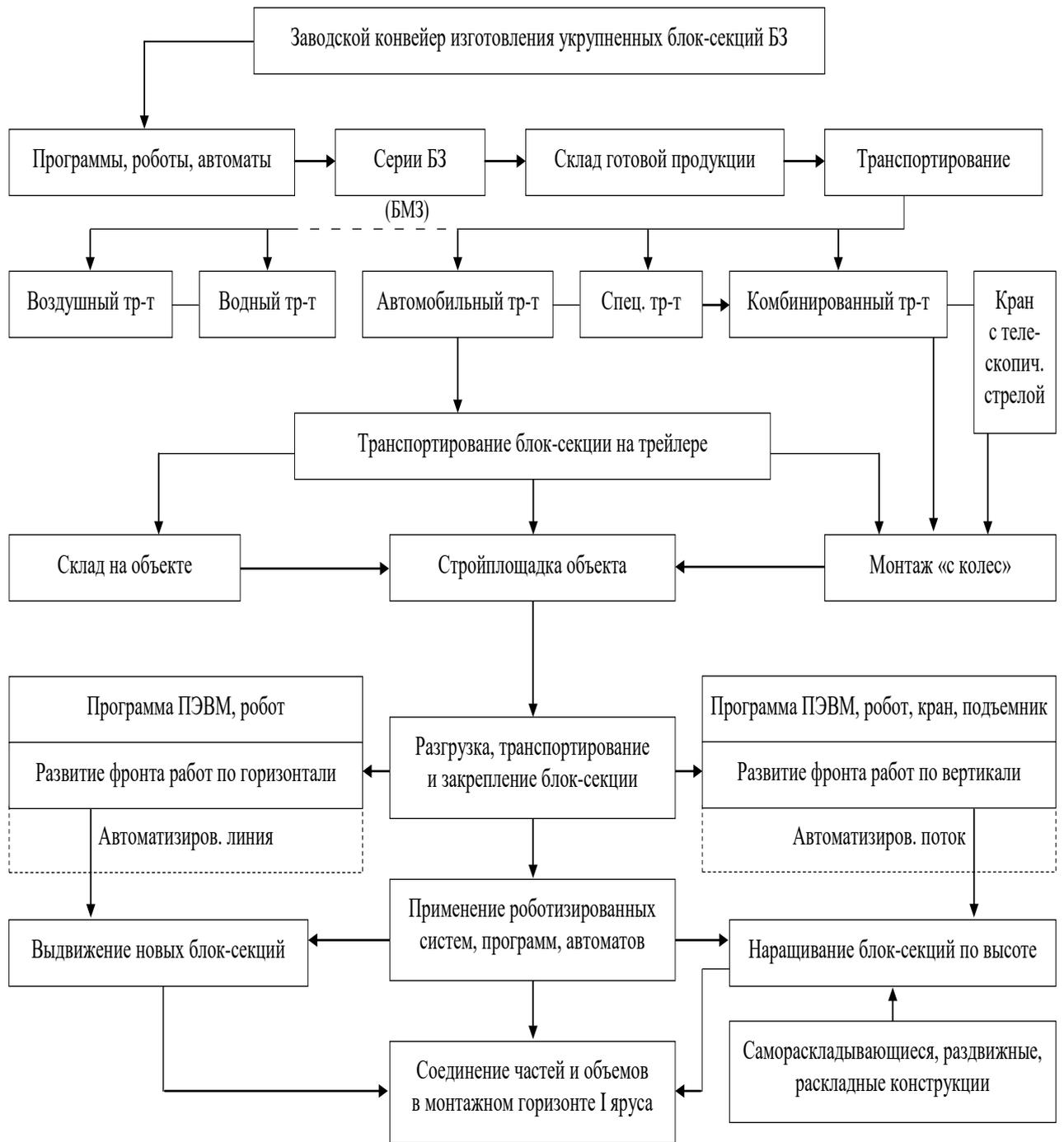


Рис. 3.6, начало. Граф технолого-логистической модели монтажа быстровозводимых полно-сборных зданий из укрупненных заводских модулей

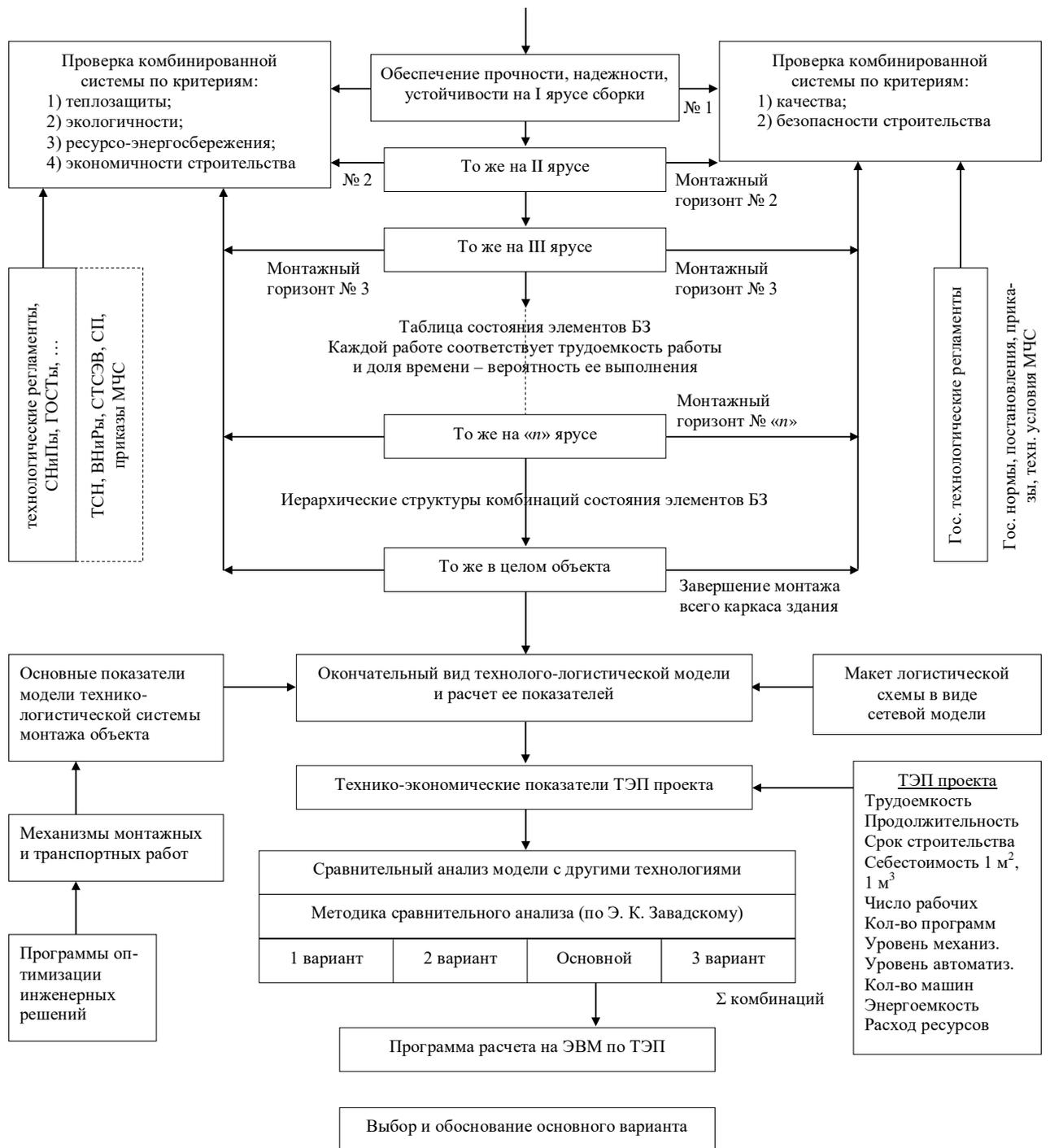


Рис. 3.6, окончание. Граф технолого-логистической модели монтажа быстровозводимых полносборных зданий из укрупненных заводских модулей

Анализ взаимосвязи транспортного процесса с конструктивными и организационно-технологическими решениями строительства объектов промышленными методами. Анализируя взаимосвязь транспортного и строительного процессов для массового промышленного строительства

можно отметить следующие способы реализации связей: последовательное, совмещенное и одновременное.

В первом случае связь транспортного и строительного процессов можно выразить следующими формулами:

$$t_j^H = t_i^H + T_i \text{ или } \tau_{ij} = T_i; \quad (3.39)$$

$$t_j^H = t_i^H + T_i + \Delta T \text{ или } \tau_{ij} = T_i + \Delta T \quad (3.40)$$

где t_j^H , t_i^H — соответственно, моменты начала транспортного (j -го) и строительного (i -го) процессов; T_i — продолжительность выполнения транспортного процесса; τ_{ij} — величина организованного перерыва между началами транспортного и строительного процессов; ΔT — величина перерыва между окончанием транспортного и началом строительного процесса.

При последовательном выполнении транспортного и строительного процессов организационная их взаимосвязь зависит от методов и условий строительства, а также способов доставки, и реализуется путем определения значения опережения завоза монтажных изделий на стройку τ_{ij} .

Наиболее распространен в строительстве способ доставки модулей с опережением начала их монтажа, т. е. совмещение транспортного и строительного процессов.

В случае совмещенного выполнения процессов величина опережения $\tau_{ij} \rightarrow 0$ и они объединены в единый транспортно-монтажный процесс.

Увязка заключается в нахождении величины перерыва между началами строительного-монтажного и транспортного процессов τ_{ij} . При заданной интенсивности потребления материалов q_j строительный процесс будет выполняться непрерывно при необходимом запасе материалов и модулей на строительной площадке в каждый рассматриваемый момент Δt ; q_{ij} — размер запаса материалов и изделий. Результатом расчета является выявление минимально необходимого значения l_{ij} .

Интенсивность потребления материалов и изделий и продолжительность процессов рассчитывается по формуле

$$T = \frac{Q}{q}, \quad (3.41)$$

где q — интенсивность доставки (укладки) в смену, т; Q — объем доставки (укладки) изделий, т; T — продолжительность смены.

В результате выполнения транспортного процесса за время τ_{ij} будет выполнен объем работ, равный $q_i \tau_{ij}$, а по i -му процессу — 0. За время Δt объем поставки будет равен $q_i \Delta t$, а объем укладки $q_j \Delta t$.

При различной интенсивности выполнения процессов уравнения связи могут быть записаны следующим образом:

$$\text{первый случай: } T_i < T_j; \quad \tau_{ij} = \frac{q_{ij}}{q_i}; \quad (3.42)$$

$$\text{второй случай: } T_i > T_j; \quad \tau_{ij} = \frac{q_{ij} Q_j}{q_i Q_i} + (T_i - T_j); \quad (3.43)$$

$$\text{третий случай: } T_i \leq T_j; \quad \tau_{ij} = \frac{q_{ij} Q_j}{q_i Q_i}. \quad (3.44)$$

Предлагаемая в данном разделе методика позволяет наиболее эффективно планировать сроки начала и окончания комплектации объектов скоростного строительства материалами и модулями, а также составлять рациональные графики работы автотранспортных средств. В результате этого сокращаются простои бригад, автоматизированных и роботизированных систем на стройках из-за отсутствия укомплектованных модулей и транспортных средств в ожидании разгрузки.

Величина времени опережения доставки комплектов материалов и изделий на стройки перед началом монтажа значительно колеблется и составляет от одного до десяти дней. Следовательно, транспорт непосредственно и активно влияет на количественные и качественные показатели деятельности строительных организаций и тем самым воздействует на эффективность строительного производства.

Разработка оптимального графика работы автотранспортных средств. В качестве примера реализации общего алгоритма моделирования транспортного процесса рассматривается метод разработки оптимальных графиков использования автотранспортных средств и грузоподъемных механизмов в течение рабочей смены в целях организации единого транспортно-монтажного процесса по часовому графику.

Задача формулируется следующим образом. Имеется группа заводов-поставщиков сборных высокотехнологичных модулей. На каждом заводе имеются склады готовой продукции и пункты погрузки. Расстояние от заводов до объектов строительства может быть различным. Монтажные работы производят непосредственно с транспортных средств при челночном способе доставки сборных модулей, когда один автомобиль-тягач работает с несколькими сменными полуприцепами. К моменту прибытия трейлера (модулевоза) на монтажную площадку изделия с одного из имеющихся там полуприцепов должны быть полностью смонтированы с тем, чтобы тягач мог забрать под погрузку свободный полуприцеп. Количество единиц автотранспорта N , необходимое для выполнения перевозок, зависит от количества объектов k , количества заявленных с каждого объекта транспортных комплектов n_k и времени рейса от заводов до строек t_p , т. е.:

$$N(k, n_k, t_p). \quad (3.45)$$

В соответствии с принятой технологией монтажа составляются заявки на доставку модулей по каждому объекту. Заявка на поставочный комплект включает в себя отдельные транспортные комплекты. При этом необходимо учесть время монтажа каждого транспортного комплекта. За интервал возможной постановки под загрузку транспортных средств $\tau_K^{\text{НП}}$ принимается период времени $\tau_{k n j m}^{\text{НП}}$, в течение которого можно начать погрузку, обеспечивая при этом своевременную доставку на монтаж. Величина интервала возможной постановки автомобилей под загрузку транспортного комплекта $\tau_{k j m}^{\text{НП}}$ зависит от количества полуприцепов на монтажной площадке. Для организации каждого

автомобиле-рейса требуется определить начало погрузки i -го транспортного комплекта. Полагая, что начало погрузки рассматриваемого автомобилерейса совпадает с началом его возможной поставки под погрузку, т. е. $t_0^{\text{КП}} \leq \tau_{kjm}^{\text{НП}}$ определяют, есть ли свободная точка погрузки на складе в этот момент, тем самым проверяется условие:

$$t_{qm} < t_0^{knm},$$

где t_{qm} — время, начиная с которого на складе можно начинать погрузку требуемого транспортного комплекта.

Выполнение этого условия позволяет выделить необходимое место погрузки на складе и зафиксировать время его освобождения, равное $t_{qm} + t_{jm}$. Если это условие не выполняется, то надо проверить возможность начала погрузки рассматриваемого транспортного комплекта до конца интервала возможной постановки автомобиля под загрузку $\tau_{\text{КП}jm}^{\text{КП}}$, т. е. проверить другое условие: $t_{qm} \leq \tau_{\text{КП}jm}^{\text{КП}}$. Оно позволит выделить необходимое место погрузки на складе и зафиксировать время начала погрузки на нем. После этого можно переходить к корректировке полученного времени начала погрузки t_0^{knm} в зависимости от наличия свободных трейлеров. Время начала погрузки транспортного комплекта t_0^{knm} сравнивается со временем прибытия на завод тех трейлеров, которые уже работают или должны работать в эту смену. Дальнейший порядок действий зависит от выбора одного из возможных вариантов логистической схемы. При этом необходимо учитывать среднюю продолжительность простоев автотранспортных средств, грузоподъемных механизмов и строительных рабочих по организационно-технологическим причинам.

Математическое моделирование эффективной логистической схемы.

Математический анализ транспортно-технологических процессов указывает на достаточно высокую энтропийность данных логистических систем и позволяет

выявлять методы ее снижения в целях оптимизации и увеличения доходности процесса.

Однопериодная задача с конечным числом участников строительства. В данном тексте рассматривается движение транспорта и работа строительных бригад при возведении объекта с учетом минимизации затрат и сокращения срока строительства полносборного здания из УВСС модулей. В этом случае возникает конфликт. Каждому, кто участвует в обеспечении передвижения модулей УВСС, монтажной бригады по маршруту, хотелось бы выбрать такой путь, который бы удовлетворял их интересам. Например, работникам транспорта хотелось бы потратить меньше времени на доставку материалов и модулей, ремонт техники, отделку, заправку техники. Необходимо минимизировать расход топлива отделу, который следит за техническим состоянием машин, обеспечить наиболее бережную эксплуатацию техники.

Заказчик, генподрядчик, генпроектировщик, ДСК, склад и ведомства (агенты) хотят минимизировать затраты на обеспечение движения. В данном разделе приведены сетевые модели и способ оптимизации маршрута по выбору рационального маршрута транспортировки модулей, а также алгоритм и программа решения задачи (прил. 6).

Таким образом, данную задачу можно формализовать следующим образом.

Имеется бескоалиционная игра n лиц

$$\Gamma = \left\langle I = \{1, 2, \dots, n\}, \{R_j\}_{j=1}^n, \{H_i^j\}_{i=1, j=1}^n, \{A_i^j\}_{i=1, j=1}^n \right\rangle,$$

где I — множество агентов; $\{R_j\}_{j=1}^n$ — множество маршрутов; A_i^j — располагаемая сумма для обеспечения движения техники; H_i^j — функция затрат агента i на j -ом пути.

Перед каждым агентом стоит задача минимизации функционала $G = A_i^j - H_i^j$.

Матрица доходов агентов будет состоять из строк — варианты путей и столбцов — обслуживающие агенты:

$$\begin{pmatrix} A_1^1 - H_1^1 & \dots & A_n^1 - H_n^1 \\ \vdots & & \vdots \\ A_1^m - H_1^m & \dots & A_n^m - H_n^m \end{pmatrix}.$$

Найдем компромиссный путь с учетом полученной матрицы выигрышей по следующему алгоритму:

Опишем алгоритм компромиссного решения для игры Γ .

Этап 1

Построим вектор $M = [M_1, \dots, M_n]$, который является идеальным, где $M_i = \max_j (A_i^j - H_i^j)$ — максимальный дохода агента i .

Этап 2

Определяем отклонение от максимума M_i остальных значений дохода для каждого пути j , т. е. $M_i - (A_i^j - H_i^j)$.

Этап 3

Из полученных отклонений $(M_i - (A_i^j - H_i^j))$ выбираем $\max_j (M_i - (A_i^j - H_i^j))$ — максимальное отклонение.

Этап 4

Определяем минимальное из полученных максимальных отклонений $\min_i \max_j (M_i - (A_i^j - H_i^j))$ и минимальный путь, что является для всех участников СМР компромиссным решением игры Γ .

Пример 1

Пусть у нас три обслуживающих агента a , b и c , три возможных пути R_1 , R_2 , R_3 обхода маршрута. Функции издержек $H_a^{R_1} = 20$, $H_a^{R_2} = 22$, $H_a^{R_3} = 19$, $H_b^{R_1} = 26$, $H_b^{R_2} = 23$, $H_b^{R_3} = 27$, $H_c^{R_1} = 21$, $H_c^{R_2} = 28$, $H_c^{R_3} = 25$. Плановую сумму A_i^j примем одинаковой на все пути и равную 30. Следующим образом, тогда выглядит матрица доходов:

$$\begin{pmatrix} 10 & 4 & 9 \\ 8 & 7 & 2 \\ 11 & 3 & 5 \end{pmatrix}$$

1. Вектор $M = (11, 7, 9)$ в нашем случае является идеальным.

2. Отклонение от максимума M_i остальных значений дохода для пути j :

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 0 \\ 3 & 0 & 7 \\ 0 & 4 & 4 \end{pmatrix}$$

3. Максимальное отклонение из найденных: $\max_j (M_i - (A_i^j - H_i^j)) = (3, 4, 7)$.

4. Минимальное из отклонений $\min_i \max_j (M_i - (A_i^j - H_i^j)) = (3)$.

Таким образом, компромиссным решением игры для всех участников будет маршрут r_2 .

Многoperиодная задача. В действительности работа по транспортировке модулей происходит в течение долгого времени, и в силу различных условий параметры модели изменяются. Данную модель можно рассмотреть на примере той же организации по строительству зданий из модулей. Например, в начальный момент времени перед фирмой стояла задача построить определенное количество полносборных зданий. Был составлен план маршрута, по которому бы передвигалась техника и рабочие. Этот маршрут составлен таким образом, что он начинается на фирме, откуда в начале рабочей смены начинают свое движение по объектам работники и техника, включает в себя все нужные *модульные объекты (офисы, отели, общежития, казармы и т. д.)* и который в конце рабочей смены привел бы опять на фирму, чтобы работники смогли оставить технику и переодеться. Естественно, что по истечении определенного периода времени некоторые здания будут построены, и в фирму поступят новые заказы. Это приведет к тому, что придется составлять новый план маршрута, по которому работникам необходимо двигаться по объектам. Нужно также учесть то, что некоторые дороги, включенные в план, могут перекрываться либо же придут в негодность, что приведет к изменению условий прохождения и количества затрачиваемого бензина на проезд по таким улицам.

Представим отрезок времени выездов транспорта по своим маршрутам, как $[0, T]$, соответственно его части: $0 < t_1 < t_2 < \dots < T$. Различные изменения происходят после каждого t_i . На графе изменения будут отражены изменением

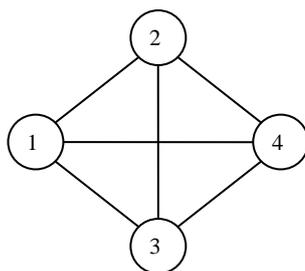
нагрузок на ребрах или даже исключением или добавлением некоторых из них. В каждый из моментов t_i происходят изменения условий задачи. Нам нужно, чтобы потраченные средства были минимальными за время на обходы маршрута $[0, T]$. Совокупные затраты отрезков на которые разбит участок $[0, T]$ получаются суммированием затрат этих отрезков времени. Учтем также то, что путей прохождения маршрута, удовлетворяющих нашему условию (путь должен заканчиваться в вершине начала движения и включать ребро графа), может быть несколько, и не обязательно на каждом этапе выбирать оптимальный из них. Главное, чтобы минимальными оказались конечные затраты.

Этот процесс можно для наглядности изобразить в виде дерева, корень которого — это начальная задача почтальона, вершинам соответствуют задачи с учетом изменений, а ветвям — маршруты для соответствующих задач.

Мы будем рассматривать неориентированные графы, т. е. подразумевается то, что трейлер с модулями УВСС может двигаться по всем улицам маршрута в обоих направлениях.

Пример 2

Существует граф G :



Нагрузки на ребра в виде матрица имеют следующий вид:

	1	2	3	4
1	0	5	2	3
2	5	0	2	4
3	2	3	0	3
4	3	4	3	0

Матрица наименьшей длины путей между всеми вершинами по Флойду:

	1	2	3	4
1	0	4	2	3
2	4	0	2	4
3	2	2	0	3
4	3	4	3	0

Так как вершины графа имеют нечетные степени нам нужно определить ребра, которые будут обходиться > 1 . Возможные паросочетания (1, 4), (2, 3), или (2, 4), (1, 3), или (1, 2), (3, 4). Таким образом, вероятные пути обходы графа G_1 :

$$R_1 = (1,2)(2,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,4)(4,1)$$

$$R_2 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,2)(2,4)(4,1)(1,3)(3,1)$$

$$R_3 = (1,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,2)(2,3)(3,4)(4,1)$$

Другие возможные циклы уже будут проходить по множествам из двух ребер более одного раза.

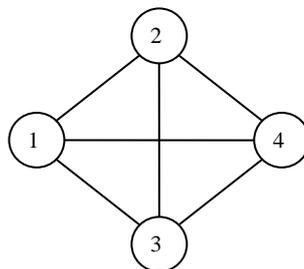
С длинами:

$$R_1 = 24, R_2 = 25, R_3 = 26.$$

Граф изменился после времени t_1 . Произошли разные изменения при различных вариантах путей.

Граф G сменился на граф G_1 при пути R_1

Существует граф G_1 :



Нагрузки на ребра можно представить в виде матрицы:

	1	2	3	4
1	0	3	1	3
2	3	0	2	1
3	1	2	0	3
4	3	1	3	0

Пути наименьшей длины по Флойду, между всеми парами вершин в виде матрицы имеют вид:

	1	2	3	4
1	0	3	1	3
2	3	0	2	1
3	1	2	0	3
4	3	1	3	0

Пути для обхода графа G :

$$R_4 = (1,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,2)(2,3)(3,4)(4,1)$$

$$R_5 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,2)(2,4)(4,1)(1,3)(3,1)$$

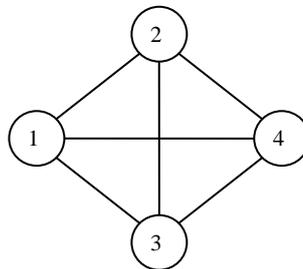
$$R_6 = (1,2)(2,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,4)(4,1)$$

С длинами:

$$R_6 = 18, R_5 = 15, R_4 = 19.$$

Граф G поменялся на граф G_2 при пути R_2

Возьмем граф G_2 :



Нагрузки на ребра в виде матрицы:

	1	2	3	4
1	0	1	2	3
2	1	0	2	1
3	2	2	0	1
4	3	1	1	0

Пути наименьшей длины по Флойду между всеми парами вершин можно представить в виде матрицы:

	1	2	3	4
1	0	1	2	2
2	1	0	2	1
3	2	2	0	1
4	2	1	1	0

Пути для обхода графа G :

$$R_7 = (1,2)(2,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,4)(4,1)$$

$$R_8 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,2)(2,4)(4,1)(1,3)(3,1)$$

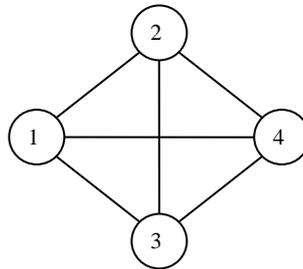
$$R_9 = (1,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,2)(2,3)(3,4)(4,1)$$

С длинами:

$$R_7 = 14, R_8 = 13, R_9 = 12.$$

Граф G поменялся на G_3 при выборе пути R_3

Существует граф G_3 :



Нагрузки на ребра в виде матрицы:

	1	2	3	4
1	0	1	2	3
2	1	0	2	4
3	2	2	0	3
4	3	4	3	0

Пути наименьшей длины по Флойду между всеми парами вершин можно представить в виде матрицы:

	1	2	3	4
1	0	1	2	3
2	1	0	2	4
3	2	2	0	3
4	3	4	3	0

Пути для обхода графа G :

$$R_{10} = (1,2)(2,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,4)(4,1)$$

$$R_{11} = (1,2)(2,3)(3,4)(4,2)(2,4)(4,1)(1,3)(3,1)$$

$$R_{12} = (1,2)(2,4)(4,3)(3,1)(1,2)(2,3)(3,4)(4,1)$$

С длинами:

$$R_{10} = 20, R_{11} = 21, R_{12} = 19.$$

Теперь нам надо выбрать два пути с минимальной суммарной длиной. Это пути R_2 для $[0, t_1]$ и R_9 для $[0, T]$. Таким образом, мы минимизируем затраты, если выбираем эти два пути для обхода маршрута. На момент T затраты составляют 37 единиц.

Дерево, соответствующее данному процессу, выглядит следующим образом (рис. 3.7):

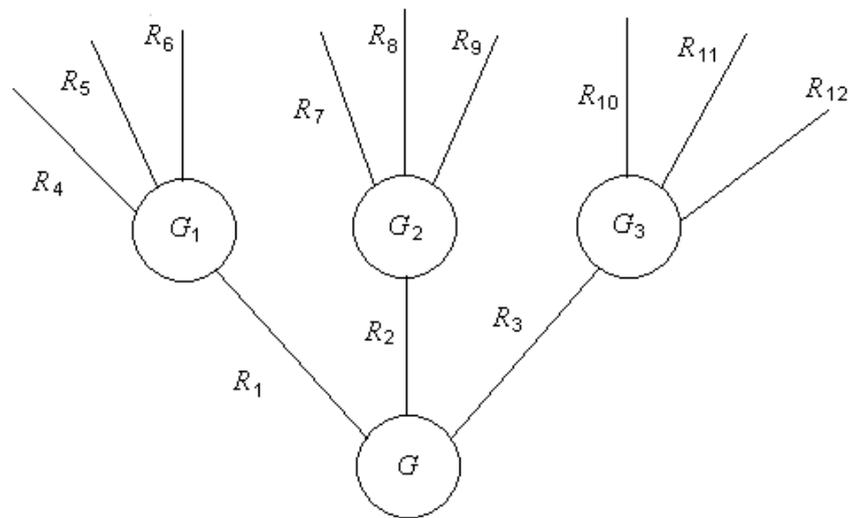


Рис. 3.7. Дерево выбора компромиссного маршрута

Конкурентная многопериодная задача. В данном разделе рассмотрен случай многопериодной задачи транспортировки с конечным числом агентов. В обеспечении движения трейлера с модулями здания по маршруту каждый из конечного числа участников (агентов) хочет минимизировать свои. Учитывается тот факт, что работа транспорта происходит в течение достаточно долгого времени и в силу различных условий параметры модели изменяются. Если представить дерево, корень которого — начальная задача транспортной компании при перевозке модулей УВСС, вершинам соответствуют задачи с учетом изменений, а ветвям — выбранные маршруты для соответствующих задач.

Данная модель рассматривается на примере фирмы по строительству полносборных зданий, как и в предыдущих параграфах.

Имеется бескоалиционная игра n лиц

$$\Gamma = \left\langle I = \{1, 2, \dots, n\}, J = \{1, 2, \dots, m\}, \{H_i^j\}_{i=1, j=1}^{n, m}, \{A_i^j\}_{i=1, j=1}^{n, m} \right\rangle,$$

где I — множество агентов; J — множество маршрутов; A_i^j — располагаемая сумма для обеспечения движения техники; H_i^j — функция затрат агента i на j -ом пути.

Перед участниками стоит задача $G = A_i^j - H_i^j$ т.е. минимизации функционала.

Выстроим матрицу доходов, где столбцы это агенты, а строки — выбранным путям; найдем компромиссное решение по изложенному алгоритму.

Пример 3. Пусть монтажная бригада или трейлер с модулями в течение времени T двигается по маршруту, после момента t_1 параметры задачи изменились, получили отрезки $[0, t_1]$, $[t_1, 0]$ на отрезке $[0, T]$. Пусть у нас три обслуживающих агента a, b и c , три возможных пути R_1, R_2, R_3 для отрезка $[0, t_1]$, а для отрезка $[t_1, T]$ получается 9 путей $R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}$. Найти на конечный момент времени T нужно компромиссное решение, т. е. $R_1 + R_4, R_1 + R_5, R_1 + R_6, R_2 + R_7, R_2 + R_8, R_2 + R_9, R_3 + R_{10}, R_3 + R_{11}, R_3 + R_{12}$. Функции издержек $H_a^{R_1} = 20, H_a^{R_2} = 22, H_a^{R_3} = 19, H_a^{R_4} = 23, H_a^{R_5} = 27, H_a^{R_6} = 24, H_a^{R_7} = 26, H_a^{R_8} = 18, H_a^{R_9} = 25, H_a^{R_{10}} = 23, H_a^{R_{11}} = 17, H_a^{R_{12}} = 27, H_b^{R_1} = 26, H_b^{R_2} = 23, H_b^{R_3} = 27, H_b^{R_4} = 26, H_b^{R_5} = 20, H_b^{R_6} = 21, H_b^{R_7} = 27, H_b^{R_8} = 28, H_b^{R_9} = 17, H_b^{R_{10}} = 21, H_b^{R_{11}} = 14, H_b^{R_{12}} = 19, H_c^{R_1} = 28, H_c^{R_2} = 21, H_c^{R_3} = 25, H_c^{R_4} = 25, H_c^{R_5} = 19, H_c^{R_6} = 22, H_c^{R_7} = 21, H_c^{R_8} = 23, H_c^{R_9} = 24, H_c^{R_{10}} = 16, H_c^{R_{11}} = 25, H_c^{R_{12}} = 29$. Плановую сумму A_i^j считаем одинаковой для всех агентов и путей, равная 30. На момент времени T матрица доходов выглядит следующим образом:

17	8	7
13	14	13
16	13	10
12	10	18
20	9	16
13	20	15
18	12	19
24	19	10
14	14	6

1. Вектор $M = (24, 20, 19)$ в нашем случае будет идеальным.

2. Отклонение от максимума M_i остальных значений дохода для пути j :

7	12	12
11	6	6
8	7	9
12	10	1
14	11	3
11	0	4
6	8	0
0	1	9
10	6	13

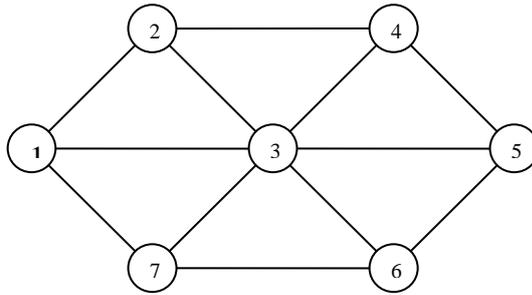
3. Максимальное отклонение: $\max_j (M_i - (A_i^j - H_i^j)) = (14, 12, 13)$.

4. Минимальное из этих отклонений $\min_i \max_j (M_i - (A_i^j - H_i^j)) = (12)$.

В нашем случае, для всех агентов компромиссным решением игры Γ будет путь R_1 и R_4 , соответственно на первом и втором этапе.

Численный пример конкурентной многопериодной задачи транспортировки модулей с переменными параметрами. Рассмотрим пример, в котором время, в течение которого время транспортировки по маршруту очень велико. Обозначим его отрезком $[0, T]$, разделим его на 3 периода $[0, t_1]$ $[t_1, t_2]$ $[t_2, T]$.

Пусть в начальный момент времени имеется неориентированный граф G_1 . Вершины графа 1, 2, 4, 5, 6 и 7 имеют нечетную степень.



Матрица нагрузок ребер графа G_1 выглядит следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	3	∞	∞	∞	6
2	5	0	4	6	∞	∞	∞
3	3	4	0	6	5	3	3
4	∞	6	6	0	2	∞	∞
5	∞	∞	5	2	0	4	∞
6	∞	∞	3	∞	4	0	5
7	6	∞	3	∞	∞	5	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины по Флойду:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	3	9	8	6	6
2	5	0	4	6	8	7	7
3	3	4	0	6	5	3	3
4	9	6	6	0	2	6	9
5	8	8	5	2	0	4	8
6	6	7	3	6	4	0	5
7	6	7	3	9	8	5	0

Так как вершины графа имеют нечетные степени нам нужно определить ребра, которые будут обходиться > 1 . Для этого найдем все возможные паросочетания. В нашем случае это (2, 4), (5, 6), (7, 1) или (1, 2), (4, 5), (7, 6). Следующие пути будут возможными обходами графа G_1 :

$$R_1 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,5)(5,3)(3,6)(6,7)(7,3)(3,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

$$R_2 = (1,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,5)(5,6)(6,3)(3,7)(7,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

Общая длина маршрута R_1 равна 64 единицы, и она на 12 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_1 . Общая длина маршрута R_2 равна 68 единиц, и она на 16 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_1 .

Возможны также другие циклы, которые проходят дважды по тому же множеству из трех ребер.

После момента времени t_1 граф G_1 изменился на граф G_2 при выборе пути R_2

Нагрузки ребер графа G_2 в виде матрицы выглядят следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	4	∞	∞	∞	7
2	6	0	5	6	∞	∞	∞
3	4	5	0	6	5	3	3
4	∞	6	6	0	2	∞	∞
5	∞	∞	5	2	0	4	∞
6	∞	∞	3	∞	4	0	5
7	7	∞	3	∞	∞	5	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины по Флойду:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	4	10	9	7	7
2	6	0	5	6	8	8	8
3	4	5	0	6	5	3	3
4	10	6	6	0	2	6	9
5	9	8	5	2	0	4	8
6	7	8	3	6	4	0	5
7	7	8	3	9	8	5	0

Варианты обхода графа G_2 :

$$R_6 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,5)(5,3)(3,6)(6,7)(7,3)(3,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

$$R_5 = (1,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,5)(5,6)(6,3)(3,7)(7,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

Общая длина маршрута R_6 равна 69 единицам, и она на 13 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_2 . Общая длина маршрута R_5 равна 72 единицам, и она на 16 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_2 .

Граф G_1 сменился на граф G_3 при пути R_1

Нагрузки ребер графа G_3 в виде матрицы выглядят следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	3	∞	∞	∞	5
2	6	0	3	7	∞	∞	∞
3	3	3	0	5	5	4	4
4	∞	7	5	0	3	∞	∞
5	∞	∞	5	3	0	3	∞
6	∞	∞	4	∞	3	0	4
7	5	∞	4	∞	∞	4	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины по Флойду:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	3	8	8	7	5
2	6	0	3	7	8	7	7
3	3	3	0	5	5	4	4
4	8	7	5	0	3	6	9
5	8	8	5	3	0	3	7
6	7	7	4	6	3	0	4
7	5	7	4	9	7	4	0

Варианты обхода графа G_3 :

$$R_4 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,5)(5,3)(3,6)(6,7)(7,3)(3,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

$$R_3 = (1,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,5)(5,6)(6,3)(3,7)(7,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

Общая длина маршрута R_4 равна 70 единицам, и она на 13 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_3 . Общая длина маршрута R_3 равна 72 единицам, и она на 15 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_2 .

Теперь после момента времени t_2 условия задачи опять изменились.

Граф G_2 изменился на граф G_4 при выборе пути R_6

Нагрузки ребер графа G_4 в виде матрицы выглядят следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	3	∞	∞	∞	∞
2	5	0	4	4	∞	∞	∞
3	3	4	0	6	5	3	3
4	∞	4	6	0	2	∞	∞
5	∞	∞	5	2	0	4	∞
6	∞	∞	3	∞	4	0	5
7	7	∞	3	∞	∞	5	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины по Флойду:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	3	9	8	6	6
2	5	0	4	4	6	7	7
3	3	4	0	6	5	3	3
4	9	4	6	0	2	6	9
5	8	6	5	2	0	4	8
6	6	7	3	6	4	0	5
7	6	7	3	9	8	5	0

Варианты (пути) обхода графа G_4 :

$$R_7 = (1,2)(2,4)(4,3)(3,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,3)(3,5)(5,6)(6,7)(7,3)(3,1)$$

Общая длина маршрута R_7 равна 52 единицам, и она на 8 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_4 .

Граф G_2 сменился на граф G_5 при пути R_5

Нагрузки ребер графа G_5 в виде матрицы выглядят следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	4	∞	∞	∞	3
2	6	0	5	6	∞	∞	∞
3	4	5	0	5	4	2	3
4	∞	6	5	0	2	∞	∞
5	∞	∞	4	2	0	3	∞
6	∞	∞	2	∞	3	0	8
7	3	∞	3	∞	∞	8	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины найдены по Флойду:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	6	4	9	8	6	3
2	6	0	5	6	8	7	8
3	4	5	0	5	4	2	3
4	9	6	5	0	2	5	8
5	8	8	4	2	0	3	7
6	6	7	2	5	3	0	5
7	3	8	3	8	7	5	0

Варианты обхода графа G_5 — это пути:

$$R_8 = (1,2)(2,3)(3,4)(4,5)(5,3)(3,6)(6,3)(3,7)(7,3)(3,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

$$R_9 = (1,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,5)(5,6)(6,3)(3,7)(7,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

Общая длина маршрута R_8 равна 64 единицам, и она на 13 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_5 . Общая длина маршрута R_9 равна 63 единицам, и она на 12 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_5 .

Граф G_3 сменился на граф G_6 при пути R_4

Нагрузки ребер графа G_6 в виде матрицы выглядят следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	6	∞	∞	∞	6
2	5	0	3	6	∞	∞	∞
3	6	3	0	6	5	3	5
4	∞	6	6	0	3	∞	∞
5	∞	∞	5	3	0	4	∞
6	∞	∞	3	∞	4	0	5
7	6	∞	5	∞	∞	5	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины найдены по Флойду:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	6	11	11	9	6
2	5	0	3	6	8	6	8
3	6	3	0	6	5	3	5
4	11	6	6	0	3	7	11
5	11	8	5	3	0	4	9
6	9	6	3	7	4	0	5
7	6	8	5	11	9	5	0

Варианты обходов графа G_6 — это пути:

$$R_{10} = (1,2)(2,3)(3,4)(4,5)(5,3)(3,6)(6,3)(3,7)(7,3)(3,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

$$R_{11} = (1,3)(3,2)(2,4)(4,3)(3,5)(5,6)(6,3)(3,7)(7,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

Общая длина маршрута R_{10} равна 70 единицам, и она на 13 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_6 . Общая длина маршрута R_{11} равна 73 единицам, и она на 16 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_6 .

При выборе пути R_3 граф G_3 поменялся на граф G_7 .

Матрица нагрузок ребер графа G_7 выглядит следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	3	∞	∞	∞	2
2	5	0	4	6	∞	∞	∞
3	3	4	0	6	5	3	3
4	∞	6	6	0	2	∞	∞
5	∞	∞	5	2	0	10	∞
6	∞	∞	3	∞	10	0	5
7	2	∞	3	∞	∞	5	0

Длины кратчайших цепей между всеми парами вершин задаются следующей матрицей. Эти величины найдены с помощью алгоритма Флойда:

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	3	9	8	6	2
2	5	0	4	6	8	7	7
3	3	4	0	6	5	3	3
4	9	6	6	0	2	9	9
5	8	8	5	2	0	8	8
6	6	7	3	9	8	0	5
7	2	7	3	9	8	5	0

Возможные обходы графа G_7 — это следующие пути:

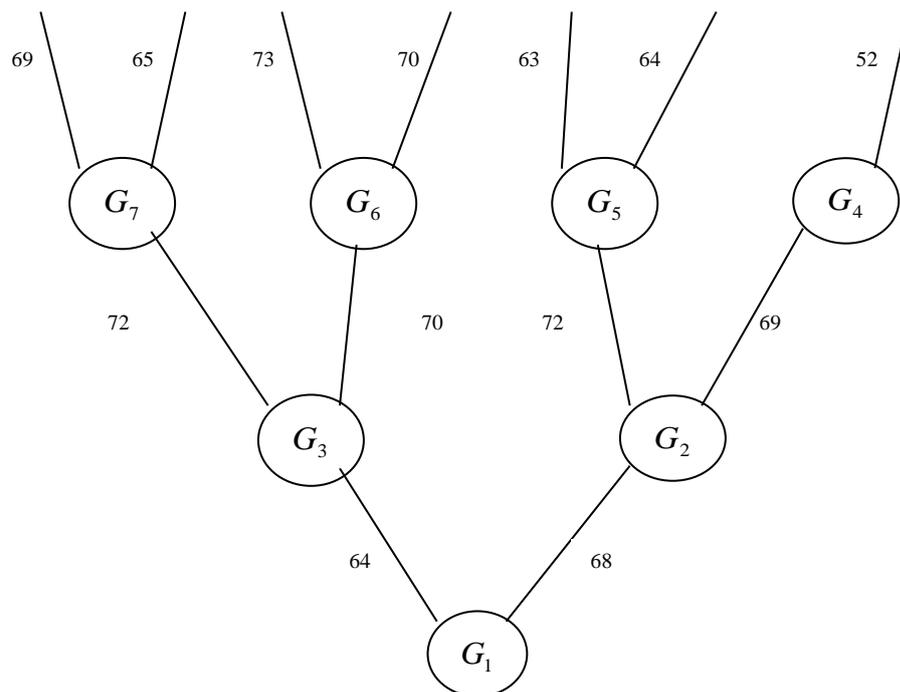
$$R_{12} = (1,2)(2,3)(3,4)(4,5)(5,3)(3,6)(6,3)(3,7)(7,3)(3,1)(1,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

$$R_{13} = (1,2)(2,4)(4,3)(3,5)(5,3)(3,6)(6,3)(3,7)(7,1)(1,3)(3,2)(2,4)(4,5)(5,6)(6,7)(7,1)$$

Общая длина маршрута R_{12} равна 65 единицам, и она на 12 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_7 . Общая длина маршрута R_{13} равна 69 единицам, и она на 16 единиц больше, чем сумма длин ребер графа G_7 .

Теперь нам надо выбрать такие пути в каждый из промежутков времени, чтобы суммарные затраты на конечный момент времени T были минимальны. Это пути R_2 , R_6 и R_7 . Если выбрать эти пути на соответствующих этапах, то итоговые затраты будут минимальны, а именно 137 единиц.

Дерево, соответствующее данному процессу, выглядит следующим образом:



Пусть у нас три обслуживающих агента a , b и c , на момент времени T имеется семь возможных путей $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ обхода маршрута. Функции издержек $H_1(a) = 94, H_2(a) = 102, H_3(a) = 101, H_4(a) = 102, H_5(a) = 103, H_6(a) = 100, H_7(a) = 102, H_1(b) = 63, H_2(b) = 68, H_3(b) = 69, H_4(b) = 67, H_5(b) = 68, H_6(b) = 66, H_7(b) = 68, H_1(c) = 189, H_2(c) = 204, H_3(c) = 203, H_4(c) = 204, H_5(c) = 207, H_6(c) = 201, H_7(c) = 205$. Бюджет игрока a 150 единиц, игрока b 100 единиц, игрока c 230 единиц. Следовательно, матрица выигрышей выглядит:

56	37	41
48	32	26
49	31	27
48	33	26
47	32	23
50	34	29
48	32	25

1. Вектор $M = (56, 37, 41)$ будет идеальным.

2. Рассчитаем $\max\{M_i - (A_i - H_i(x))\}$ получаем:

0	0	0
8	5	15
7	6	14
8	4	15
9	5	18
6	3	12
8	5	16

$\max\{M_i - (A_i - H_i(x))\} = (9, 6, 18)$.

3. Находим $\min \max\{M_i - (A_i - H_i(x))\} = (6)$.

Следовательно, оптимальным является маршрут r_3 .

Все расчеты были проведены при помощи динамического программирования. Решение задач большой размерности вручную очень трудоемко, поэтому при решении примеров был использован программный продукт Express Optimizer (прил. 6).

Оценка эффективности, качества и надежности транспортного процесса. Ключевым моментом в этом вопросе является взаимная заинтересованность транспортников и строителей в своевременном выполнении общего плана поставок строительных модулей в целях сдачи объектов в установленные сроки. Поэтому при выборе критерия эффективности транспортного процесса следует руководствоваться одновременно интересами транспортных и строительных организаций, которым можно считать выполнение плана перевозок в установленные сроки требуемой номенклатуры модулей при максимальной прибыли транспортных и производственных организаций. При этом в одних случаях

будет наблюдаться сокращение транспортных затрат при росте издержек в других звеньях строительного производства и, наоборот, транспортные затраты могут возрасти, но одновременно уменьшатся затраты на выполнение строительных работ или на комплектацию объектов строительными материалами и модулями.

Полное обеспечение строек в грузовых перевозках по объему и номенклатуре является одним из важных факторов качества, так как строительные бригады не имеют простоев из-за отсутствия на стройках ресурсов.

Стоимость доставки грузов является фактором, в котором синтезируется влияние всех условий транспортного процесса. Выбор способа транспортирования в специализированном или универсальном подвижном составе, в пакетах или контейнерах или без них является существенным для получения минимальной стоимости доставки. Одно из решающих условий минимизации стоимости доставки грузов непосредственно на стройки — организация транспортного процесса на всем пути следования модулей. Такая форма организации транспортного процесса предусматривает заинтересованность всех участников перевозок: грузоотправителей, транспортных предприятий и грузополучателей. Совмещенная технология на основе транспортно-технологических карт позволяет повысить скорость доставки грузов в 5–6 раз, улучшить использование транспортных и грузоподъемных средств и за счет этого значительно поднять качество транспортного обслуживания строек.

Показатели эффективности и качества рекомендуется определять как максимальный доход при минимальных фактических затратах, связанных с транспортированием модулей.

Затраты по фактору своевременной доставки модулей обуславливаются затратами на хранение запланированных, но не вывезенных в течение суток объемов модулей у отправителей.

В конечном итоге, эффективность и качество транспортного процесса характеризуется качеством труда всех участников строительства, качеством парка транспортных средств и грузоподъемных машин, а также качеством проектно-технологической документации.

Неоправданное ускорение, а также задержки по срокам доставки материалов и изделий на стройки не повышают эффективность транспортного обслуживания. В то же время ускорение по срокам доставки требует увеличения транспортных издержек.

Оценка уровня обслуживания автотранспортом строек может быть произведена по формуле

$$W = \left(\frac{T_k}{T_{\Pi}} \right) \times 100\%, \quad (3.46)$$

где T_k — срок доставки модулей по графику строительства; T_{Π} — срок доставки модулей по графику перевозок.

При $W < 100\%$ автомобильный транспорт задерживает доставку по срокам, а при $W > 100\%$ перевозка осуществляется быстрее, чем требуется по графику строительства.

Надежность транспортного процесса в течение времени t , полностью задана функцией $R(t)$, если известны функции надежности отдельных подсистем, т. е.

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_{\Pi}(t), \quad (3.47)$$

где $R_{\Pi}(t)$ — надежность отдельных циклов транспортного процесса.

Чтобы контролировать и оказывать влияние на надежность транспортного процесса, необходимо определить ее количественную характеристику. Для проектирования надежных систем и сравнения между собой отдельных транспортных процессов предлагаются показатели, приведенные в табл. 3.15.

Комплекс организационно-технологических мер надежного функционирования транспортно-строительной системы может быть представлен как совокупность перемещения материальных ресурсов

и транспортных средств с изменением их состояний на различных этапах производственного цикла во времени и в пространстве [48, 52, 225].

Обобщенный показатель экономического эффекта \mathcal{E}_T определяется для транспортно-строительных организаций как разница между стоимостными оценками результатов за расчетный период C_T и затрат за этот же период Z_T (на заводе, на транспорте и на строительной площадке).

$$\mathcal{E}_T = C_T - Z_T. \quad (3.48)$$

Таблица 3.15

Показатели транспортного процесса

Наименование	Характеристика показателя	Математическое выражение
Удельная пропускная способность	Отношение провозной способности к максимальной загрузке транспорта	$K_1 = \frac{P}{Q_{\max}}$
Коэффициент устойчивости	Степень соответствия транспортного процесса запроектированному процессу строительно-монтажных работ	$K_2 = \frac{\Delta Q}{V_\sigma};$ при $\Pi > 1$ процесс можно считать устойчивым $\Delta Q = Q_a - Q_b$, где Q_a — верхняя граница допустимого объема перевозок (часового, суточного); Q_b — нижняя граница допуска; V_σ — коэффициент вариации $V_\sigma = \frac{\sigma}{Q_z}$, где $Q_z = \frac{Q_a + Q_b}{2}$
Коэффициент нагрузки	Отношение средней провозной способности к средней загрузке системы в определенный период времени, час, смену	$K_3 = \frac{P_{\text{ср}}}{Q_{\text{ср}}}$
Себестоимость перевозок	Затраты автотранспортного предприятия, связанные с перемещением и несвоевременной доставкой грузов	$Z = Z_{\text{п}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{б}},$ где $Z_{\text{п}}$ — затраты на перевозку; $Z_{\text{пр}}$ — затраты на погрузку-разгрузку; $Z_{\text{б}}$ — затраты из-за несвоевременной доставки грузов

В случае отрицательной величины данного показателя выбранная модель оказывается неэффективной и производство нерентабельным, что потребует пересмотра всей логистической схемы.

Организационно-технологические факторы строительства являются определяющими в предложенных моделях формирования грузопотоков материалов и изделий в пунктах подготовки модулей при определении размеров отправочных и транспортных комплексов и запасов на строительных площадках (рис. 3.8).

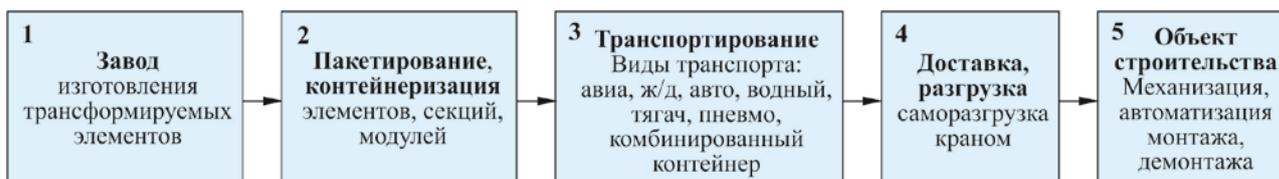


Рис. 3.8. Логистика и технология ускоренного транспортирования и монтажа (демонтажа) объектов из трансформируемых элементов (пакетов, блоков, секций, модулей) заводского изготовления в суровых климатических условиях

Методика выбора рациональных транспортно-технологических комплексов технического оснащения транспортного процесса с использованием технологических графов позволяет принять эффективное решение при выполнении транспортного процесса за счет рационального технического взаимодействия всех участников производственных циклов и выбрать рациональную схему транспортного обслуживания строек в зависимости от методов производства строительного-монтажных работ.

Использование строительными организациями предложенных методов моделирования и выбора рациональных вариантов организации транспортного процесса обеспечивает достижение экономического эффекта не только в сфере транспортирования, но и за счет сокращения простоев монтажных бригад на строительных площадках из-за несвоевременной доставки комплектов материалов и модулей УВСС. Предложенные транспортно-технологические решения доставки и монтажа полносборного здания из модулей защищены патентом на изобретение РФ: № 2619200 от 21.03.2016 г. «Система

дистанционного контроля за транспортировкой высокотехнологичных строительных систем» [28].

Предлагаемая система относится к области технических средств контроля и регистрации рейсов автотранспорта и может быть использована при перевозке высокотехнологичных строительных модулей (блоков) трейлерами и специальными машинами. Система обеспечивает учет рейсов, расход топлива и пройденного пути трейлерами, а также определение их местоположения. Предложенные транспортно-технологические решения доставки и монтажа полносборного здания из модулей защищены патентом на изобретение РФ: № 2615025 «Компьютерная система управления строительным комплексом» от 21.03.16 г. [73].

Предлагаемая система относится к автоматизированным системам для управления строительным комплексом, включающим геодезический пункт, ДСК для производства строительных модулей, блоков и материалов, строительную площадку для возведения многоэтажных зданий, систему приема и передачи информации и может быть использована для управления и контроля за транспортными и погрузочно-разгрузочными процессами.

Выводы по главе 3

1. Предложены и разработаны новые методы контроля точности и качества технологических процессов, такие как оптические, лазерные системы 3D измерений, фотограмметрии, интерферометрические и оптоволоконные системы, защищенные автором 3 патентами РФ, которые обеспечивают оперативный, высокоточный и высокоэффективный монтаж и транспортировку модулей УВСС при скоростном строительстве, что позволяет оперативно оценить точность монтажа и внести изменения в автоматизированном режиме: №№ 2589886, 2615025, 2618334.

2. Сформулированы требования технологичности полносборных зданий из модулей на основе комплексно-блочного метода монтажа с учетом энергетической модели трудозатрат скоростного возведения полносборных

зданий из модулей повышенной заводской готовности. Предложенный роботизированный метод способа наводки УВСС модуля выигрывает в точности сборки в 8,3 раза и стоимости в 4,5 раз.

3. Предложены энергетический метод определения энергозатрат и на его основе способы скоростного высокоэффективного возведения модульных полносборных зданий с учетом автоматического позиционирования конструкций, применения датчиков, манипуляторов, роботизированных телескопических монтажных платформ, телескопических подъемников, для технологий с автоматическим контролем управления. Трудоемкость монтажа модулей при этом снижается в 3 раза.

4. Для обеспечения необходимого качества возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных модулей и снижения затрат на устранение дефектов при организации технологического процесса, строительстве и эксплуатации транспортно-логистическая схема завод–объект не должны допускать залеживания монтируемых модулей УВСС и срыва технологических сроков монтажных работ. Распределение дефектов у обследованных домов показало, что наибольшую часть составляют дефекты наружных стен, перекрытий, систем вентиляции и отделочные покрытия; увлажнение конструкций составляет 15–20 % всех дефектов. При анализе полносборных зданий построенных ЗАО «Ленуренгойстрой» произведена комплексная оценка качества СМР, что позволило определить область оптимально качественного монтажа полносборных зданий. Предложенные инженерно-технологические решения контроля качества монтажа полносборного здания из модулей защищены патентом на изобретение РФ № 2589886.

5. Предложена методика, позволяющая наиболее эффективно планировать сроки начала и окончания комплектации объектов материалами и модулями, а также составлять рациональные графики работы автотранспортных средств. При разработке оптимального графика работы автотранспортных средств порядок действий зависит от правильного выбора

оптимального варианта логистической схемы. При этом предложен алгоритм поиска эффективной логистической системы. Расчеты по выбору рационального технического процесса при доставке модулей на стройки показали, что за счет правильного технического процесса во всех его фазах при совместной работе роботизированного погрузочно-разгрузочного оборудования и транспортных средств возможно сокращение транспортных расходов на 51,4%. Применение роботизированной монтажной телескопической платформы, специальных саморазгружающихся прицепов, бескрановых устройств, роботов, обеспечивающих минимизацию энергозатрат при всепогодности монтажа и демонтажа модулей снижает сроки выполнения технологических операций в 5–6 раз. Использование трансформирующихся элементов модулей снизило транспортно-монтажные работы на 50%. Предложенные логистические решения защищены патентом на изобретение РФ № 2619200.

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО МОНТАЖА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЛНОСБОРНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

4.1. Обоснование скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем

На основе принятого алгоритма исследования (глава 1, рис. 1.7) и ранее изложенного автором предлагается новая технология скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем в условиях Крайнего Севера.

Известны различные способы полносборного модульного строительства, включающие проведение монтажных работ посредством сборки модулей.

Все эти способы имеют следующие недостатки: зависимость монтажа от метеоусловий, большая трудоемкость работ, необходимость организации приобъектного склада, низкая оперативность монтажа, низкое качество и точность работ.

В предлагаемой технологии скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем имеется ряд особенностей принятых конструктивно-технологических решений [47, 93–105, 111].

Используемые материалы. При монтаже модулей используются болтовые соединения (узлы креплений конструкций, опор колонн, элементов инженерных коммуникаций, витражей, ограждений). В качестве материала несущих принята сталь марок С345-3 и С245 согласно СНиП II-23-81*, раздел 2, п. 21.

Болтовые соединения могут выполняться болтами различной точности в зависимости от назначения соединений и воспринимаемых им нагрузок. В основном используются крепежные изделия нормальной и повышенной

точности. Для соединений, которые подвергаются нагрузке на срез, запрещено использовать болты нормальной и грубой точности.

Соединения, в которых используются болты повышенной точности, являются альтернативой заклепочным соединениям в труднодоступных местах. Для таких соединений диаметр отверстий выполняется больше диаметра болта на величину до 0,3 мм. При соблюдении этого требования болты сидят в отверстиях весьма плотно и хорошо выдерживают сдвигающую нагрузку.

Высокопрочные болты являются наиболее эффективными крепежными элементами. В них сочетается высокая несущая способность с устойчивостью к деформациям. Затяжка гаек для таких болтов производится ключами с храповым механизмом, что позволяет контролировать усилие затяжки.

Элементы, имеющие отклонения размеров не соответствующих ГОСТ 23118–2012 «Конструкции стальные строительные. Общие условия» не допускается применять [18]. Для возведения полносборного здания из модулей повышенной заводской готовности используют колонны и перекрытия из стале-железобетона (рис. 4.1, 4.2, 4.3) марок бетона В60...В80 диаметром, определенным требованиями несущей способности колонн здания [9].

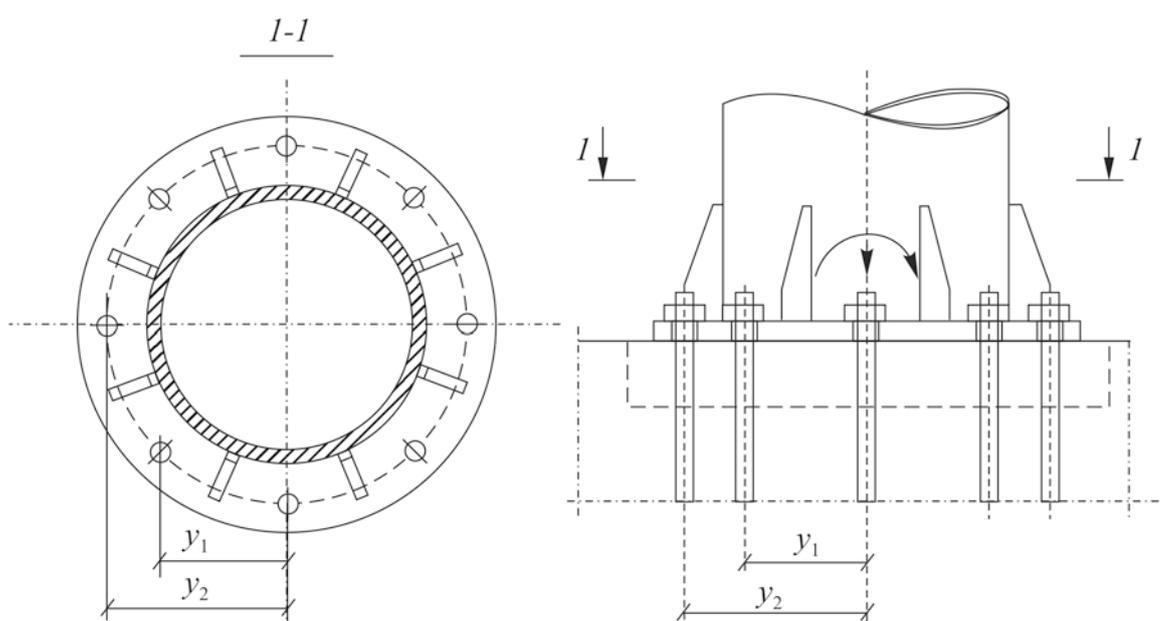


Рис. 4.1. Схема болтового крепления колонн, разработанных трансформирующихся модулей УВСС типового этажа

Изготовление и транспортировка. Разработаны четыре типа модулей УВСС для двух типов этажей для типового и мансардного.

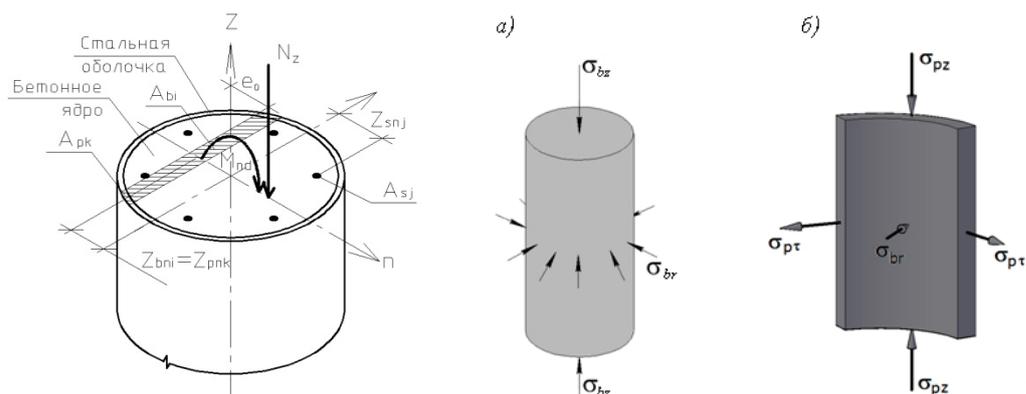


Рис. 4.2. Схема применяемых сталежелезобетонных колонн в трансформирующих модулях УВСС типового этажа

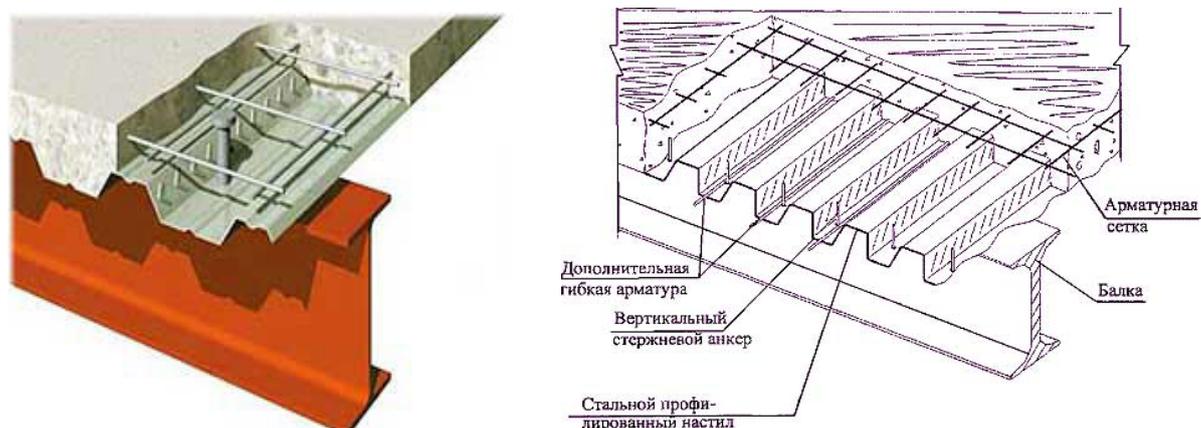


Рис. 4.3. Схема применяемых сталежелезобетонных перекрытий УВСС типового этажа с применением несъемной опалубки в производственных условиях

a — прямолинейный модуль; *б* — конструкция стыка трех прямолинейных модулей; *в* — стык модулей: 1–5 (см. рис. 5.5); 6 – нащельники; 7 – полимерное покрытие; 8 – пароизоляция; 9 – перфорация; 10 – резиновые прокладки; 11 – болты; 12 – ребро

Внешние стены будут представлять собой 20-сантиметровой толщины сэндвич-панели со встроенными солнечными батареями и стеклоблоки с энергоэффективным четырехслойным остеклением (рис. 4.4).

Монтаж модульного полносборного здания. С помощью гидравлического подъемника модули устанавливаются в проектное положение с болтовым креплением при помощи направляющих штырей к нижним угловым модулям. Полностью укомплектованные и подготовленные к монтажу модули здания с заводов-изготовителей поставляют в точно назначенное время в монтажную зону.

Непосредственно с транспортных средств модули монтируются в проектное положение. Монтаж «с колес» должен обеспечивать ритмичную и комплектную доставку модулей (рис. 4.5). При таком методе монтажа исключается промежуточная перегрузка сборных модулей, отпадает необходимость в приобъектном складе, возможность производства работ в условиях стесненных площадок строительства, обеспечивается непрерывность строительного процесса, ритмичность, организация заводского сборочного процесса в условиях строительной площадке [164-167].



Рис. 4.4. Схема унифицированного модуля типового этажа системы УВСС

Простота, быстрота монтажа, технологичность, механизация, автоматизация и роботизация монтажа, отсутствие «мокрых» процессов — преимущества данного способа. Предложенные инженерно-технологические решения полносборного здания из модулей защищены заявками на изобретение РФ: № 2016113628 от 08.04.2016 г. «Строительный модуль для строительства зданий» и № 2016114357 от 13.04.2016 г. «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков» [30, 31].

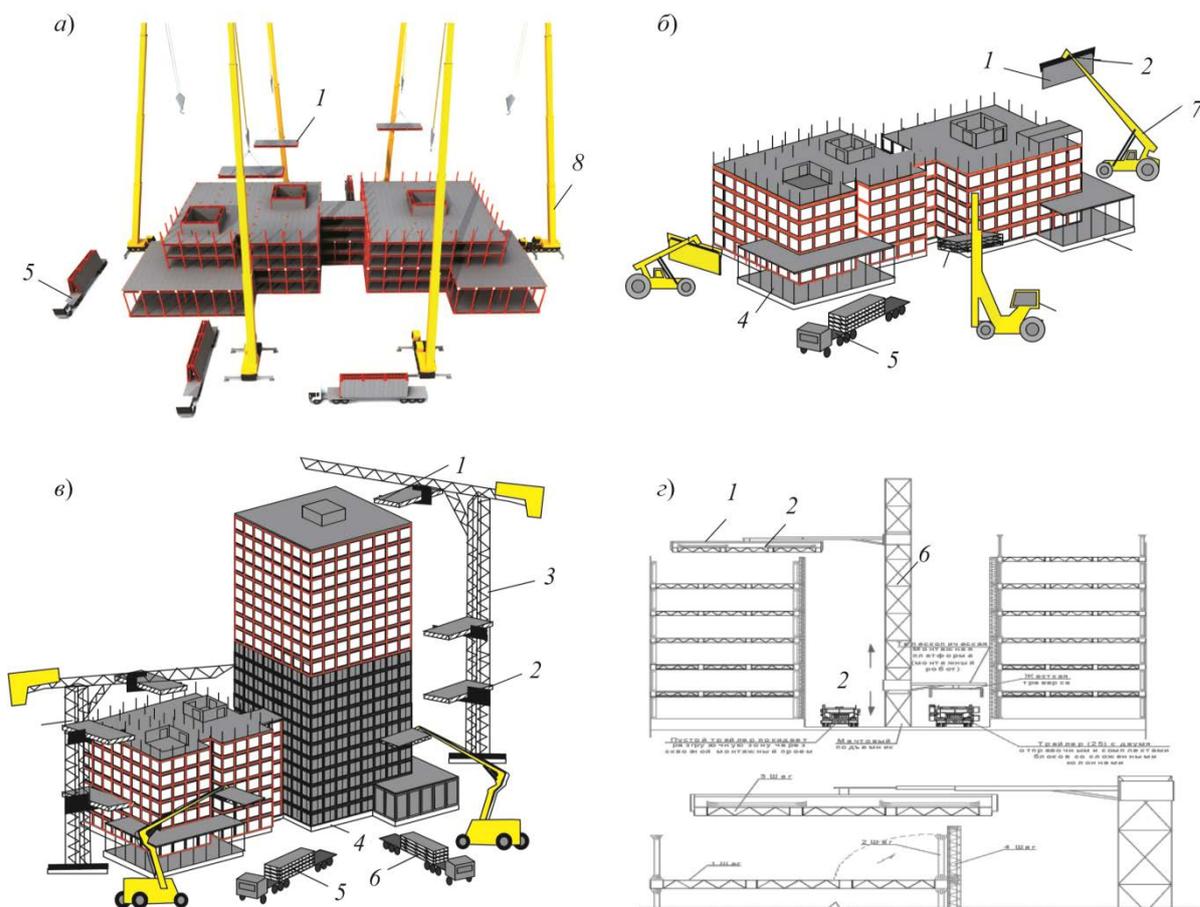


Рис. 4.5. Принципиальная схема монтажа разработанной универсальной строительной системы из модулей:
а — интенсивный монтаж; *б* — высокоэффективный монтаж; *в* — автоматизированный монтаж; *г* — роботизированный монтаж; 1 — модуль; 2 — жесткий захват; 3 — автоматизированный стреловой подъемник-манипулятор; 4 — заранее подготовленный фундамент; 5 — трейлер; 6 — монтажный робот; 7 — телескопический подъемник; 8 — автокран

Необходимое количество модулей приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Спецификация разработанных модулей здания

Ширина здания, м	Высота этажа, м	Кол-во модулей, шт.	
		угловых (на 1 п. м)	прямоугольных (на 1 п. м)
<i>Мансардный этаж модульного здания УВСС</i>			
12	3,65	5	10
14	4	5	12
16	4,3	5	14
14	5,8 (два уровня)	5	14
<i>Типовой этаж модульного здания УВСС</i>			
18	3,0	2	
18	6,0 (два уровня)	2	

Предложенные инженерно-технологические решения модулей для типового и мансардного этажа полносборных модульных зданий защищены патентами РФ (рис. 4.6) [122, 157–160, 172–175].

Монтаж полносборного здания ведется непрерывно и механизировано, а именно предварительная сборка модулей здания ведется с помощью телескопического подъемника и жесткого захвата.

а)

б)



Рис. 4.6. Принципиальная схема модулей УВСС типового этажа:
а – стыковка модулей типового этажа; б – модуль в натуре

Утвержденный проект производства работ (ППР) определяет последовательность монтажа модулей полносборных зданий, модули и детали достаточно точно должны быть изготовлены ($\pm 0,2$ мм).

Для монтажа модулей мансардной части полносборного здания возможно использование вакуумного захвата (Glass Boy, Stimet).

Технические характеристики вакуумного захвата Stimet;

- угол наклона поворотной рамы составляет 90° ;
- поднимаемый вес 350 кг при 60%-ном вакууме;
- автономная работа вакуумного захвата 100 рабочих циклов;
- степень разряжения воздуха под присосками 0,89 кПа;
- длина поднимаемой панели до 26 м.

Ударный гайковерт DC810KL. Для соединения модулей между собой возможно использование нового продукта компании DeWALT. Этот ручной

инструмент позволяет работать с крепежными элементами конструкций, прикладывая минимальное усилие.

Продолжительный крутящий момент (до 215 Нм) и ударный ход (3000 уд./мин) гарантируют успешное выполнение рабочих задач. Двигатель инструмента охлаждается вентилятором, что служит защитой от перегрева. Металлический редуктор исправно передает энергию, а его алюминиевый корпус улучшает теплообмен в механизме и способствует увеличению срока службы гайковерта. Отдельного внимания заслуживают усовершенствованные литий-ионные батареи, которые гарантируют 2000 циклов подзарядки.

Разработанная автором насадка на гайковерты увеличивает КПД в 36 раз. Ее можно использовать для соединения модулей между собой при высокотехнологичном монтаже (рис. 4.7). Применение этого инструмента позволяет работать с крепежными элементами модулей.

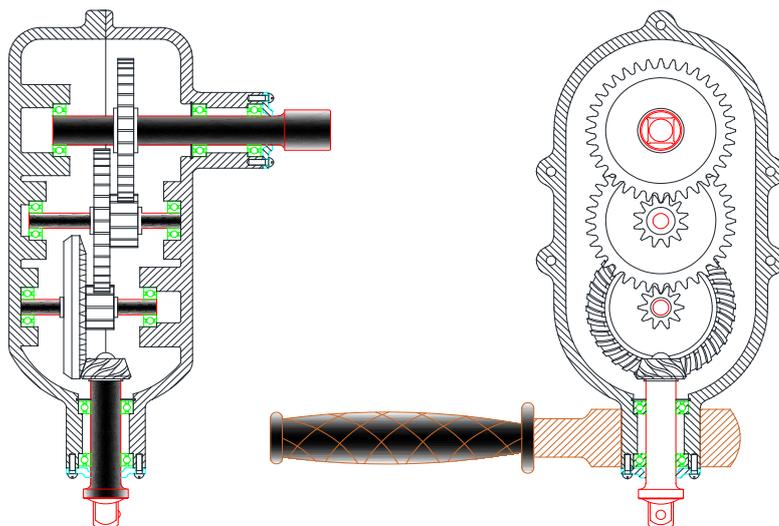


Рис. 4.7. Схема энергоэффективной насадки на гайковерты с высоким КПД

Насадка повышает энергоэффективность и способствует увеличению срока службы оборудования (гайковерта), а также повышает скорость завинчивания болтов в несколько раз.

4.2. Универсальная высокотехнологичная строительная система (УВСС) скоростного возведения зданий в условиях Крайнего Севера

В результате проведенного анализа автор предлагает модульную систему энергоэффективного индустриального «чистого» скоростного возведения

полносборных зданий из высокотехнологичных систем, что позволяет оценивать степень пригодности данной технологии к скоростному возведению зданий и сооружений [30, 112-113, 123-126].

Известные решения и технологии в мире для строительства полносборных зданий крайне несовершенны для скоростного монтажа высокотехнологичных зданий. Лидерами в этой отрасли по праву считаются США, Китай, Германия и Франция.

Недостатком известных систем для строительства полносборных зданий является пониженная устойчивость здания при наращивании этажей; несущий каркас и конструкция самих модулей не позволяет осуществить монтаж большепролетного многоэтажного здания; несущие стены содержат слабый несущий каркас с легким бетоном; несущие стены имеют малую толщину, при этом количество несущих стен удваивается в месте стыка модулей, что усложняет конструкцию и монтаж здания; значительный расход материалов, связанный с двойными стенками строительных модулей, а также невысокая точностью точность изготовления и монтажа из-за применения сборных и монолитных конструкций из бетона.

Технической задачей разработанной автором домостроительной системы является повышение экономичности строительства полносборных зданий из строительных модулей и расширение архитектурно-планировочных возможностей путем снижения трудоемкости и затрат при строительстве здания, а также повышение его сейсмической устойчивости.

На рис. 4.8 представлен общий вид всех элементов строительного модуля для строительства зданий.

Строительные модули несущих стен, пола и потолка содержат встроенные инженерные сети и финишную отделку, выполненную в заводских условиях. Колонны и каркас строительных модулей пола и потолка содержат болтовые отверстия для присоединения друг к другу с помощью высокопрочных болтов и планок. Строительный модуль пола содержит верхний бетонный пояс для обеспечения большей несущей способности и размещения

отделки пола и металлический нижний пояс (табл. 4.2). Наружные ограждения здания выполнены в виде сэндвич-панелей с элементами солнечных батарей для выработки электроэнергии и в виде стеклопакетов, на несущих колоннах расположены планки с болтовыми отверстиями и ребрами жесткости. На рис. 4.9 представлен общий вид типового строительного модуля в собранном виде.

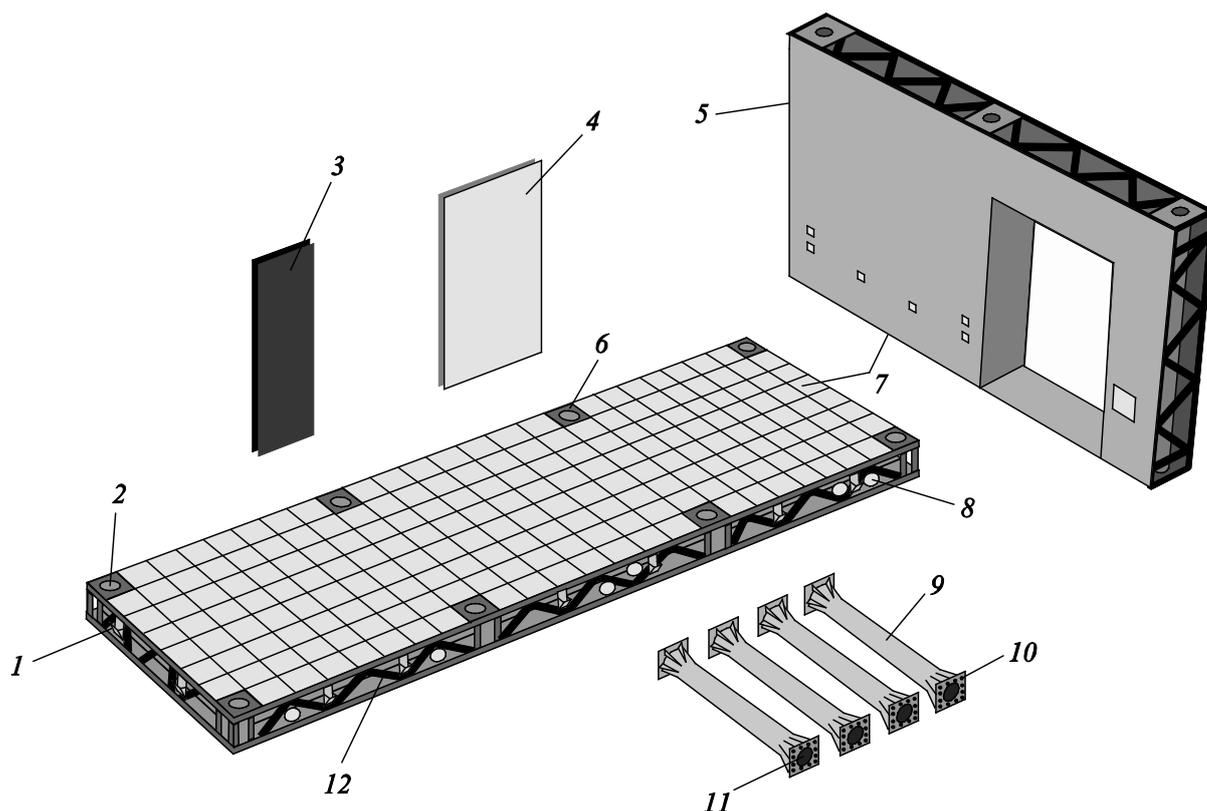


Рис. 4.8. Общий вид всех элементов строительного модуля УВСС для строительства зданий:

1 — потолок; 2 — бетонное ядро; 3 — сэндвич-панель со встроенной солнечной батареей; 4 — стеклопакет; 5 — модуль стены; 6 — пол; 7 — финишная отделка; 8 — встроенные инженерные сети; 9 — сталебетонная колонна; 10 — болтовые отверстия; 11 — ребра жесткости; 12 — структурное перекрытие

На торцах пола и потолка строительного модуля встроены крепления для монтажа ограждающих панелей и стеклопакетов здания. Удлиненные несущие колонны (6 м) для двухуровневых помещений выполнены из трубы, заполненной бетоном, так же как и одноуровневые (3 м) несущие колонны. Места крепления колонн в строительном модуле также содержат бетон. В собранном виде получается многоэтажное здание, собираемое на заранее подготовленном фундаменте.

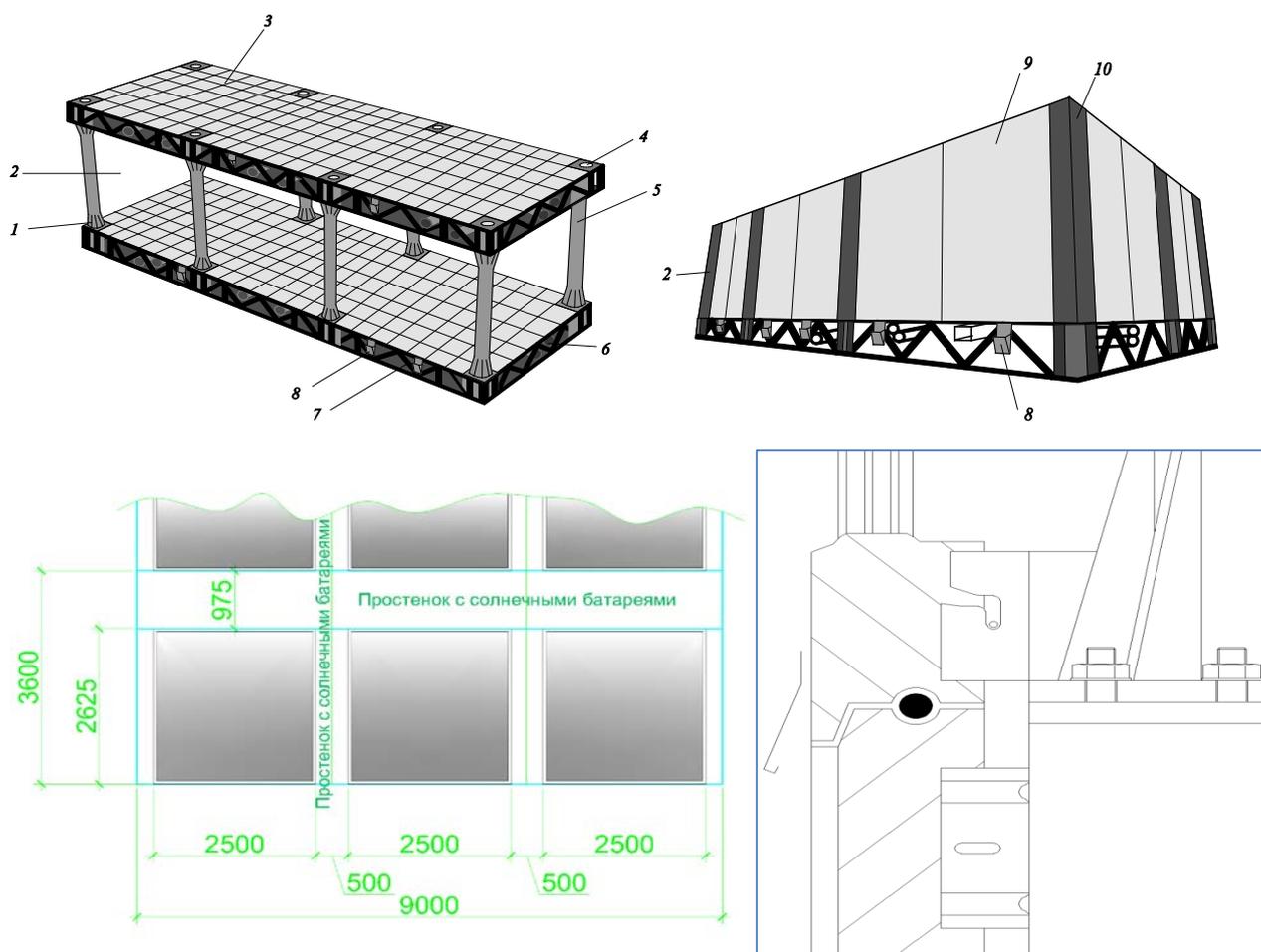


Рис. 4.9. Общий вид типового строительного модуля УВСС в собранном виде: 1 — ребра жесткости; 2 — строительный модуль; 3 — пол; 4 — бетонное ядро; 5 — одноуровневые несущие колонны; 6 — встроенные инженерные сети; 7 — металлический нижний пояс; 8 — крепления наружных ограждений; 9 — стеклопакеты; 10 — ограждающие панели

Таблица 4.2

Сравнение характеристик различных конструкций перекрытий

Вид перекрытия	Пожаробезопасность			Звукоизоляция, дБ		Источник данных	Цена материала, 1 м ² /у.е.
	Огнестойкость, мин	Распространение огня	Возгорание, мин	Ударный шум, L, дБ	От воздушного шума, R, дБ		
Модули УВСС, 3-9-0,6 м	160	М 0	—	113	36	Исследования	151,35
Круглопустотные ж/б 220 мм, L = 4,5 м, P = 800 кг/м ²	68	М 0	—	76	37-57	6	31,61
Экструдерные ж/б L = 4/5 м, P = 800 кг/м ²	45	М 0	—	76	37-57	6	29,65
Монолитный ж/б 120 мм	114	М 0	—	78	42-58	6	34,5
Сборно-монолитные (Терива)	20	М 0	—	79	45-66	6	36,6
Сборно-монолитные, мет. + ж/б	20	М 0	—	86	36	5	51,35
Бревно + OSB 22×2 мм, 450 /м ² (с 1 слоем OSB)	40	М 2	4 (+ антипирен)	113	32* (27*)	5	26,5 16,44
Тавровые деревянные балки + OSB, 22×2 мм, 450 кг/м ² , если 150 кг/м ² (шаг 406 мм) (с 1 слоем OSB)	15	М 2	4 (+ антипирен)	113	32* (27*)	5	92,77 44,75 34,69

С домостроительного комбината прибывают тщательно упакованные элементы УВСС в укомплектованных контейнерах на обыкновенных автомашинах. Их распаковывают и монтируют на подготовленный фундамент с подведенными инженерными сетями. Здания собирают как механизмы из отдельных деталей, заранее подогнанных на заводах, трансформируя колонны и ограждающие панели в проектное положение, что высокотехнологично для условий Крайнего Севера. Через 2-3 суток мы получаем капитальное здание.

Строительство здания из УВСС ведется с помощью модулей одного размера, состоящего из жестко сваренных металлоконструкций. С помощью колонн модули устанавливаются друг на друга и соединяются при помощи высокопрочных болтов. Для опирания двух смежных модулей используется одна колонна, наличие удлиненных несущих колонн позволяет выстраивать двухуровневые пространства; несущие колонны прикреплены к полу и потолку прочными болтовыми креплениями через планки, которые жестко приварены к колоннам, содержащим болтовые отверстия и петли для установки колонн в проектное положение (рис. 4.11 и 4.12). На рис. 4.10. представлен вариант установки первых трех этажей здания из предлагаемых модулей.

В строительном модуле используются материалы с особыми характеристиками, способные выдерживать температурный режим Крайнего Севера и Заполярья, особенно это касается применяемой стали.

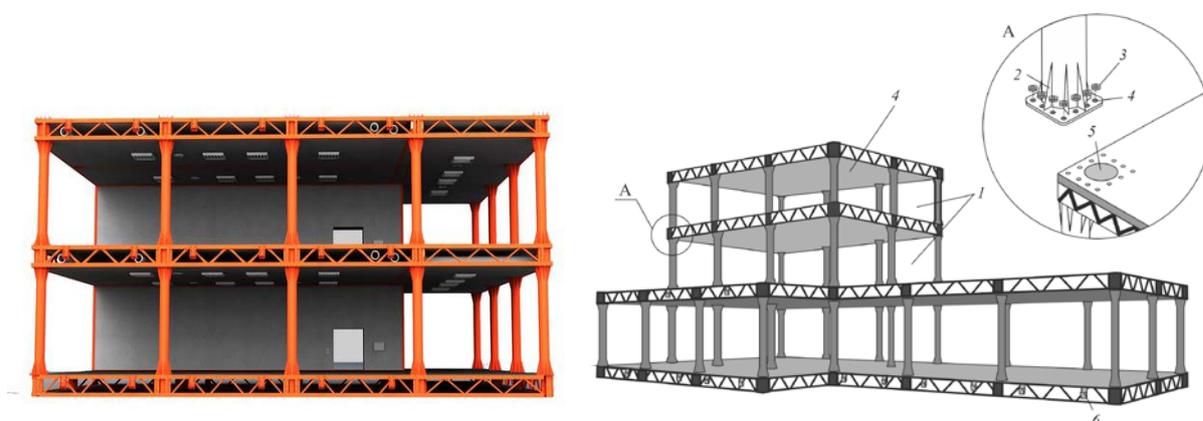


Рис. 4.10. Вариант установки первых 2-3 этажей здания из предлагаемых строительных модулей УВСС:
 1 — строительные модули; 2 — ребра жесткости; 3 — гайки; 4 — болтовые отверстия;
 5 — бетонное ядро; 6 — крепление наружных ограждений



Рис. 4.11. Испытания шарнирно-сочлененных образцов трансформируемых несущих колонн Ø15 см здания системы УВСС



Рис. 4.12. Элементы образцов заводского изготовления несущих колонн Ø20 см системы УВСС

Для обеспечения жесткости конструкции здания из строительных модулей в центре здания устанавливаются несущие стены, обеспечивая таким образом ядро жесткости здания. В центре здания строительные модули опираются на несущие стены; по периметру здания — на несущие колонны. Несущие стены и строительный модуль содержат финишную отделку, нанесенную на поверхность этих модулей, строительный модуль пола содержит верхний железобетонный пояс, нанесенный на верхнюю часть модуля, обеспечивающий большую жесткость модуля при изгибе, поверх которого выполнена финишная отделка пола. Строительный модуль потолка содержит нижний металлический пояс, выполненный в виде структурного перекрытия из металлических профилей, обеспечивающий большую жесткость модуля при изгибе, а также крепление инженерных сетей. По низу модуля выполнена финишная отделка потолка.

Строительные модули поставляются на площадку в разобранном виде, представляя собой модуль пола и потолка и несущую стену с инженерными сетями и с финишной отделкой, выполненной в заводских условиях, несущие колонны и ограждающие сэндвич-панели, что позволяет перевозить за один раз два таких комплекта строительных модулей. Требования пожарной безопасности согласно ФЗ приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				Настилы (в том числе с утеплителем)	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	RE 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	RE 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	RE 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	RE 15	REI 45	R 15
V	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется

Примечание. Порядок отнесения строительных конструкций к несущим элементам здания, сооружения и строения устанавливается нормативными документами по пожарной безопасности.

Строительные модули пола и потолка на торцах имеют крепления при помощи болтовых соединений, к которым крепятся ограждающие панели, содержащие элементы солнечных батарей, вырабатывающих электроэнергию и стеклопакеты здания. Для повышения несущей способности и унификации используемых элементов при повышении этажности здания несущие колонны выполнены из трубы, заполненной бетоном, образуя так называемый сталебетон. Для обеспечения передачи нагрузки от несущих колонн места крепления колонн со строительными модулями также заполнены бетоном.

Многоэтажное здание состоит из строительных модулей, модулей несущих стен, формирующих ядро жесткости здания в центре, и ограждающих панелей и стеклопакетов [19]. Строительные модули вышележащих этажей установлены на несущие колонны нижележащих обеспечивающие несущую

способность и жесткость узлов благодаря ребрам жесткости и жестко прикрепленным планкам в вертикальном направлении. Модули несущих стен обеспечивают жесткость здания в горизонтальном направлении. По аналогии монтируют последующие этажи здания.

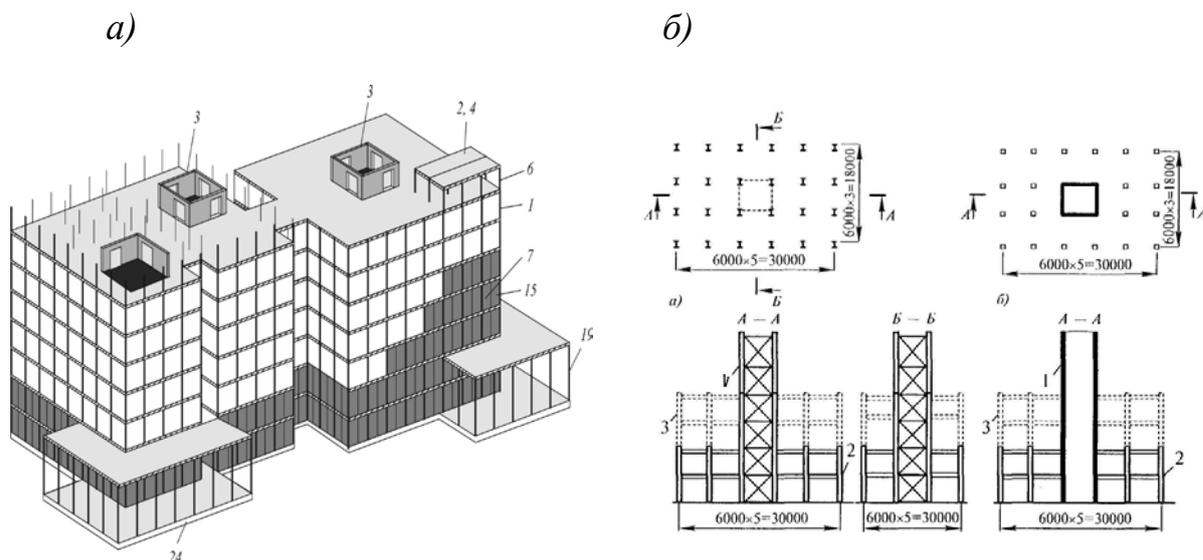


Рис. 4.13. Схема возведения каркаса зданий из строительных модулей с ограждающими сэндвич-панелями и остеклением:

- a* — со стальным ядром жесткости; *б* — с железобетонным каркасом; 1 — ядро жесткости; 2 — строительный модуль; 3 — одноуровневые несущие колонны; 4 — ограждающие панели; 5 — стеклопакеты; 6 — удлиненные несущие колонны; 7 — фундамент

Монтаж здания производят с помощью траверсы или строп. Основным подъемным устройством является башенный или колесный кран.

Здание состоит из отдельных строительных модулей. Количество модулей, укладываемых друг на друга по вертикали через колонны, зависит от этажности здания и диаметра колонн, обеспечивающих несущую способность. Строительные модули связаны между собой по горизонтали и вертикали. После завершения соединения модулей с колоннами выполняется окончательная финишная отделка мест сопряжения модулей. На рис. 4.13 представлена схема возведения каркаса зданий из модулей с ограждающим остеклением.

Кроме того, поскольку колонны крепятся к строительным модулям не напрямую, а через планки при помощи высокопрочных болтов, это обеспечивает высокую точность соединения и скорость монтажа, так как в строительном модуле в месте сопряжения с колонной заложен тяжелый бетон,

а планки с болтовыми отверстиями соединены с колоннами через ребра жесткости.

Строительные модули уже включают все инженерные сети, соединяемые по горизонтали, а строительные модули несущих стен в центре здания содержат инженерные сети, соединенные по вертикали; остальное пространство этажа включает только несущие колонны. Следовательно, увеличиваются горизонтальные и вертикальные пространства, пригодные к эксплуатации, и, таким образом, может быть увеличена площадь прохода, пространство, необходимое для размещения мебели, оборудования и людей. На рис. 4.14 представлен вариант полносборного здания из высокотехнологичных строительных систем.

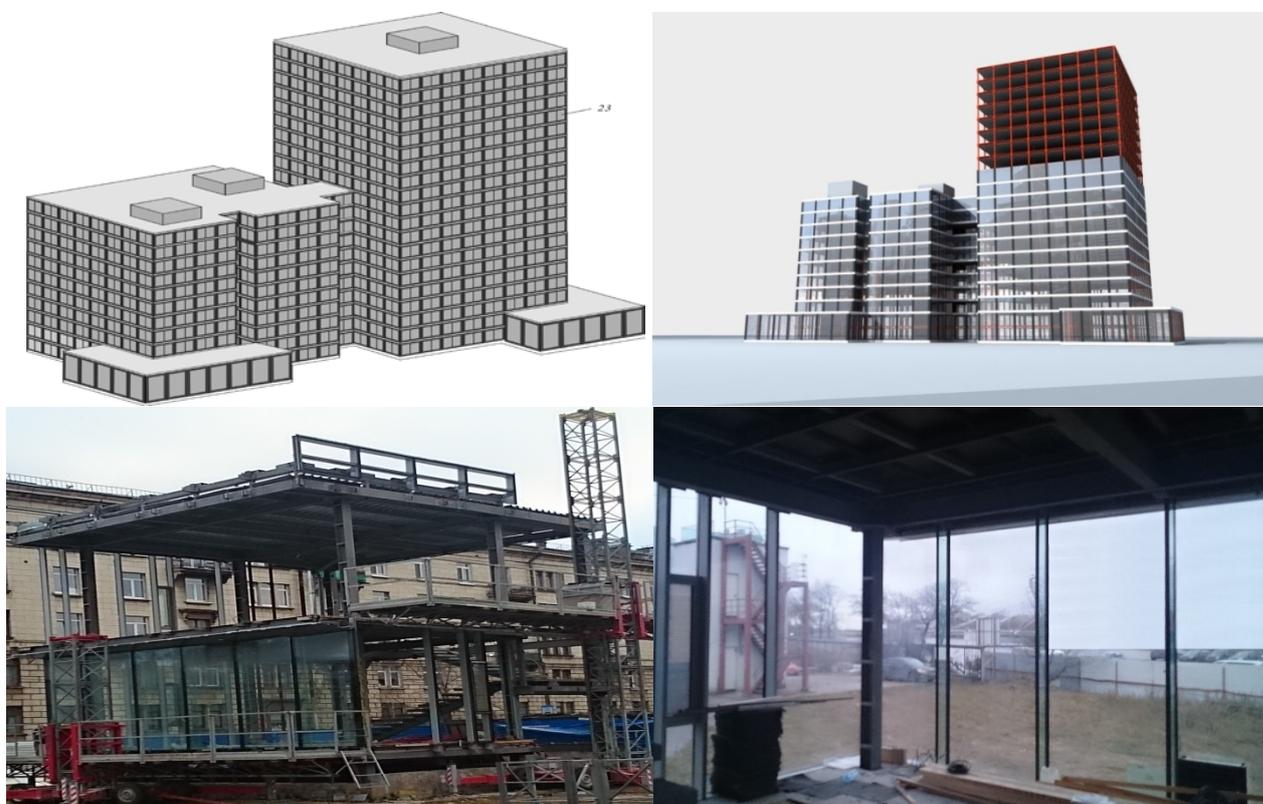


Рис. 4.14. Вариант готового полносборного здания из универсальной высокотехнологичной строительной системы (многоэтажное здание)

Вследствие использования в строительной системе здания строительных модулей повышенной заводской готовности необходимости в производстве крупных строительных работ на строительной площадке нет, поэтому объем материала, используемый для строительной конструкции здания, может быть уменьшен. Кроме того, исключены наиболее трудоемкие и длительные процессы, такие как «мокрые» процессы и сварочные работы.

Кроме того, поскольку панели строительного модуля могут быть расположены снаружи трейлера и даже при содержании всех инженерных сетей имеют небольшую толщину, то одновременно могут быть перевезены два комплекта модулей, что обуславливает снижение транспортных издержек.

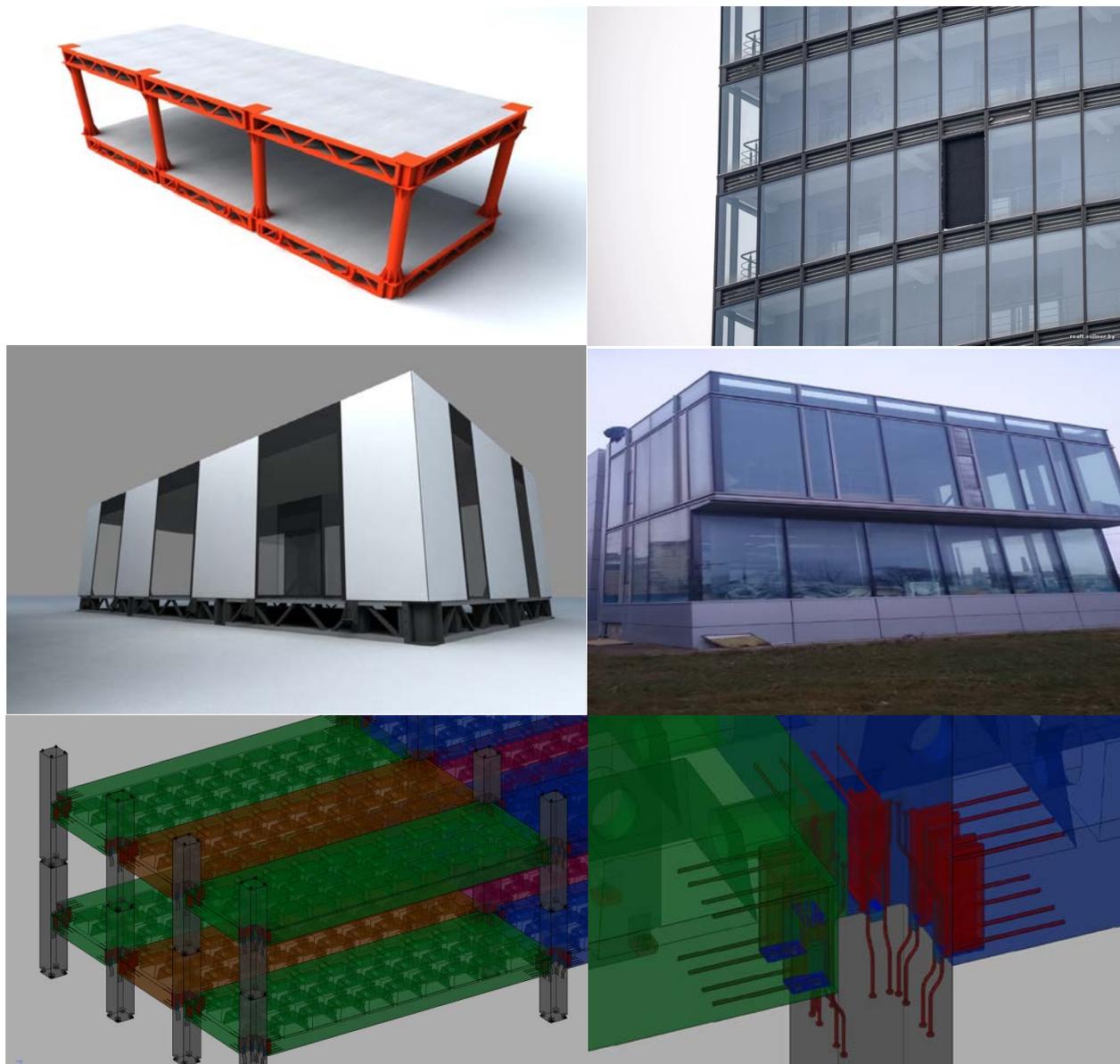


Рис. 4.15. Общий вид типового строительного модуля УВСС в собранном виде: вариант системы УВСС из сталежелезобетона (верхний и средний ряд) и вариант системы УВСС в исполнении жбк (нижний ряд)

Таким образом, предлагаемая конструкция строительного модуля по сравнению с базовой и другими конструктивными решениями аналогичного назначения обеспечивает повышение оперативности монтажа и устойчивости здания, снижение трудоемкости изготовления и монтажа строительных модулей, снижение затрат на строительство здания, а также расширение

архитектурно-планировочных возможностей при различных вариантах установки модулей, повышение точности изготовления и монтажа конструкций. Это достигается за счет использования строительных модулей повышенной заводской готовности и финишной отделки, устраиваемой в заводских условиях, унификации строительных модулей и крепежных элементов, использование металлических конструкций и ограждающих сэндвич-панелей вместо бетонных, а также полносборности конструкций здания.

Для достижения высокоэффективных показателей монтажа предлагаемых полносборных строительных процессов анализ интенсивности доставки объемных модулей и необходимости непрерывной работы показал, что по требуется расчет потоков с учетом одноцикличности укрупнительной сборки зданий (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Цикличность возведения полносборных зданий

Наименование технологии	Технологические циклы			
	первый	второй	третий	четвертый
Одноцикличная	Возведение здания из УВСС (стадия с отделкой и инженерными сетями)			
Двухцикличная	Возведение коробки здания (стадия готовности под отделку)	Отделочные и завершающие работы		
Трехцикличная	Возведение коробки здания (до стадий общестроительных и специальных работ)	Завершение общестроительных и специальных работ. Монтаж оборудования	Отделочные и завершающие работы	
Многоцикличная (вариант)	Возведение коробки здания (стадия — готовность пуска тепла)	Завершение общестроительных и специальных работ. Монтаж оборудования	То же	Пусконаладочные работы
Закрытая технология возведения промышленных зданий	Возведение коробки здания с устройством кровли	Устройство фундаментов под оборудование. Общестроительные и специальные работы. Монтаж оборудования	—»—	То же

Наименование технологии	Технологические циклы			
	первый	второй	третий	четвертый
Совмещенная технология возведения промышленных зданий	Возведение коробки здания и оборудования	Послемонтажные общестроительные и специальные работы. Обвязка оборудования	—»—	—»—
	Возведение коробки здания. Монтаж мостовых кранов	Завершение общестроительных работ. Монтаж оборудования	Отделочные работы. Пуско-наладочные работы	—

Система скоростного домостроения из модульных высокотехнологичных систем перспективного направления позволяет достичь следующие цели: механизацию, автоматизацию и роботизацию монтажа и демонтажа; сократить сроки строительства; комплектно поставлять технологическое и инженерное оборудование, обеспечивать дублирование запасными системами и частями; достичь полную готовность объекта к автономной и безопасной работе; обеспечить высокое качество строительства [116-117].

Предложенные инженерно-технологические решения полносборного здания из модулей позволяет возводить здания на опорах таким образом, чтобы не находилось в непосредственном контакте с мерзлой почвой и часть тепла не уходила бы на нагрев грунта, а по сути, просто тратилась бы в пустую. Такое решение позволяет исключить излишние теплопотери. Решения защищены заявкой на изобретение РФ: № 2016113628 от 08.04.2016 «Строительный модуль для строительства зданий» [30].

4.3. Способ интенсивного скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем

В большинстве случаев монтаж блоков полносборных зданий возможен только одновременно по высоте и по длине здания, так как устойчивость блока последующего ряда не может быть обеспечена без устройства монолитного

пояса в нижележащем ряду блоков, особенность каркаса не позволяет осуществить монтаж многоэтажного здания со свободными планировками.

Колонны выполняют диаметром, обеспечивающим необходимую несущую способность здания в зависимости от планируемой этажности здания: при увеличении этажности увеличивают диаметр колонны, а при использовании колонн на верхних этажах уменьшают диаметр; для опирания двух смежных блок-модулей используют одну колонну, что снижает количество используемых колонн и экономит материалы, наличие удлиненных несущих колонн позволяет устраивать двухуровневые апартаменты за счет исключения промежуточных строительных модулей пола и потолка.

В колоннах и объемных блоках устанавливают направляющие для присоединения элементов с помощью высокопрочных болтов, планок и гаек.

Нижний пояс объемных блоков и каркас несущих стеновых модулей выполняют структурными из металлических конструкций, в которых размещают и натягивают металлические канаты, что обеспечивает большую жесткость конструкции здания и повышает сейсмическую устойчивость. Для обеспечения жесткости конструкции здания из строительных объемных блоков в центре здания устанавливают строительные модули несущих стен, которые снабжают инженерными сетями и финишной отделкой, соединяют по вертикали так же, как и инженерные сети и размещают в центре здания. В качестве ядра жесткости здания, а также для размещения лестниц и лифтов в центре многоэтажного здания объемный блок опирают на модули несущих стен по периметру здания на несущие колонны. По аналогии монтируют все последующие этажи (рис. 4.16).

Объемные блоки вышележащих этажей устанавливают на несущие колонны нижележащих блоков, формируют ребра жесткости, которые жестко прикрепляют к планкам, что обеспечивает повышенную несущую способность и жесткость узлов и здания в вертикальном и горизонтальном направлении, совместно с модулями несущих стен. Кроме того, колонны крепят к объемным блокам не напрямую, а через металлические планки при помощи болтовых

отверстий, направляющих, высокопрочных болтов и гаек. Это обеспечивает высокую точность соединений и оперативность монтажа. Так, прочность соединения между элементами здания может быть доведена до максимума.

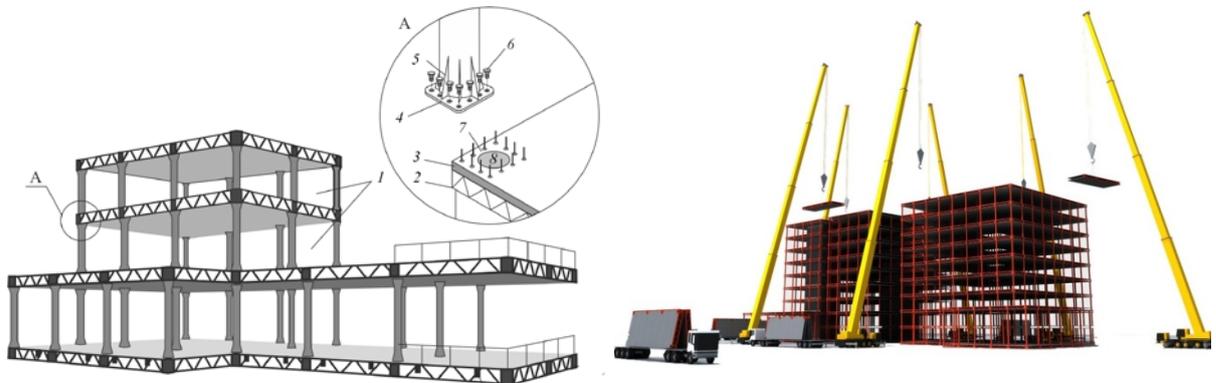


Рис. 4.16. Варианты интенсификации монтажа модулей УВСС:

1 – строительный модуль; 2 – нижний металлический пояс; 3 – верхний бетонный пояс; 4 – металлическая планка; 5 – ребра жесткости; 6 – высокопрочные болты; 7 – направляющие; 8 – бетонное ядро

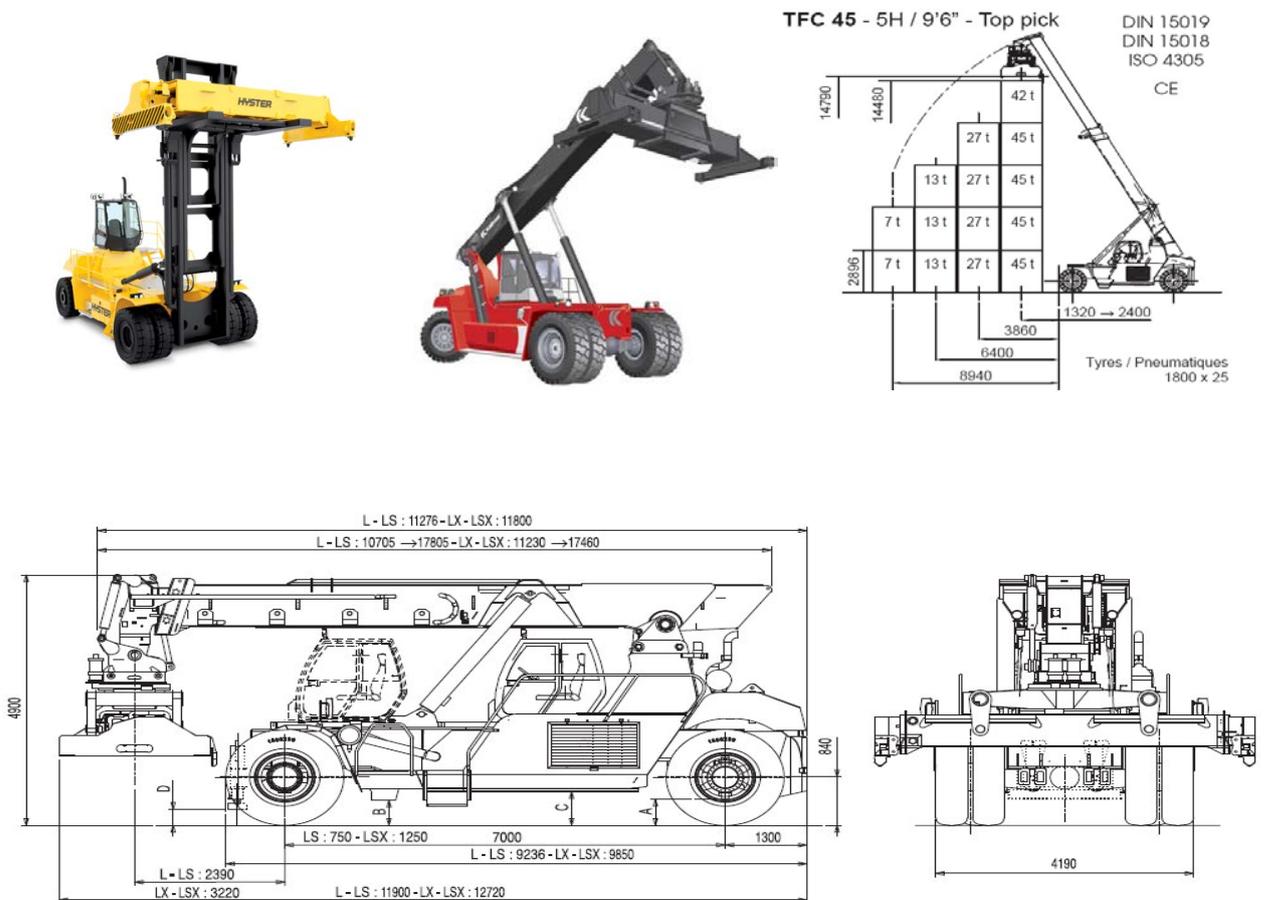


Рис. 4.17. Монтажные телескопические подъемники — ричтакеры

На торцах объемных блоков устанавливают крепления для оперативного монтажа ограждающих панелей и стеклопакетов. Во все монтируемые элементы, а именно объемные блоки, элементы, а также в места их крепления устанавливают самозахватные устройства. Такое исполнение позволяет использовать способ самофиксации модулей и монтируемых элементов для закрепления их в проектном положении. Взаимодействие в процессе монтажа направляющих и магнитов образует надежное предварительное соединение, затем закрепляется высокопрочными болтами с освобождением жесткого захвата.

Для монтажа объемных блоков (рис. 4.18) многоэтажного здания применяют жесткий захват, вспомогательные монтируемые элементы здания устанавливают самоподъемными мини-кранами, которые крепят к колоннам. Для обеспечения всепогодности монтажа объемных блоков применяют жесткий захват, прикрепленный к телескопическому подъемнику, представленному на рис. 4.17, табл. 4.5 (варианты подъемников: 3462 Kalmar DRF450-65S5; 4774 Fantuzzi CS 45 KS; 3471 Kalmar DRS4527-S5; 4784 Fantuzzi CS 7.5 S6; 2776 Liebherr LRS 645; 2772 C.V.S. Ferrari F 478; 2755 Terex-PPM TFC 45; 8445 Luna RSL 82-EC7; 8464 Luna RSL 452-6CTR4).

Таблица 4.5

Технические характеристики ричстакера Kalmar DRS4527-S5

Максимальная грузоподъемность, кг	45 000
Максимальная грузоподъемность в 1/2-м/3-м рядах, т	43(45)/30/15
Радиус поворота, мм	9400
Максимальная высота подъема и разгрузки, м	15,1–18,1
Дорожный просвет, см	25
Эксплуатационная масса, кг	66 800
Высота, м	4,5
Ширина, м	4,15
Длина, м	11,7
Скорость движения с грузом, км/ч	21
Скорость передвижения, км/ч	25
Скорость подъема с грузом, мм/с	250
Скорость подъема без нагрузки, мм/с	420

Для повышения несущей способности и унификации при повышении этажности многоэтажного здания, несущие колонны выполняют из трубы и наполняют бетоном в заводских условиях, образуя так называемый сталебетон, на планках и несущих колоннах формируют ребра жесткости, что обеспечивает жесткость узла.

Монтаж мало- и среднеэтажного здания, осуществляют на заранее подготовленный фундамент с помощью рассмотренных телескопических подъемников (рис. 4.18), границы которого также привязывают к геодезической системе координат.

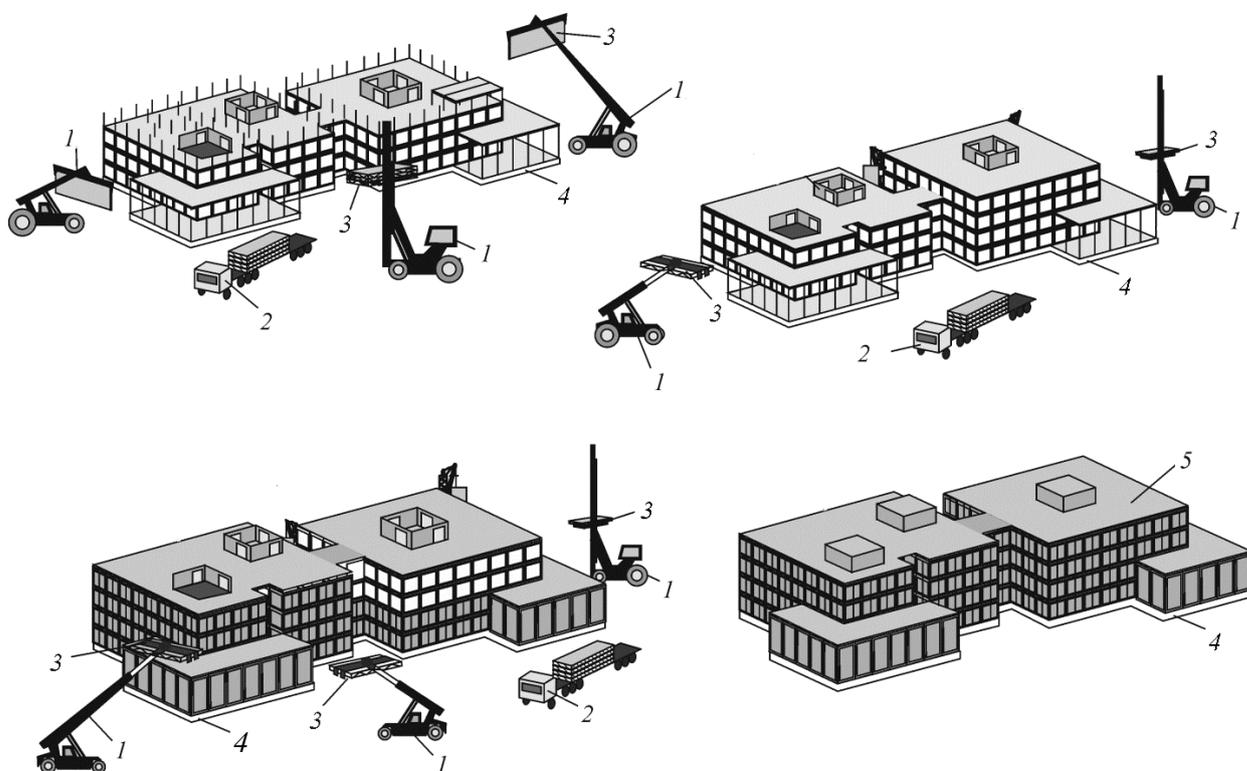


Рис. 4.18. Схема монтажа модулей УВСС и вспомогательных работ с использованием телескопических подъемников:

1 – телескопический подъемник; 2 – трейлер; 3 – строительный модуль;
4 – фундамент; 5 – готовое здание

Таким образом, предлагаемым способом по сравнению с базовым и другими техническими решениями аналогичного назначения можно обеспечивать повышение оперативности монтажа и минимизировать строительные процессы. Это достигается использованием высокоэффективных средств механизации, полносборностью и унификацией монтируемых элементов, эффективных средств наведения и крепления элементов, использованием средств для обеспечения точности выполнения монтажных работ [169].

Предложенные решения монтажа полносборного здания из модулей защищены заявками на изобретение РФ: № 2016114357 от 13.04.2016 «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков» [31].

4.4. Способ автоматизированного скоростного возведения в условиях Севера многоцелевых полносборных зданий из УВСС

Предлагаемый автоматизированный способ относится к области строительства, а именно к способу строительства зданий из объемных блоков. Лидерами в области автоматизированного монтажа многоэтажных зданий заслуженно являются Великобритания, Германия, Япония, Китай, США.

Задачей автоматизированного способа скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из УВСС систем является повышение экономичности строительства многоэтажных зданий из объемных блоков и расширение архитектурно-планировочных возможностей.

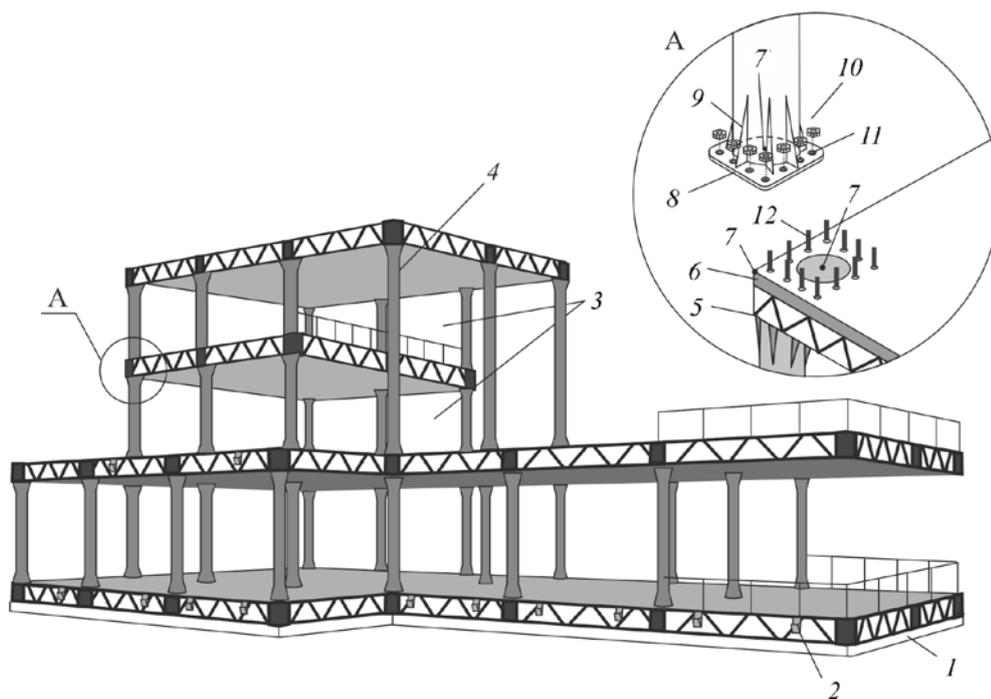


Рис. 4.19. Вариант монтажа блок-модулей УВСС с созданием балконов, лоджий, одно- и двухуровневых помещений:

1 – фундамент; 2 – крепления наружных панелей; 3 – строительные модули; 4 – удлиненная колонна; 5 – металлический нижний пояс; 6 – верхний бетонный пояс; 7 – датчики GPS; 8 – металлическая пластина; 9 – ребра жесткости; 10 – гайки; 11 – болтовые отверстия; 12 – направляющие

Для обеспечения всепогодности монтажа объемных блоков применяют специальную телескопическую монтажную платформу. Для монтажа объемных блоков в автоматизированном режиме используют высотный стреловой

подъемник-манипулятор с использованием приемников GPS, ГЛОНАСС, оптического «технического зрения» или иных датчиков, которые встраивают в монтируемые элементы многоэтажного здания или размещают на строительной площадке для координации монтируемых элементов в пространстве строительной площадки (рис. 4.19).

Автоматизированный на базе модернизированного башенного крана стреловый подъемник-манипулятор с помощью специальной компьютерной программы перемещает по горизонтали и вертикали для монтажа элементов специальную телескопическую монтажную платформу. Монтируемые элементы привязывают к координатной сетке строительной площадки и многоэтажного здания. Для обеспечения точности установленных объемных блоков в них встраивают приемники GPS или иные датчики, а также устанавливают во все монтируемые элементы, фундамент. Каждый датчик имеет привязку к системе координат, смонтированный элемент соответствует точному положению объемного блока или конструкции в компьютерной модели здания.

С помощью специальной компьютерной программы оцифровывают размещение объемных модулей стандартных размеров на уровне каждого этажа с привязкой положения каждого объемного модуля и монтируемых элементов по трем координатам и трем углам к проекту многоэтажного здания и точкам на строительной площадке. При этом до начала работ каждое здание с помощью компьютерной модели оцифровывают и привязывают каждой конструкцией и углом к местности строительной площадки. Исходной информацией для автоматизированного высотного стрелового подъемника-манипулятора и транс-робота является файл данных с привязкой объемных блоков и элементов в системе координат, полученный на этапе проектирования и введенный в компьютерную программу управления роботом. Таким образом, на мониторе компьютера моментально отражается точность установки смонтированных элементов и объемных блоков.

Монтаж многоэтажного здания осуществляют на заранее подготовленный фундамент с привязкой к системе координат.

Автоматизированный высотный стреловый подъемник-манипулятор выполнен на базе башенного крана с несколькими специальными телескопическими монтажными платформами, которые представляют собой грузовые самоходные тележки с телескопическим захватом. Монтируемые модули и элементы захватываются с трейлера. С помощью нескольких перемещающихся монтажных платформ производится непрерывный подъем монтируемых элементов на монтажный горизонт многоэтажного здания и установка в проектное положение с помощью специальной телескопической монтажной платформы (рис.4.20).

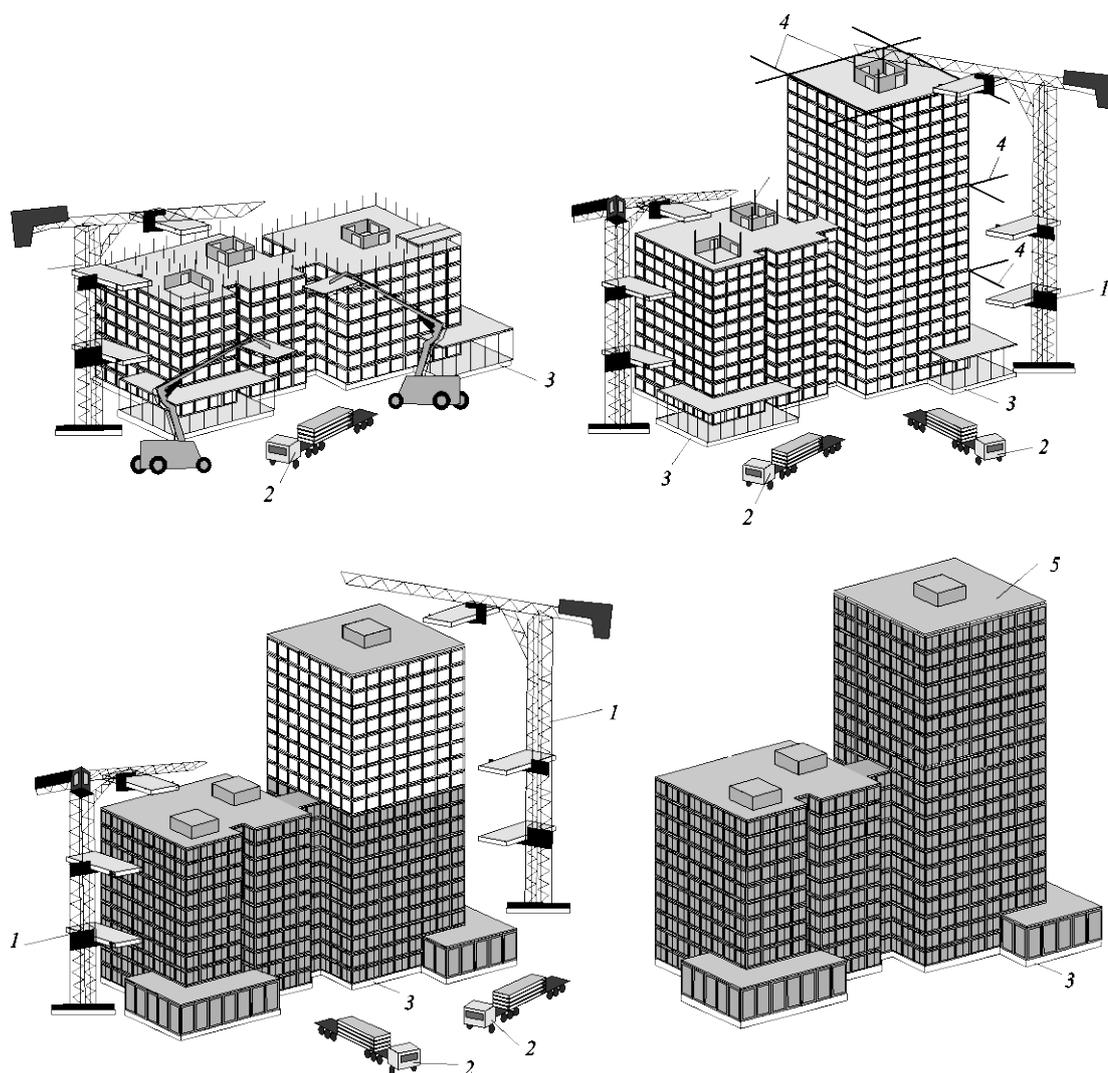


Рис. 4.20. Высокотехнологичный монтаж модулей УВСС подъемниками на базе модернизированных башенных кранов с телескопическими монтажными платформами:
 1 – автоматизированный стреловой подъемник-манипулятор с тремя монтажными телескопическими платформами; 2 – трейлер; 3 – фундамент; 4 – преднатяженные канаты;
 5 – готовое здание

Из циклического монтажный процесс превращается в конвейерный при непрерывной подаче модулей УВСС. Наличие нескольких перемещающихся

телескопических монтажных платформ способствует повышению производительности, сокращая сроки монтажа в 6 раз.

При разработке ППР на монтаж разработанных модулей УВСС рекомендуется использовать алгоритм ритмичного монтажа и слаженной совместной работы модернизированных кранов в виде рисунков, графиков или сетевой модели. Так будет обоснована и доказана эффективность предложенных решений.

Таким образом, предлагаемый автоматизированный способ скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем по сравнению с базовым и другими техническими решениями аналогичного назначения обеспечивает повышение оперативности монтажа и минимизирует строительные процессы. Это достигается использованием высокоэффективных средств механизации, полносборностью и унификацией монтируемых элементов, эффективных средств наведения и крепления элементов, использованием средств для обеспечения точности и компьютерных программ, управляющих автоматизированными монтажными подъемниками на базе современных башенных кранов [114].

Программное обеспечение для автоматизированного управления строительством (SAM) — идеальное решение для управления большими стройками с тысячами модулей, огромной базой данных и постоянной необходимостью перемещения модулей.

Разработанное на платформе, созданной при помощи «Microsoft Visual Studio», ПО отличается чрезвычайной гибкостью и адаптируемостью к любому оборудованию для автоматизированного перемещения модулей.

Помимо возможности отслеживать в реальном времени цикл перемещения модулей на стройке, можно наблюдать за работой отдельных частей оборудования и следить за перемещением модулей, а также в любой момент вмешаться при возникновении аномалий.

Программное обеспечение осуществляет контроль всего процесса монтажа, обеспечивая четкую последовательность забора модулей

в соответствии с выбранным форматом, а также автоматизированное перемещение и монтаж.

Все машины оснащены специальными устройствами захвата, способными перемещать самые различные типы элементов, с функцией захвата одного или нескольких элементов (при размещении рядами или слоями).

Согласно ПБ 10-382–00 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» не допускается выполнять монтажные работы на высоте при скорости ветра 10 м/с и более, при погодных условиях (гроза, туман и т. д.), исключающих видимость в пределах фронта работ. При применении предлагаемых монтажной системы с автоматизированным управлением, с жестким захватом монтируемых модулей и возведением здания изнутри посредством ВМ таких ограничений нет.

Предложенные инженерно-технологические решения монтажа полносборного здания из модулей защищены заявкой на изобретение РФ № 2016114357 от 13.04.2016 г. «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков» и патентом на изобретение РФ № 2615025 «Компьютерная система управления строительным комплексом» от 21.03.16 г. [31, 73].

4.5. Способ роботизированного скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий в условиях Крайнего Севера из систем УВСС

Достижение высокой эффективности монтажного процесса возможно только при роботизации процесса монтажа модульных конструкций. Схема роботизированного взаимодействия крана-манипулятора и монтажной платформы представлена на рис. 4.21.

Характер и содержание взаимодействия между оператором и монтажной машиной определяются особенностями выполняемых операций.

Пространственная ориентация монтажной платформы, а также размещенного в ней монтируемого модуля осуществляется с помощью системы передатчиков, установленных непосредственно на строящемся объекте.

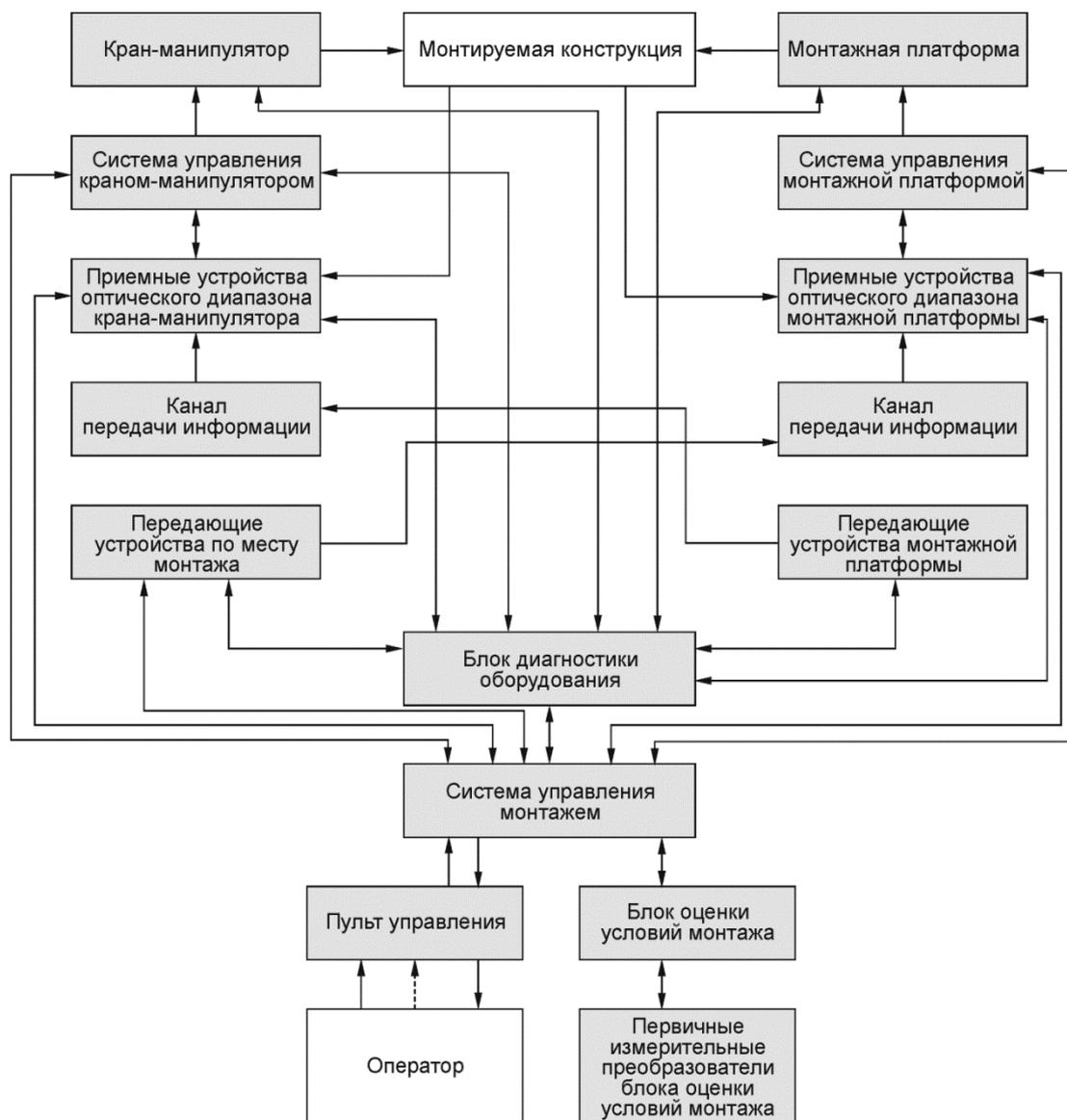


Рис. 4.21. Структурная схема монтажа модулей УВСС здания при взаимодействии модернизированного крана и телескопической монтажной платформы

Оператор выбирает монтируемый модуль, при этом определяет вариант технологического процесса. Платформа с размещенным на ней модулем будет изменять свое положение, пока устанавливаемый модуль с помощью маяков-передатчиков не займет проектное положение.

Текущее положение модуля в пространстве, окончание монтажа, аварийные ситуации монтажа отображаются устройствами индикации рабочего места оператора. При контроле качества и точности технологического процесса монтажа сборных модульных конструкций следует отдавать предпочтение высокоточным активным системам — лазерам. Это обеспечивает минимизацию

задействованной информационно-измерительной аппаратуры. При использовании лазерной техники повышается точность до 0,1–0,3 мм на каждые 100 м расстояния и увеличивается дальность функционирования системы.

В основу автоматизации положен принцип заводского производства конструкций и деталей при максимальной механизации строительно-монтажных работ. Задача автоматизированного метода состоит в том, чтобы обеспечить скоростное возведение многоцелевых многоэтажных зданий с расширенными архитектурно-планировочными возможностями.

Основным направлением в роботизированном строительном производстве является широкое применение крупноразмерных сборных конструкций и переход к их монтажу крупными узлами и блоками, обладающими большой степенью заводской готовности [152].

Здания, возведённые роботизированным методом, позволят уменьшить объем трудозатрат, что отразится на конечной стоимости объекта строительства.

С поставленной задачей справляется роботизированный метод монтажа зданий из отдельных объемных блоков. Сборка здания этим методом осуществляется из отдельных унифицированных высокотехнологичных полносборных объемных модулей повышенной заводской готовности посредством роботизированных мачтовых подъемников и различных вспомогательных строительных машин.

Рассматриваемое здание общественного назначения в качестве примера универсальности строительной системы и способа монтажа сблокировано из трех одинаковых секций разной этажности. Размеры здания в плане 39,0×108,0 м. Высота этажа 3,6 м (рис. 4.22–4.25).

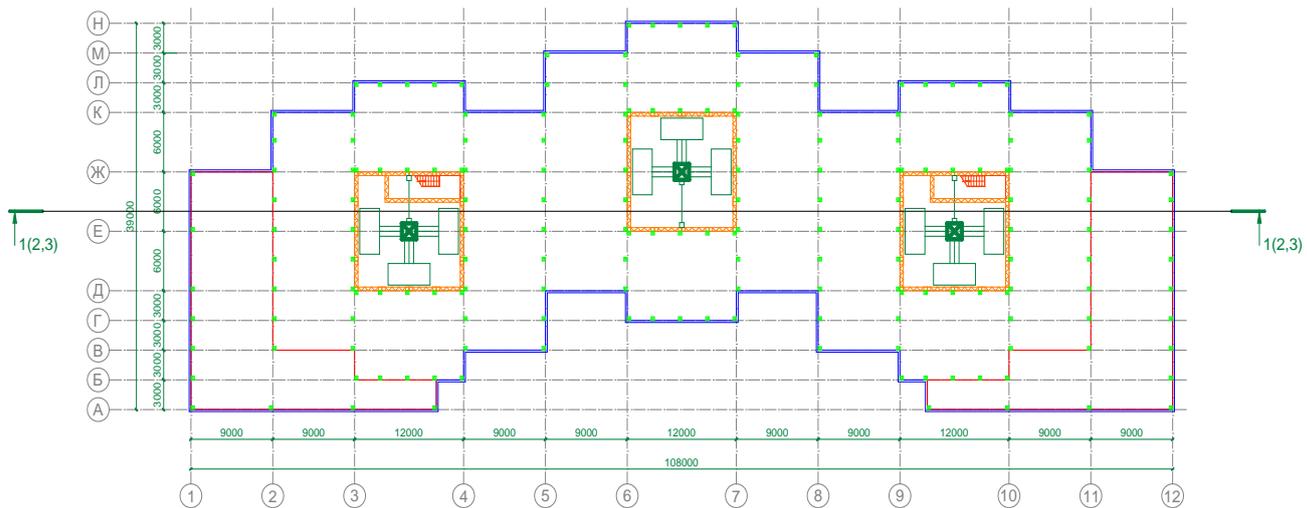


Рис. 4.22. План 1-го этажа

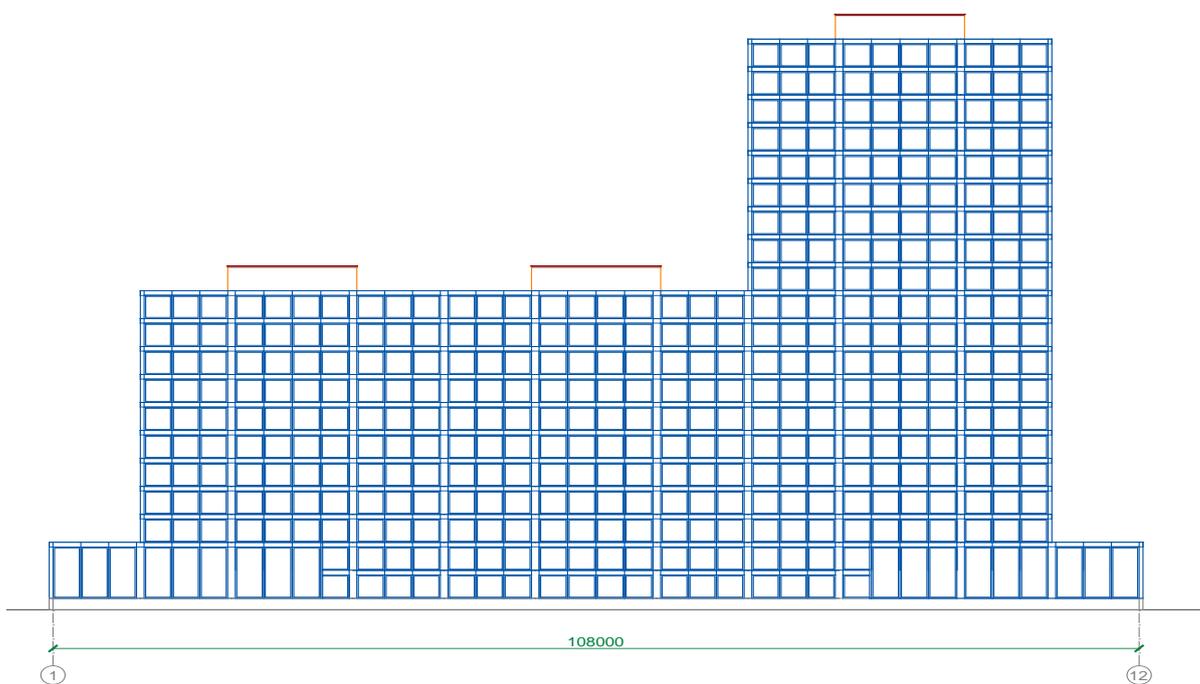


Рис. 4.23. Фасад здания 1–12

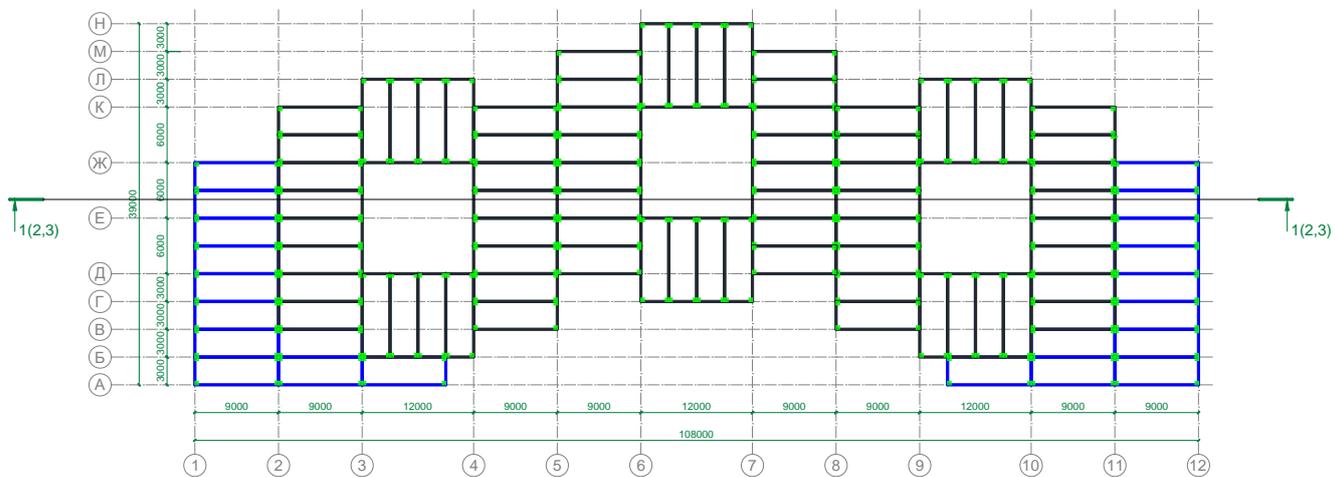


Рис. 4.24. Схема раскладки модулей УВСС перекрытия

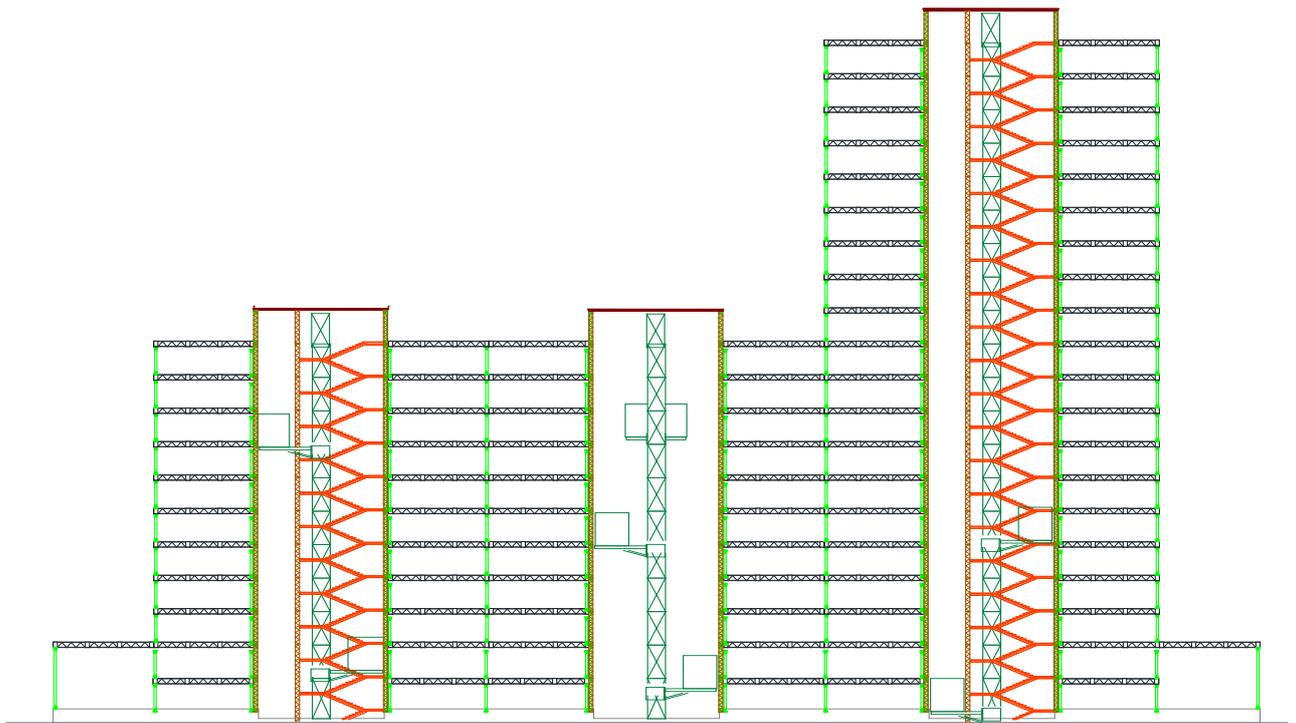


Рис. 4.25. Разрез здания 1–1

Объемные блоки соответствуют единой унифицированной модульной системе, позволяющей взаимоувязать размеры зданий и их элементов. В модульной системе обязателен принцип кратности всех размеров. В рассматриваемом примере применен горизонтальный блок модульной системы 3М с размерами в плане 9000×3000 мм, высотой 3600 мм.

Объемный блок повышенной заводской готовности представляет систему из модуля перекрытия, сталебетонных колонн или стеновых модулей, имеет вид стакана. Модули перекрытия могут соединяться через одноуровневые или двухуровневые колонны, образуя при этом необходимое объёмно-планировочное пространство, например двойной этаж или второй свет. При необходимости колонны могут быть заменены на стеновые модули благодаря разъемным петлям (рис. 4.26).

Модуль перекрытия размером 9000×3000 мм, толщиной 400–900 мм представляет собой сварную объемную конструкцию заводского изготовления, состоящую из решетчатых ригелей в продольном и поперечном направлениях. Верхний пояс модуля снабжается монолитным железобетонным перекрытием

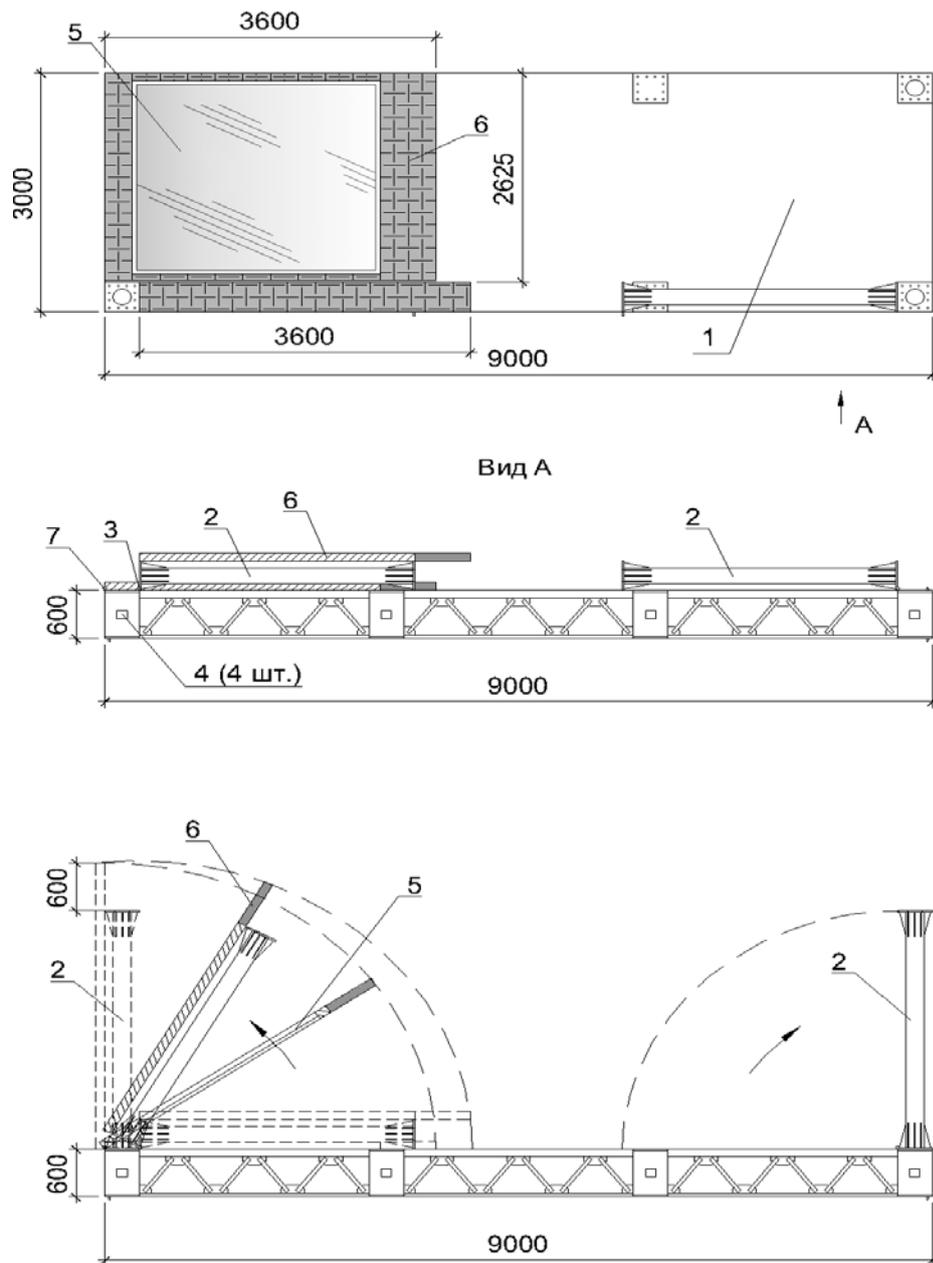


Рис. 4.26. Пример модуля-трансформера УВСС в транспортном и разложенном положениях:

1 – модуль перекрытия; 2 – колонна; 3 – разъемные петли трансформируемой колонны; 4 – дополнительные крепежи для наружных стеновых ограждений; 5 – двухкамерный стеклопакет; 6 – простенки с солнечными батареями; 7 – поворотные петли стенового ограждения

толщиной 100 мм, выполненным в производственных условиях с помощью несъемной опалубки из профилированного стального листа, включенного в совместную работу. На монолитном перекрытии выполняется чистовая отделка пола. По углам модуля расположены стандартизированные площадки для крепления колонн с установленными на них коническими направляющими, разъемными петлями и отверстиями под высокопрочные болты $12 \times \varnothing 26$ мм. Также на модуле имеются дополнительные стандартизированные площадки,

позволяющие крепить дополнительные (промежуточные) колонны и соединять модули в продольном направлении. Каждый модуль снабжен только одной парой колонн. На боковых гранях модуля устанавливаются крепежи для наружных стеновых ограждений. В каждом модуле размещаются различные инженерные сети на этапе заводской сборки (рис. 4.27).

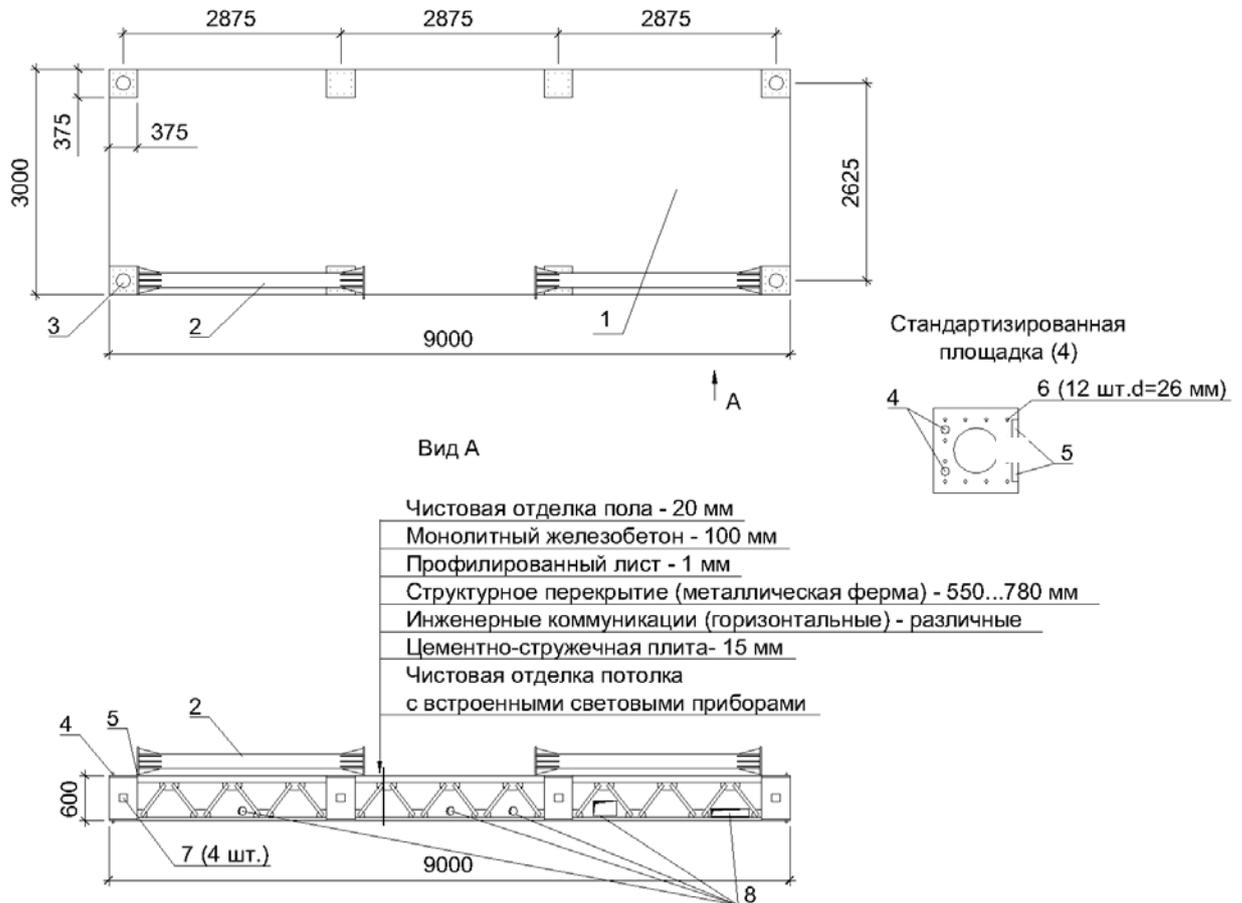


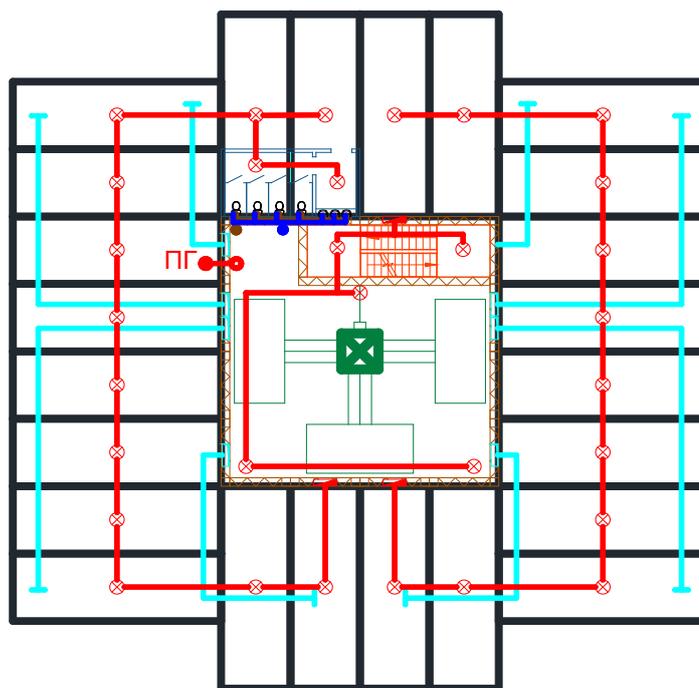
Рис. 4.27. Горизонтальный модуль универсальной высокотехнологичной строительной системы (УВСС) типового этажа 3000×9000×600 мм:

Вид А — в транспортном положении; 1 — горизонтальный модуль; 2 — колонны; 3 — стандартизированные площадки для крепления колонн; 4 — конические направляющие; 5 — разъемные петли; 6 — отверстия под болты; 7 — дополнительные крепежи для наружных стеновых ограждений; 8 — инженерные коммуникации

Модули производятся по каркасной технологии с использованием металлического профиля. Инженерные коммуникации заранее прокладываются в стенах. Для объединения проложенных коммуникаций предусмотрены стыковочные трубы.

Соединение сетей смежных блоков осуществляется при помощи стыков, разъемов и резьбовых соединений. Нижний пояс структурного перекрытия

выполнен из прямоугольного профиля либо уголка. В качестве отделки потолка используются негорючие цементно-стружечные плиты со встроенными осветительными приборами и декоративным покрытием. В потолке устроены лючки для доступа к крепежным болтам и соединениям инженерных коммуникаций (рис. 4.28).



Условные обозначения

	Водопровод хозяйственно-питьевой
	Канализация бытовая
	Электросеть 220 В
	Вентиляция приточно-вытяжная
	Светильник встроенный потолочный
	Щит осветительный
ПГ	Пожарный гидрант

Рис. 4.28. План инженерных коммуникаций модулей УВСС по этажу

Стоит также отметить, что стальные трубы, проводящие «арктическую» воду с низким содержанием рН и высокими показателями железа, служат в 2-3

раза меньше своего нормативного срока на Крайнем Севере, рекомендуется использование композитных пластиков.

Вертикальные модули стен представляют собой колонны, соединенные крестовыми связями и распоркой, образуя геометрически неизменяемый блок в плоскости крестовой связи. Для большей несущей способности модуля в вертикальном направлении колонны устанавливаются попарно. Жесткость стенового модуля из плоскости крестовой связи обеспечивается решетками, обрамляющими модуль по периметру. При необходимости в модуле могут быть устроены дверные или технологические проемы. Каждый модуль снабжается финишной отделкой из негорючих ЦСП толщиной 15–25 мм со стороны помещения и 15–20 мм со стороны шахты ядра жесткости (рис. 4.29, табл. 4.6).

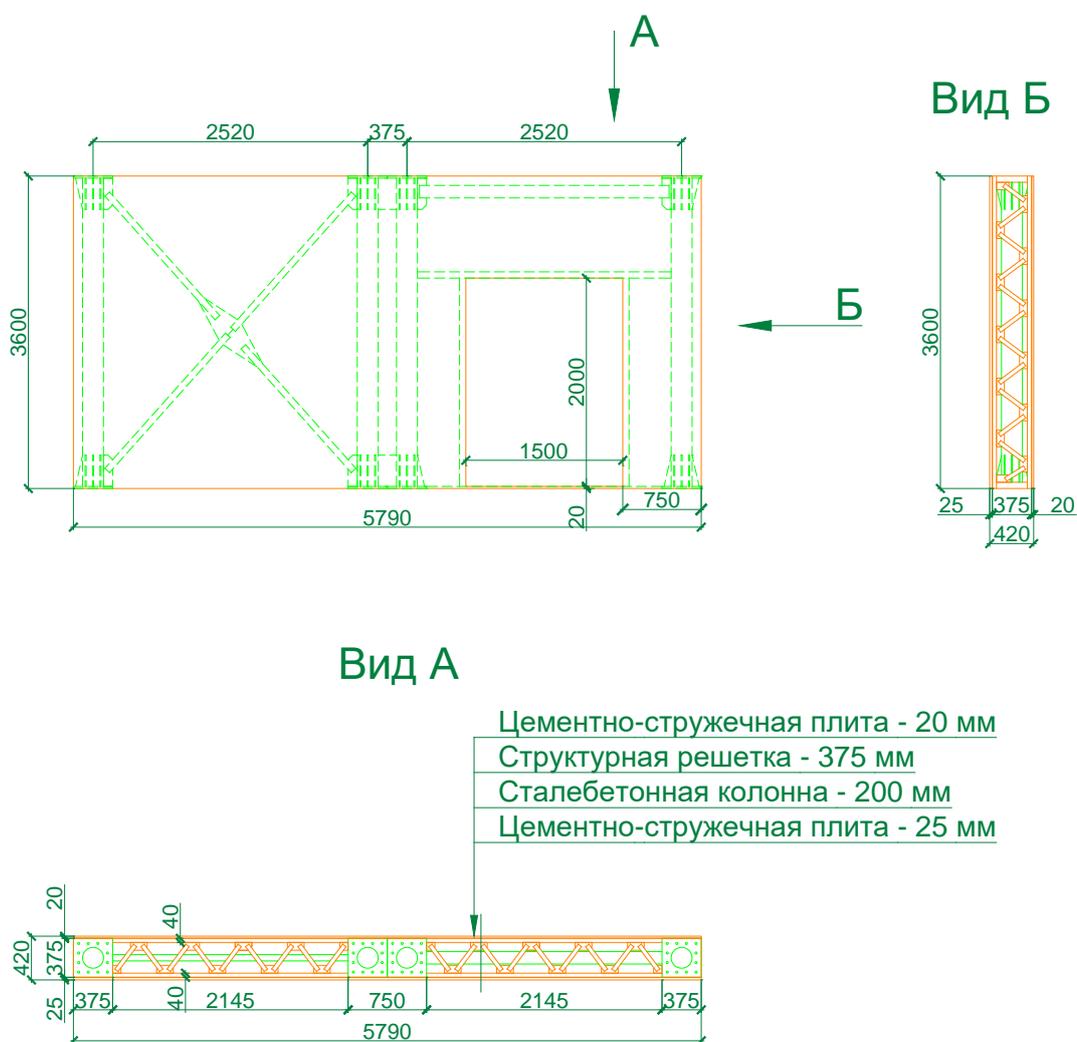


Рис. 4.29. Вертикальный модуль универсальной высокотехнологичной строительной системы (УВСС) типового этажа 5790×3600×420 мм

Стальные трансформируемые колонны выполнены из круглой трубы и в сложенном транспортном положении прикреплены к модулю перекрытия с помощью разъемных петель. В зависимости от этажности здания и приложенной нагрузки на перекрытие выбирается диаметр трубы. На торцах колонн приварены пластины с отверстиями для крепления к модулям болтами, гайками и шайбами. Для обеспечения большей жесткости несущих колонн на планках формируются ребра жесткости (фасонки). Полость самой колонны заполняют бетонной смесью в заводских условиях, в результате чего образуется сталебетон (рис. 4.30).

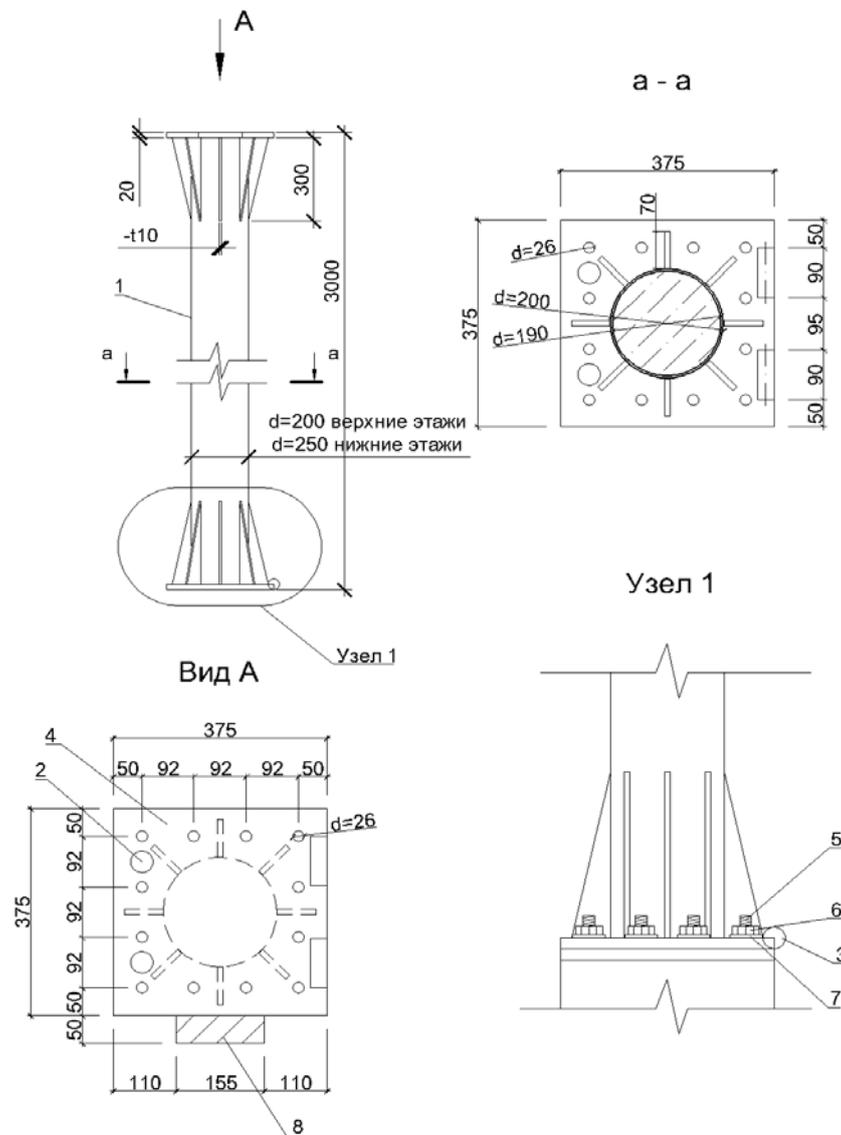


Рис. 4.30. Трансформируемая несущая сталежелезобетонная колонна:

1 — колонна; 2 — конические направляющие; 3 — разъемные петли; 4 — пластины с отверстиями; 5 — высокопрочные болты; 6 — гайки; 7 — шайбы; 8 — монтажная консоль

Параметры модулей строительной системы монтажа УВСС

Параметры	Горизонтальный модуль	Вертикальный модуль
Вес модуля УВСС, т	7,50	3,00
Геометрические размеры в проектном положении, мм		
длина	9000	5790
ширина	3000	425
высота	500...900	3600
Геометрические размеры в транспортном положении, мм		
длина	9000	5790
ширина	3000	425
высота	975	3600
Расстояние между колоннами, мм	наибольшее: 8250, наименьшее: 2250	2250
Объем при транспортировке, м ³	26,76	8,86
Площадь при транспортировке, м ²	27,00	20,84
Строительный объем блока, м ³	81,00	-
Изменение строительного объема после трансформации	3,02	-
Увеличение строительного объема при двухэтажных колоннах, м ³	178,20	-
Количество площадок крепления на одном модуле, шт.	4	8
Дополнительные крепления	4	нет
Обеспечение жесткости	горизонтальный монолитный диск перекрытия	жесткость колонн, крестовая связь, структурная решетка
Время монтажа одного блока, ч	0,2	0,3
Количество монтажников, чел.	2	2

В вариантном исполнении ядро сталебетонных колонн может быть выполнено: из бетона, железобетона и железобетона с двойной трубой в зависимости от этажности и нагрузки на перекрытие (рис. 4.31).

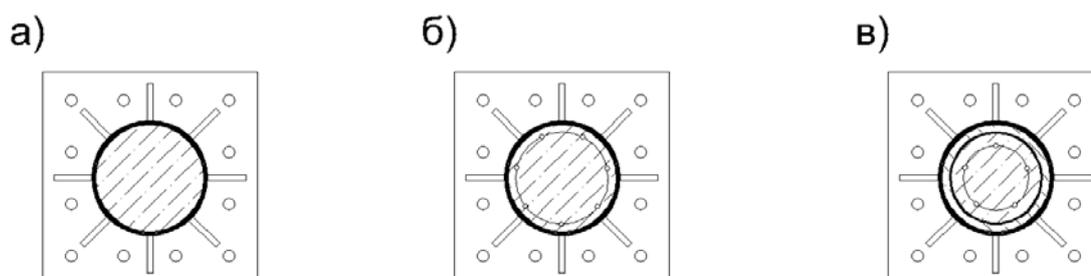


Рис. 4.31. Вариантное исполнение колонн: *а* — сталебетон; *б* — сталебетон с дополнительной арматурой; *в* — сталебетон с двойной трубой и арматурой

Одна колонна используется для монтажа двух соседних модулей перекрытия — это осуществимо при помощи дополнительной монтажной консоли, устанавливаемой на оголовке колонны в заводских условиях. Монтажная консоль служит для временного опирания соседнего модуля на период монтажа. Установка колонны в проектное положение осуществляется поворотом на петле (рис. 4.32).

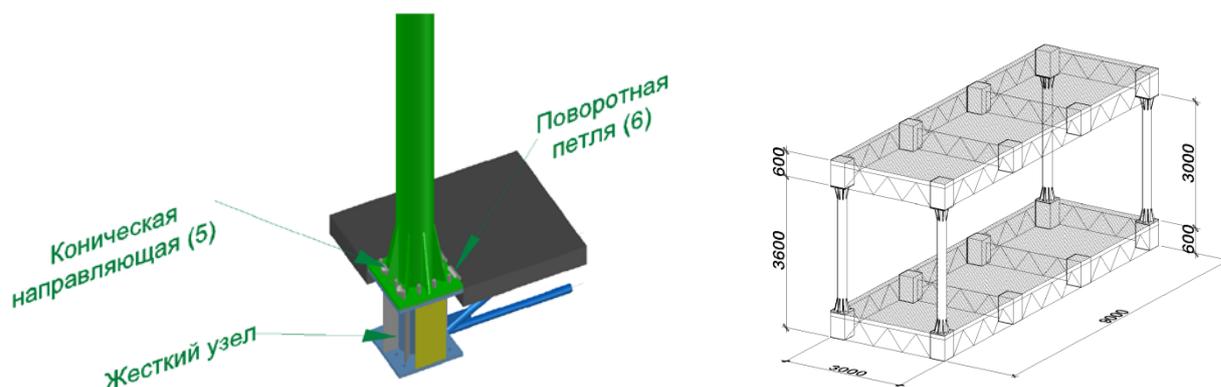


Рис. 4.32. Установка колонн модуля УВСС поворотом петли

В здании основным элементом жесткости, воспринимающим горизонтальные усилия и вертикальную нагрузку, является ядро жесткости.

Пространственное ядро жесткости размером 11160×11160 мм выполнено из жестких стеновых модулей. Ядро вмещает в себя мачтовый монтажный подъемник, вертикальные инженерные коммуникации, сборные сталебетонные лестницы. Основная жесткость здания придается сборными структурными ядрами жесткости и жесткими дисками перекрытий.

Сталебетонные лестницы, расположенные в ядрах жесткости, ограждены стенами, образуя незадымляемые лестничные клетки. Ширина лестничных маршей 1000 мм с промежуточной площадкой. Балки лестничных площадок и косоуры выполнены из прямоугольного профиля размером 150×200 мм, заполнены монолитным железобетоном изнутри. Ступени сварены из уголка 40×40 в «коробочку» и заполняются монолитным бетоном в заводских условиях. Лестничные площадки также заполняются бетоном (рис. 4.33).

Фасады здания оформлены навесными витражными системами из двухкамерного стеклопакета. В простенки, закрывающие колонны, углы здания и перекрытия вмонтированы солнечные панели, повышающие общую энергоэффективность готового здания.

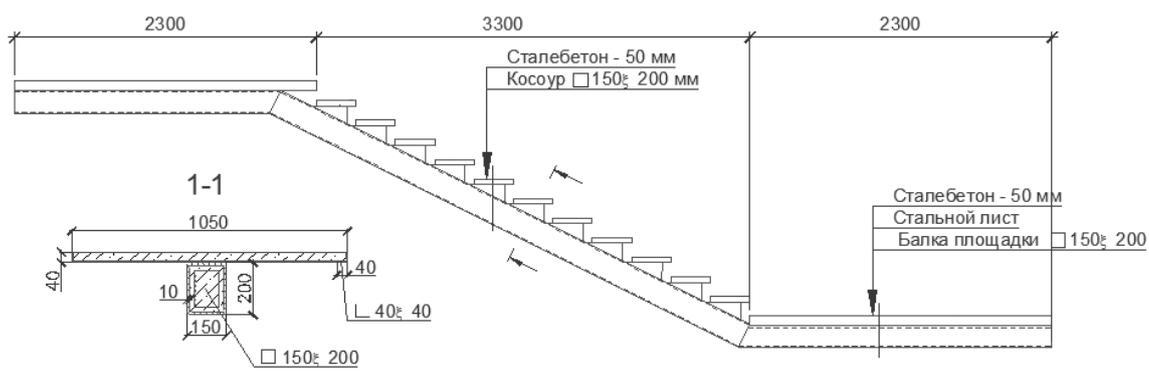


Рис. 4.33. Типовая сталежелезобетонная лестница УВСС

Для монтажа объемных модулей используют роботизированные мачтовые подъемники. Мачтовые монтажные роботы размещаются в ядрах жесткости и крепятся к ним в уровне каждого этажа тязами из круглой трубы. Мачты подъемников собираются из отдельных секций высотой в этаж (табл. 4.7). Подъемники имеют возможность самонаращивания путем установки каждой новой секции поверх предыдущей. На неподвижные мачты устанавливают универсальные передвижные тележки с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения. На тележки навешиваются телескопические грузоподъемные площадки с возможностью поворота на 90° в горизонтальной плоскости. На площадки крепятся манипуляторы — жесткие траверсы на период монтажа или пассажирские лифтовые кабины на период эксплуатации здания. Вертикальное перемещение тележек по мачте осуществляется по зубчатой рейке при помощи электродвигателя. Телескопическое выдвижение площадки — электрический сервопривод. Все движения тележки и манипулятора управляются при помощи ПО. На этапе строительства здания подъемники снабжаются грузозахватными манипуляторами, позволяющими монтировать блоки здания и доставлять грузы на монтажный горизонт. При непрерывной подачи модулей в монтажную зону процесс из циклического превращается в конвейерный (рис. 4.34).

Монтаж здания осуществляется на заранее подготовленный фундамент. Все здание разбивают на захваты так же, как в случае классического монтажа. На подготовительном этапе строительства тщательно выверяют уровень на

первом этаже здания и устанавливают отметки при помощи роботизированного тахеометра. На этом этапе очень важно тщательно вывести все отметки на один уровень, так как малейшая неточность на первом этаже может повлиять на весь монтаж в дальнейшем. На последующие этажи передаются только основные отметки отклонений, заносимые в электронную базу данных для автоматической коррекции движений (действий) робота. Так как блоки изготавливаются на заводе с малыми допусками по отклонениям при точном автоматизированном монтаже, корректировки практически не требуются.

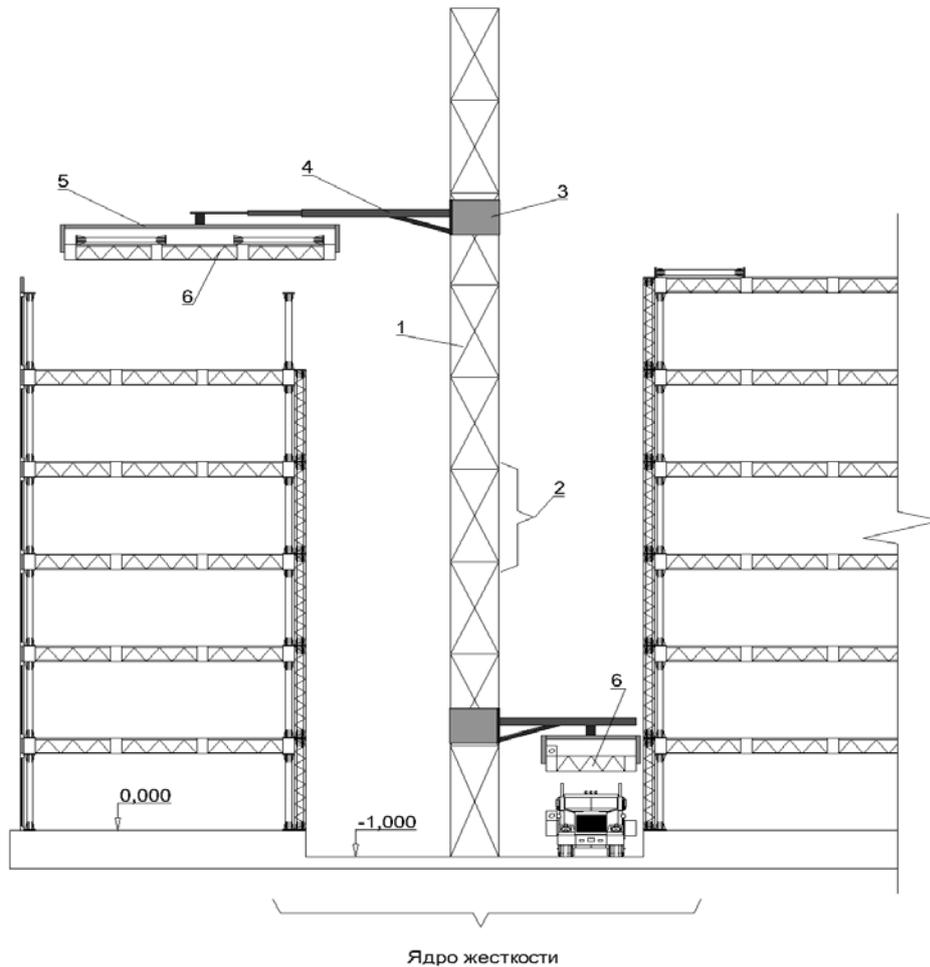


Рис. 4.34. Роботизированный подъемник с телескопической площадкой: 1 – мачтовый монтажный робот; 2 – секция мачты; 3 – передвижная тележка; 4 – телескопическая платформа; 5 – захват; 6 – модуль УВСС.

Укрупненная конструкция модуля УВСС может доставляться в сложенном виде на специализированном транспорте. При разгрузке с транспорта краном или монтажным роботом с помощью распределительной траверсы шарнирно-сочлененная конструкция раскрывается и принимает форму объемно-

пространственного блока, либо элементы трансформируются уже после установки модуля в проектное положение.

Для доставки модулей на первом этаже организованы сквозные проезды через ядра жесткости высотой 6600 мм с пониженным полом (рис. 4.35).

Таблица 4.7

Параметры монтажного робота

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	30
Скорость подъема, м/с	2,0
Вылет, м	15,0
Угол поворота платформы, град	± 90
Угол поворота жесткой траверсы, град	360
Высота секции подъемника, м	3,60

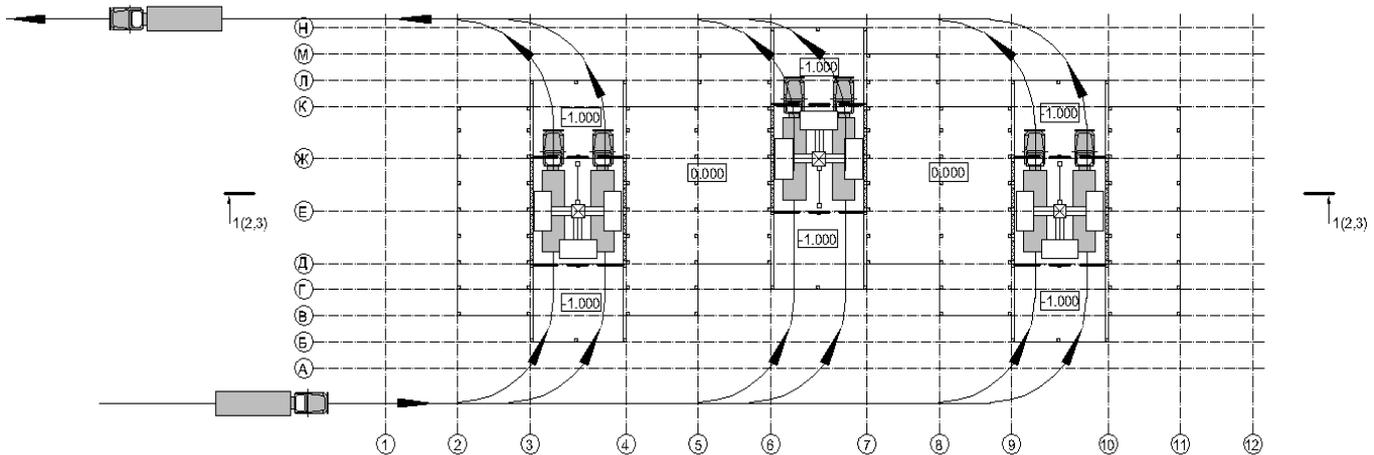


Рис. 4.35. Схема движения транспортных средств на площадке

Роботизированный монтаж типовых этажей здания разделён на следующие этапы:

- 1) доставка готовых модулей со сложенными колоннами на объект;
- 2) разгрузка;
- 3) подача конструкций на автоматизированный подъемник;
- 4) вертикальная транспортировка блока до монтажного горизонта;
- 5) предварительное наведение объёмного блока по месту монтажа;
- 6) постоянное закрепление блока в проектное положение;
- 7) соединение инженерных коммуникаций;

8) навешивание стеновых ограждений на каркас здания;

Монтаж первого этажа осуществляют следующим образом: в первую очередь производят монтаж опорной секции мачтового стрелового подъемника в заглубленной части фундамента будущего ядра жесткости. Монтаж первой секции можно производить и при помощи автомобильных стреловых кранов. На нее сразу навешивают передвижную тележку, на которую навешивают телескопическую выдвижную монтажную платформу. Затем поднимают тележку по мачте при помощи лебедки для удобства навешивания грузозахватного приспособления – жесткой траверсы. Далее монтируют типовую секцию подъемника, подводят электрические кабели, необходимые для функционирования подъемника. Смонтированный подъемник, готовый к работе, обстраивают стеновыми панелями ядра жесткости. Со стороны телескопических платформ предусматривают монтажные проемы для возможности загрузки блоков. В связи с отсутствием колонн в монтажном проеме для опирания модулей УВСС второго этажа предусмотрен стальной ригель, представляющий собой ферму с параллельными поясами высотой 1500 мм. Размеры монтажного проема 11160×5200 мм. Его снабжают подъемными воротами. Далее монтируют сетку двухуровневых колонн на заранее выверенный нулевой уровень, необходимых для опирания модулей второго и последующих этажей при помощи автомобильного стрелового крана. Параллельно с установкой колонн добавляют несколько секций мачтового подъемника. Далее монтируют различные системы безопасности, такие как автоматические регулировщики движения, знаки приоритета движения (для грузовиков) и различные подъемные ограждения, исключающие проникновение людей в разгрузочную и монтажную зоны.

Объемные блоки заводского изготовления доставляют на строительную площадку трейлерами по два отправочных комплекта блоков на одном грузовике со сложенными колоннами. Дополнительно в отправочный комплект к объёмному блоку включают крепёжные элементы стеновых ограждений. Блоки укладывают на грузовую площадку трейлера через деревянные подкладки. Доставляют блоки к месту разгрузки.

Для снижения затрат на строительство и уменьшения размеров строительной площадки при таком способе монтажа складирование строительных конструкций не предусмотрено. Монтаж ведется непосредственно с «колес». Грузовик следует в разгрузочную зону, расположенную непосредственно на нулевой отметке здания. Разрешение на въезд в разгрузочную зону и очередность грузовиков регулируют автоматическим светофором, согласованным с роботизированным мачтовым подъемником. При наличии грузовика в зоне действия специальной радиометки и при готовности подъемника принимать конструкции загорается зеленый сигнал на светофоре и автоматически открываются ворота, пропуская грузовик на площадку разгрузки.

Прицеп грузовика останавливается в ядре жесткости. Тележка уже опущена к трейлеру. Телескопическая платформа опускается к модулю на грузовике и при помощи жесткого захвата захватывает модуль с прицепа. Далее блок переносится вертикально до монтажного горизонта.

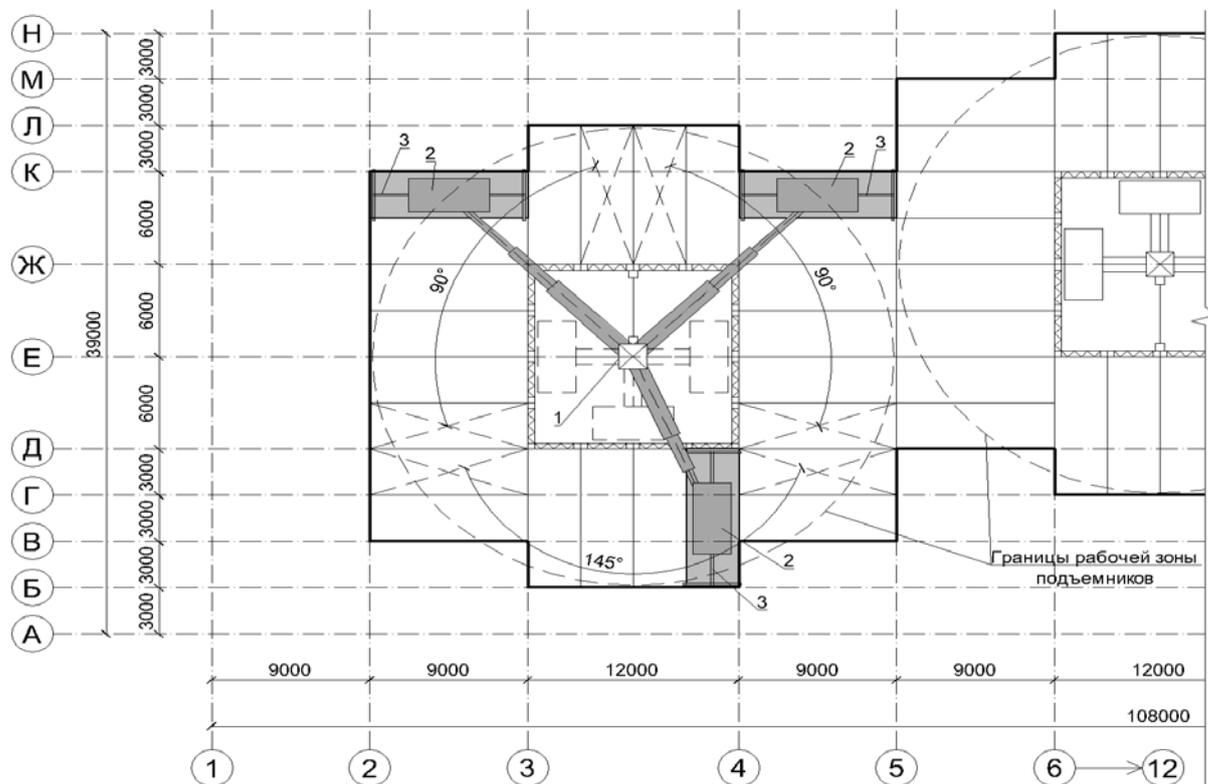


Рис. 4.36. Пространственная ориентация модуля УВСС

1 – мачтовый монтажный робот; 2 – телескопическая грузоподъемная площадка; 3 – манипулятор – траверса

По достижении передвижной монтажной платформы монтажного горизонта с учетом безопасного зазора для маневрирования элемента у платформы выдвигают телескопическую стрелу. На полностью выдвинутой платформе производят пространственную ориентацию блока поворотом жесткой траверсы на 90° (рис. 4.36).

Безопасную эксплуатацию монтажного робота при подъеме и перемещении крупногабаритных модулей УВСС должны обеспечивать ограничители и указатели поворота телескопической монтажной платформы, находящиеся вне монтажной платформы или на ней.

Положение телескопической платформы на монтажном горизонте следует обеспечивать с помощью привязки робота к заданной в иППР точке на строительной площадке и ограничителей зоны работы телескопической платформы устройствами, размещаемыми на монтажном роботе или вне его. К ним относятся камеры технического зрения, ограждения, вешки, указатели, реперы и т. п.

Для предварительного наведения объемного блока используют «техническое зрение». Процесс наведения ведут путем маневрирования всех подвижных механизмов подъемника. Все телескопические платформы имеют строго разграниченные рабочие зоны. Для ускорения постановки блока в проектное положение (на колонны) предусмотрены конические направляющие.

После установки объемного блока на конические направляющие захваты жесткой траверсы автоматически отсоединяются, и телескопическая платформа возвращается в исходное положение для погрузки следующего блока (рис. 4.37, 4.38). Первыми монтируются наиболее удаленные модули. Монтаж стеновых блоков ядра жесткости ведется с запозданием на один этаж.

Постоянное закрепление блоков на колоннах осуществляется при помощи высокопрочных болтов, гаек и шайб, закручивание болтов — при помощи ручных гайковертов. Гайковерт может быть снабжен разработанной автором высокоэффективной насадкой, позволяющей увеличить скорость закручивания гаек и КПД в 36–38 раз.

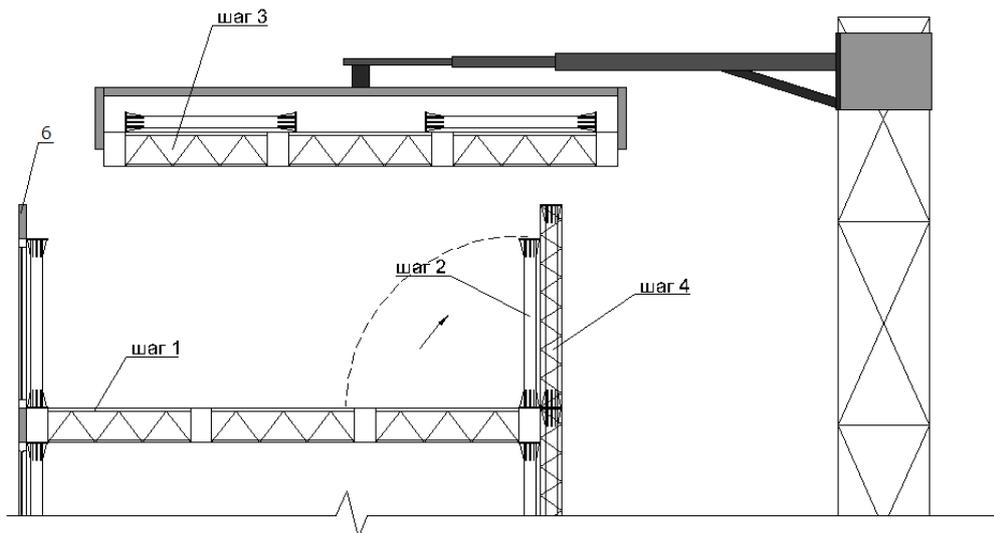
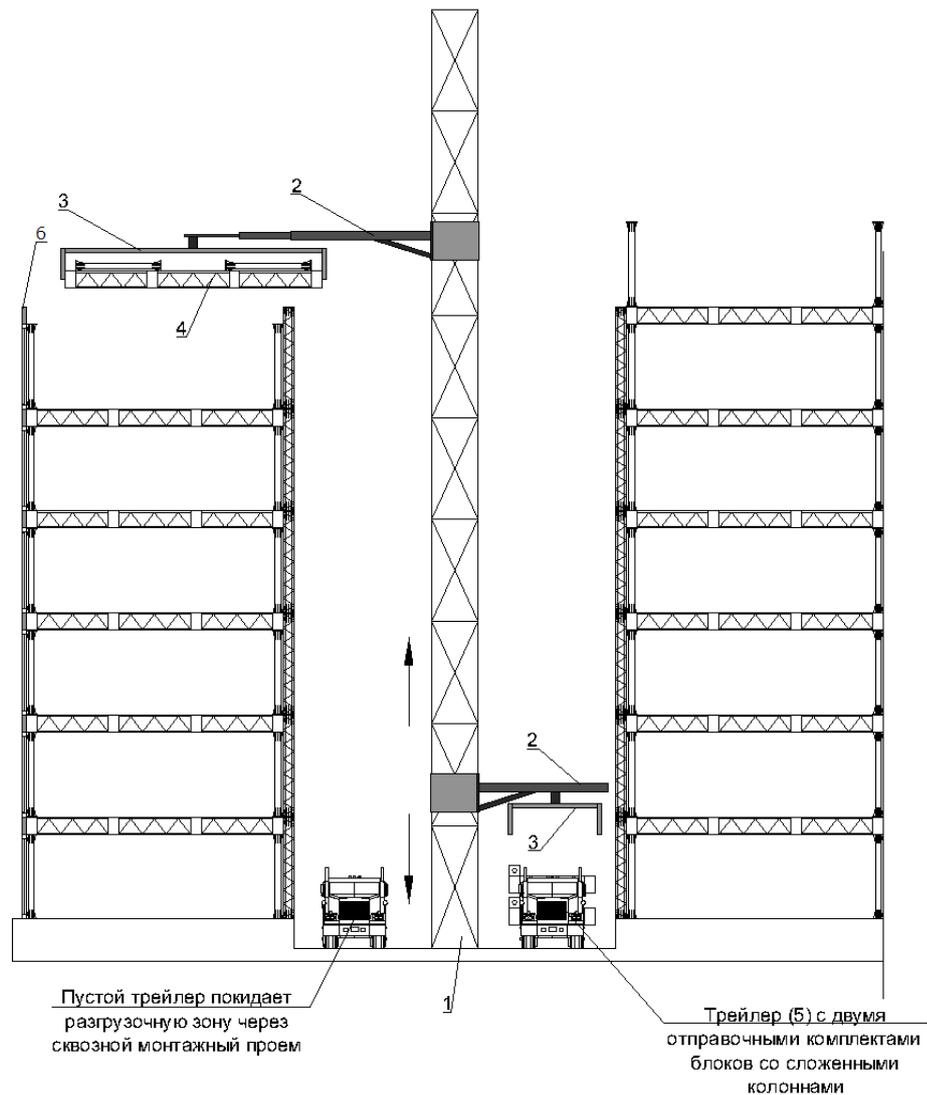


Рис. 4.37. Вариант с использованием жесткого захвата РМТП

1 – мачтовый монтажный робот; *2* – телескопическая грузоподъемная площадка; *3* – манипулятор – траверса; *4* – модуль перекрытия; *5* – трейлер; *6* – витражная система; шаг *1* – установка модуля перекрытия; шаг *2* – раскрытие трансформируемых колонн; шаг *3* – установка последующего блока; шаг *4* – установка стенового модуля ядра жесткости

Серьезной проблемой на Крайнем Севере являются холодные ветра. Поскольку скорость ветра там довольно высока, здания зачастую строятся замкнутым контуром и с узкими разрывами между собой. Кроме того, крыши и фасады зданий отличаются простыми профилями и ровными линиями, а так делается для того, чтобы хоть как-то избежать снежных заносов и, конечно же, не стоит забывать о большей толщине стен, по сравнению с традиционными домами в европейской части страны, а также большем количестве стеклопакетов в окнах, применяемых в северном строительстве. Разработанная технология ВМ с возведением здания изнутри жестко закрепленным монтажным роботом и захватом, обеспечивает всепогодный монтаж по предложенному способу монтажа систем УВСС.

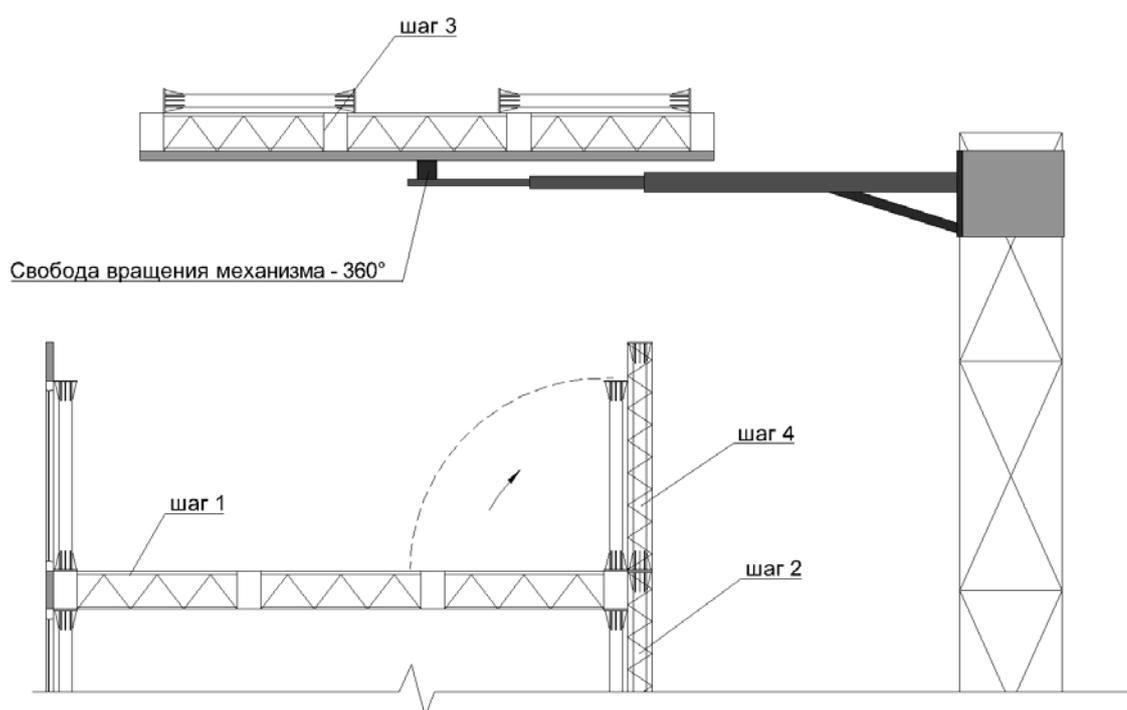


Рис. 4.38. Вариант с использованием телескопической монтажной платформы
 шаг 1 – установка модуля перекрытия; шаг 2 – раскрытие трансформируемых колонн; шаг 3 – установка последующего блока; шаг 4 – установка стенового модуля ядра жесткости

Для уменьшения количества колонн и экономии материалов для двух смежных блоков используют одну колонну, снабженную монтажной консолью,

которая служит для временного крепления монтируемых блоков. Смежные блоки крепятся друг к другу при помощи болтовых соединений.

Параллельно с монтажом перекрытий ведется раскрытие колонн вручную при помощи гидравлического подъемника (рис. 4.39).

После завершения монтажа всех блоков на одном монтажном горизонте малогабаритное оборудование перемещают на следующий этаж при помощи телескопических площадок мачтового подъемника в автоматическом режиме.

Объемные модули повышенной заводской готовности снабжают инженерными сетями. Монтажники, находясь на смонтированном этаже с монтажных подмостей соединяют различные инженерные коммуникации через лючки в потолке.

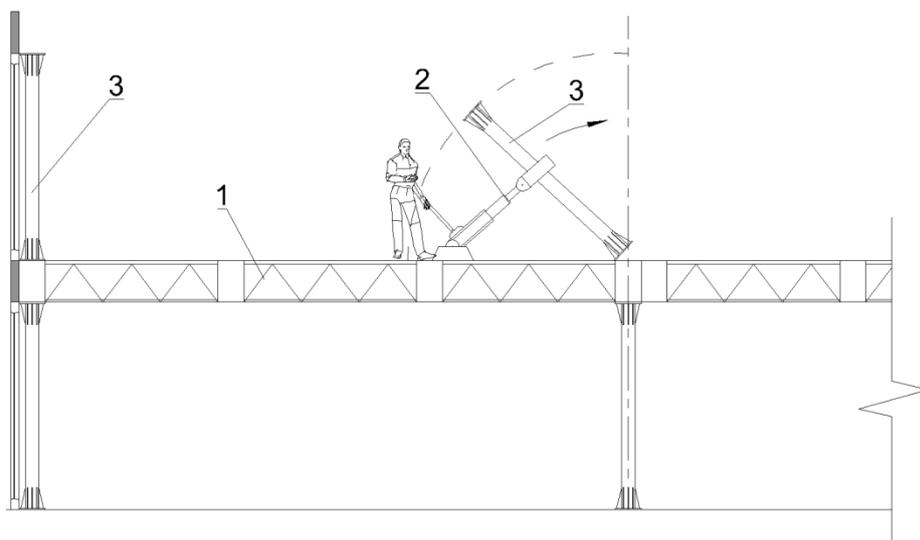


Рис. 4.39. Установка колонн в проектное положение при помощи ручного гидравлического подъемника:

1 – модуль перекрытия; 2 – гидравлический подъемник; 3 – раскрытие трансформируемых колонн

Все гибкие кабели соединяют при помощи многоштырьковых влагостойких разъемов типа «male-female» (рис. 4.40, *a*), позволяющих сократить количество соединений. Цвет разъемов, их строгое расположение в определенных местах модуля и индивидуальная несимметричная форма позволяют исключить любые ошибки при соединении. Защелки на разъемах исключают их внезапное рассоединение.

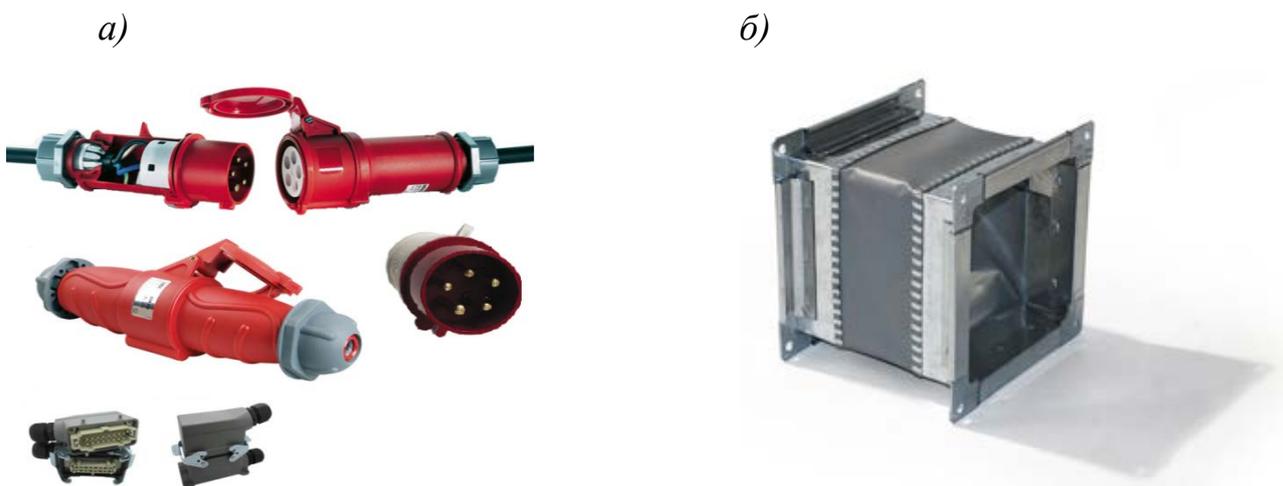


Рис. 4.40. Многоштырьковые разъемы: *а* — для соединения гибких кабелей; *б* — гибкая вставка в соединении вентиляционных коробов

Водопровод из гибких труб расположен в вертикальных модулях ядра жесткости, который присоединяют к сантехническим приборам. Канализацию в данном случае располагают в вертикальном модуле, к которому примыкают все сантехнические помещения. Здание оборудовано центральной системой кондиционирования и вентиляции воздуха. Вентиляционные короба соединяются через гибкую вставку (рис. 4.40, *б*).

Вертикальные коммуникации, расположенные в вертикальном модуле ядра жесткости, сращиваются аналогично горизонтальным. В ядре жесткости размещаются аккумуляторы, накапливающие энергию от солнечных батарей.

Фасады здания оформлены навесными витражными системами из стеклопакетов (рис. 4.41). В нижней и верхней частях витраж крепится к модулю перекрытия крепежом замкового типа с последующим закреплением болтами [19, 94, 103]. Модули покрытия аналогичны модулям перекрытия. Монтаж пристроенных помещений осуществляется в последнюю очередь для удобства подачи строительных конструкций.

Сталобетонные лестницы монтируются внутри ядра при помощи роботизированного мачтового подъемника с жесткими захватами. Лестничные клетки имеют собственные стены и систему дымоудаления. ОпираНИЕ лестничных площадок происходит на стены лестничной клетки. Для

ограждения лестничного марша служат перила высотой 1,0 м. Эвакуационные лестницы без естественного освещения требуют устройства тамбур-шлюзов.

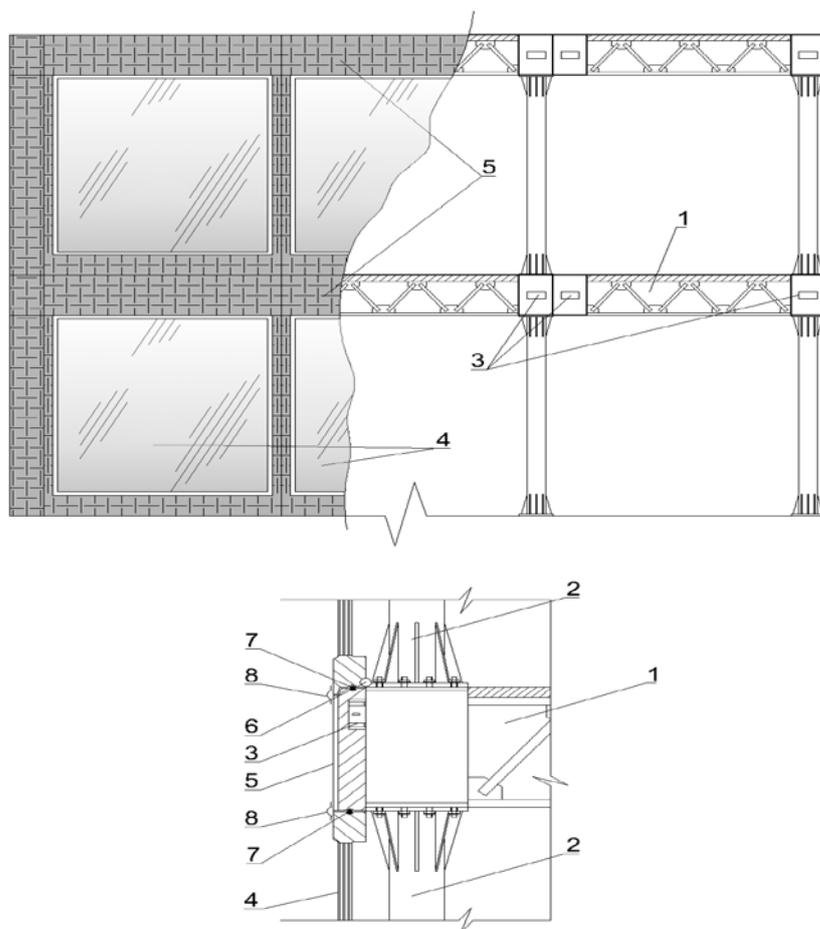


Рис. 4.41. Пример крепления фасадной панели

1—модуль перекрытия; 2—колонна; 3—дополнительные крепежи для наружных стеновых ограждений; 4—двухкамерный стеклопакет; 5—простенки с солнечными батареями; 6 — поворотные петли стенового ограждения; 7 —уплотнитель стыка; 8—нащельник

По завершении монтажа всех строительных конструкций роботизированные мачтовые подъемники переупрофилируются. С подъемника снимаются дополнительные секции для устройства покрытия ядра жесткости. На телескопические площадки устанавливаются временные инвентарные подмости, плиты покрытия укладываются на подмости и подаются подъемником для их монтажа. После завершения монтажа кровли телескопические площадки перемещаются на первый этаж для демонтажа дорогостоящего навесного оборудования – жестких траверс и временных инвентарных подмостей. На освободившихся платформах устанавливаются грузо-пассажирские лифтовые кабины.

Таблица 4.8

Пооперационный график работ высокотехнологичного монтажа систем УВСС

Операции	Продолжительность процесса, мин.											Т, мин	Q, чел.-мин	П, ма.-мин	Описание операций
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20					
Выдвижение РТМП для захвата модуля	■											0,4	-	2,6	РТМП с помощью «технического зрения» и датчиков ориентирования находит модуль УВСС
Захват модуля УВСС с транспорта	■											0,6	-		РТМП жестко захватывает модуль УВСС сверху
Подъем модуля УВСС на монтажный горизонт	■											1,6	-		РТМП передвигается с модулем УВСС на 10 этаж возводимого полносборного здания
Выдвижение роботизированной телескопической монтажной платформы (РТМП) к месту установки модуля УВСС		■										0,4	-	2,1	РТМП с помощью «технического зрения» и датчиков ориентирования выдвигается к месту установки модуля УВСС
Высокоточное наведение модуля УВСС		■										0,6	-		РТМП наводится в проектное положение с точностью до 0,1-0,3 мм
Установка модуля УВСС в проектное положение			■									1,6	-		РТМП опускает модуль на колонны нижележащего модуля УВСС по направляющим
Верхнее закрепление модулей УВСС				■								7,55	7,55	-	Болтовое соединение модулей УВСС высокопрочными болтами с помощью гайковертов, 1 монтажник 3-4 разряда
Освобождение захвата РТМП								■				0,4	-	2,6	РТМП раскрепляет модуль УВСС
Задвижка телескопической стрелы РТМП								■				0,6	-		РТМП возвращает стрелу в исходное положение
Спуск РТМП за очередным модулем								■				1,6	-		РТМП спускается за модулем УВСС
Заделка стыков между модулями УВСС и элементами финишной отделки									■			5,1	5,1	-	Герметизация 24 м.п. стыков модуля УВСС, 1 монтажник 3-4 разряда
Замковое соединение инженерных сетей соседних модулей УВСС									■			4,3	4,3	-	Быстрое соединение стыков инженерных внутр. сетей модулей УВСС, 1 монтажник 3-4 разряда
Трансформирование несущих колонн и ограждающих блоков модуля УВСС									■			6,8	56,4	-	Подъем колонн и стеклопакетов УВСС в проектное положение, 4 монтажника 3-4 разряда
									■			7,3			
Нижнее закрепление модулей УВСС									■			7,55	7,55	-	Болтовое соединение модулей УВСС с помощью гайковертов, 1 монтажник 3-4 разряда

Монтажные проемы первого этажа закладываются облегченными бетонными блоками и производится финишная отделка. В готовом здании пониженные места (сквозные проезды) выводятся на нулевую отметку. После завершения строительства осуществляется благоустройство территории.

Предложенные решения монтажа здания защищены патентами на изобретение РФ №2399912 от 13.04.2016 г. «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков» и №2615025 «Компьютерная система управления строительным комплексом» от 21.03.16 г. [31, 73].

4.6. Структурно-функциональная схема роботизации скоростного монтажа полносборных зданий из модулей УВСС

Внедрение интенсивных технологий на базе передовой техники, роботов, прогрессивных технологических процессов и гибких технологий производства монтажных работ позволяет создавать принципиально новые ресурсо-энергосберегающие, малооперационные эффективные технологии.

Наиболее трудоемким является процесс предварительной установки и выверки предлагаемых модулей. Для решения этой проблемы автор предлагает запатентованные решения комплексной автоматизации и роботизации процесса возведения полносборных зданий. К сожалению, разработанные ранее решения не отвечают требованиям по точности, грузоподъемности и технологическим особенностям возведения зданий.

Разработанная система автоматизированного управления технологическим процессом монтажа зданий из объемных высокотехнологичных модулей представляет собой совокупность решений технологического процесса монтажа объемных модулей.

При монтаже сборных зданий монтажный кран применяется в операциях транспортирования конструкции к месту монтажа (более детально описано в следующей главе), а также предварительной установки и выверки модуля.

Конструкции современных кранов предназначены для выполнения подъемно-транспортных операций и не приспособлены выполнять операции выверки и установки модулей в проектное положение, обычно это делается

звеном монтажников вручную. Данные недостатки подтверждены исследованиями ряда ученых, в том числе из МГСУ.

Структурно-функциональная схема операций роботизированного монтажа модулей и управления системой «кран–манипулятор–монтажная платформа» показана на рис. 4.42.

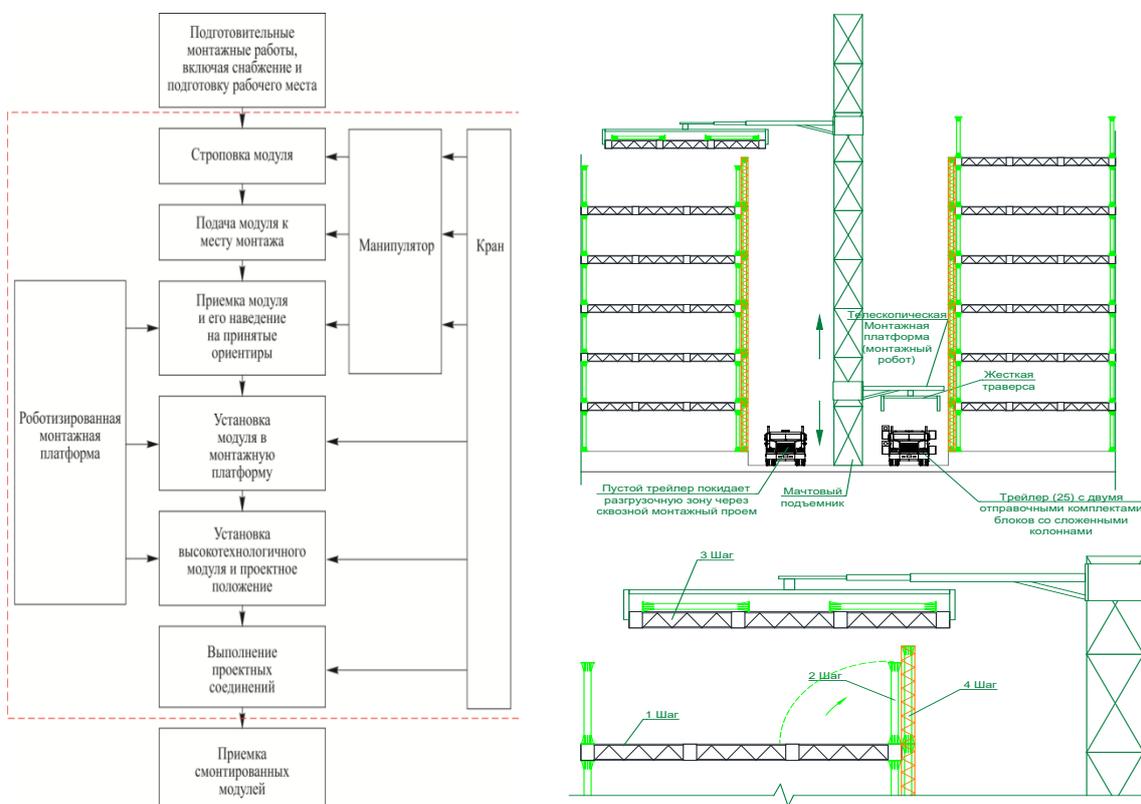


Рис. 4.42. Структурно-функциональная схема автоматизации (роботизации) монтажа полносборных зданий

Предлагаемая автором система автоматизации и роботизации технологического процесса монтажа сборных модульных зданий устраняет указанные недостатки, схема которой наглядно представлена на рис. 4.43 [162].

Транс-робот на базе крана обеспечивает в автоматизированном режиме поточную подачу модулей к месту монтажа. Гидравлическая монтажная платформа (или жесткая траверса) выполняет выверку и установку модуля в проектное положение. Монтажная платформа и кран-манипулятор оснащаются приборами технического зрения, обеспечивающие ориентацию модуля в пространстве монтажного горизонта и строительной площадки.

Сравнение текущей обстановки на соответствие штатным состояниям обеспечивает три исхода дальнейшего функционирования системы: работоспособна, неработоспособна и переход на ручное управление системой.

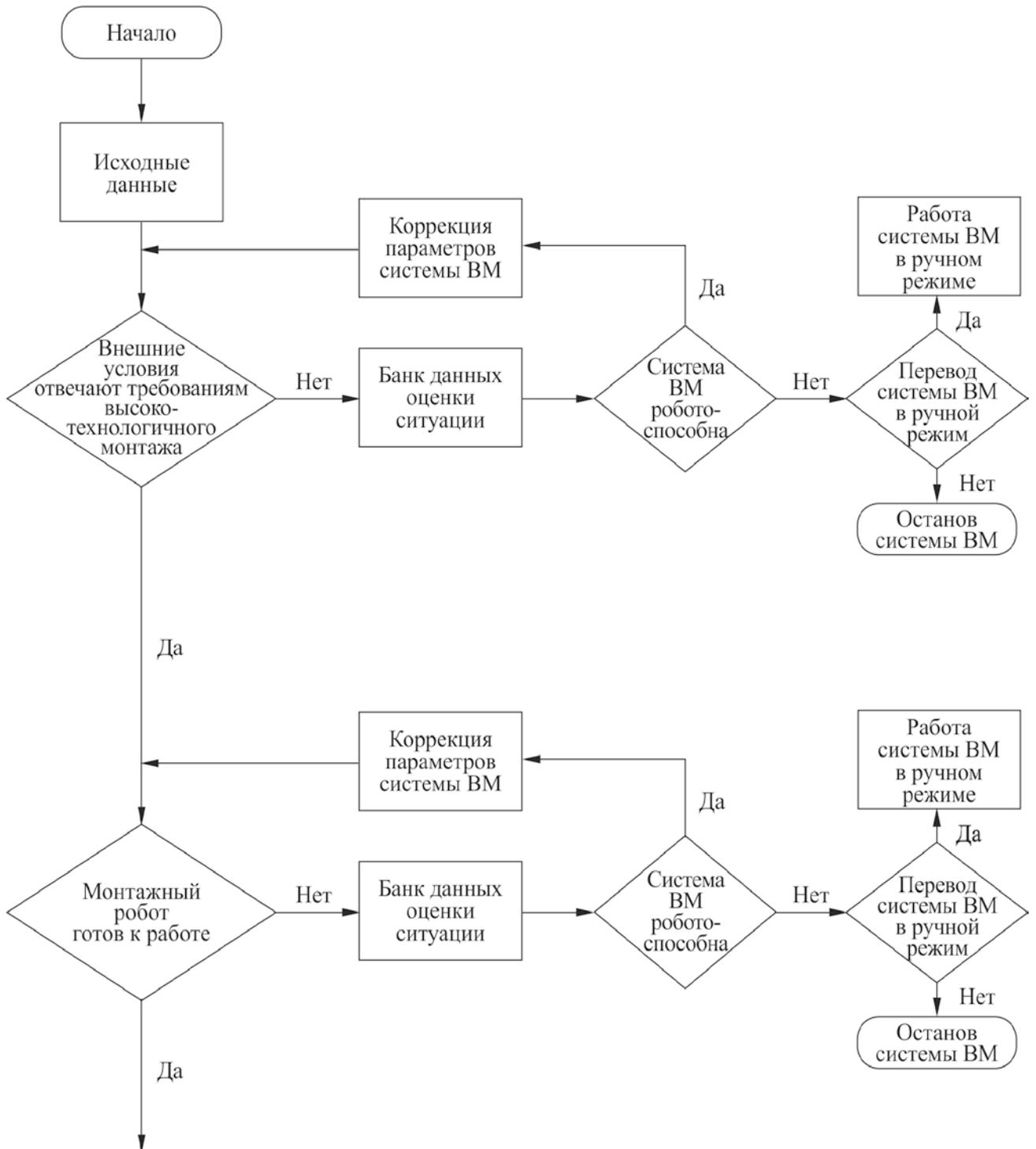


Рис. 4.43, начало. Блок-схема пооперационной работы автоматизированной (роботизированной) системы монтажа полносборных зданий

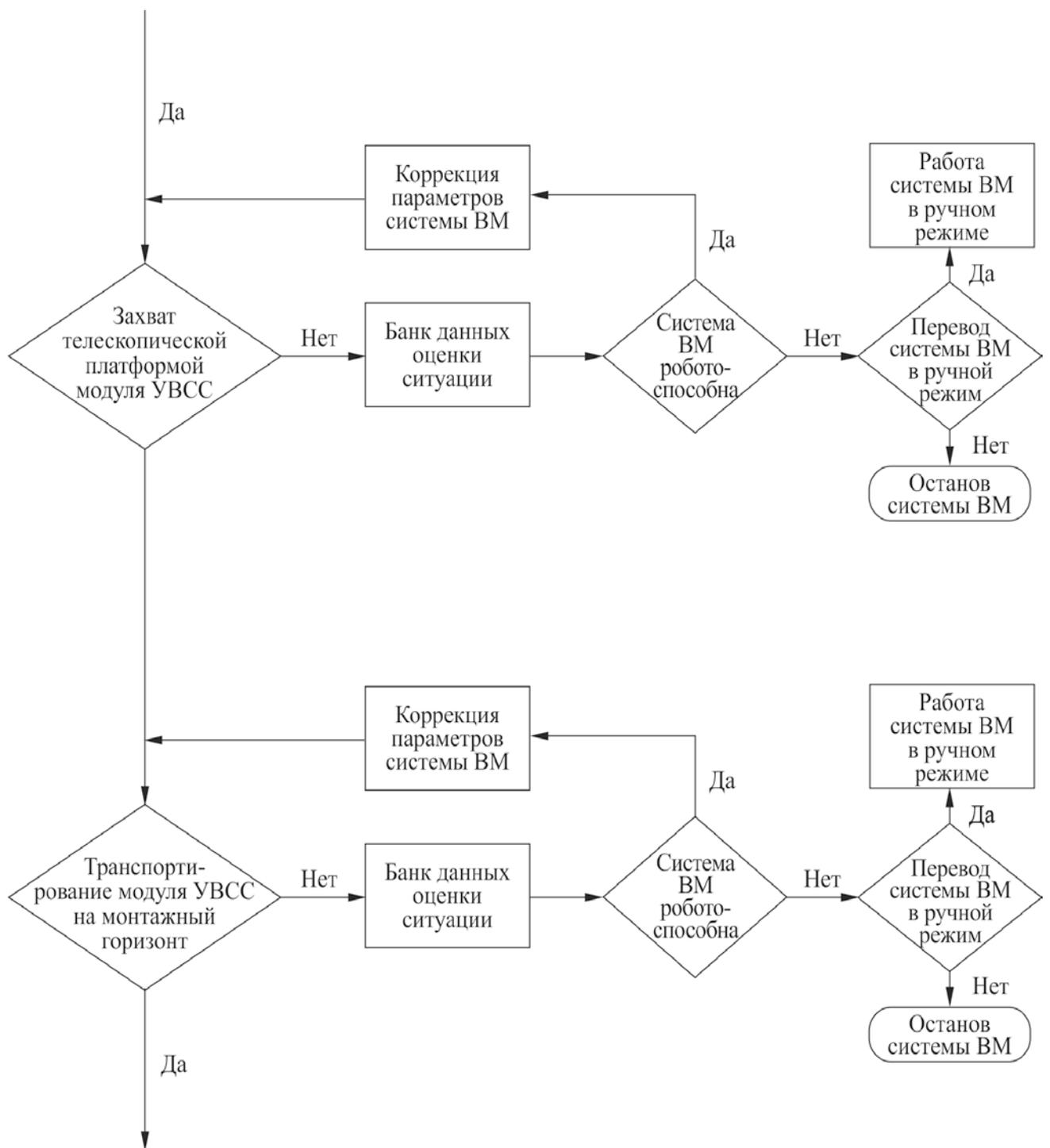


Рис. 4.43, продолжение. Блок-схема пооперационной работы автоматизированной (роботизированной) системы монтажа полносборных зданий

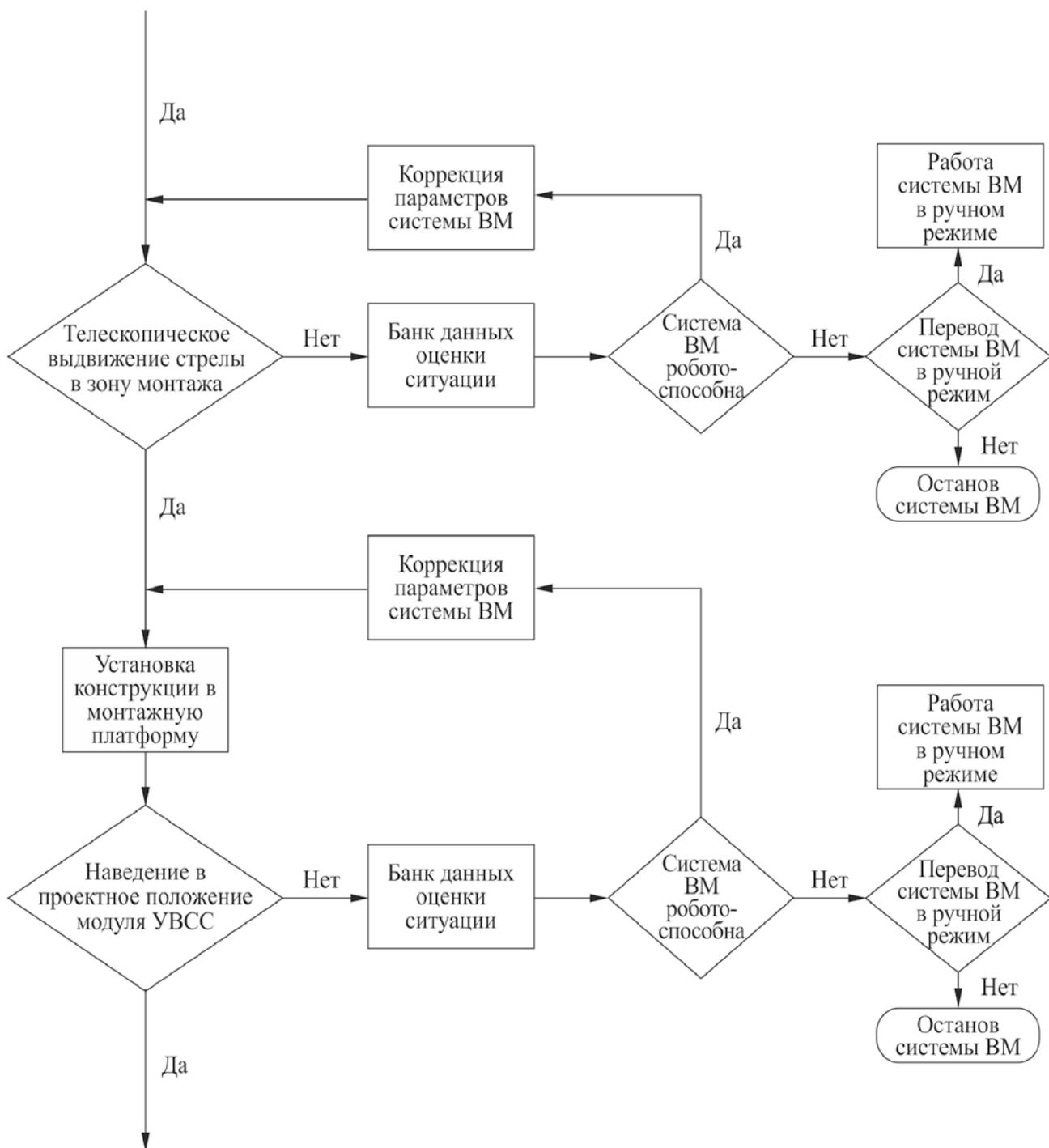


Рис. 4.43, продолжение. Блок-схема пооперационной работы автоматизированной (роботизированной) системы монтажа полноразборных зданий

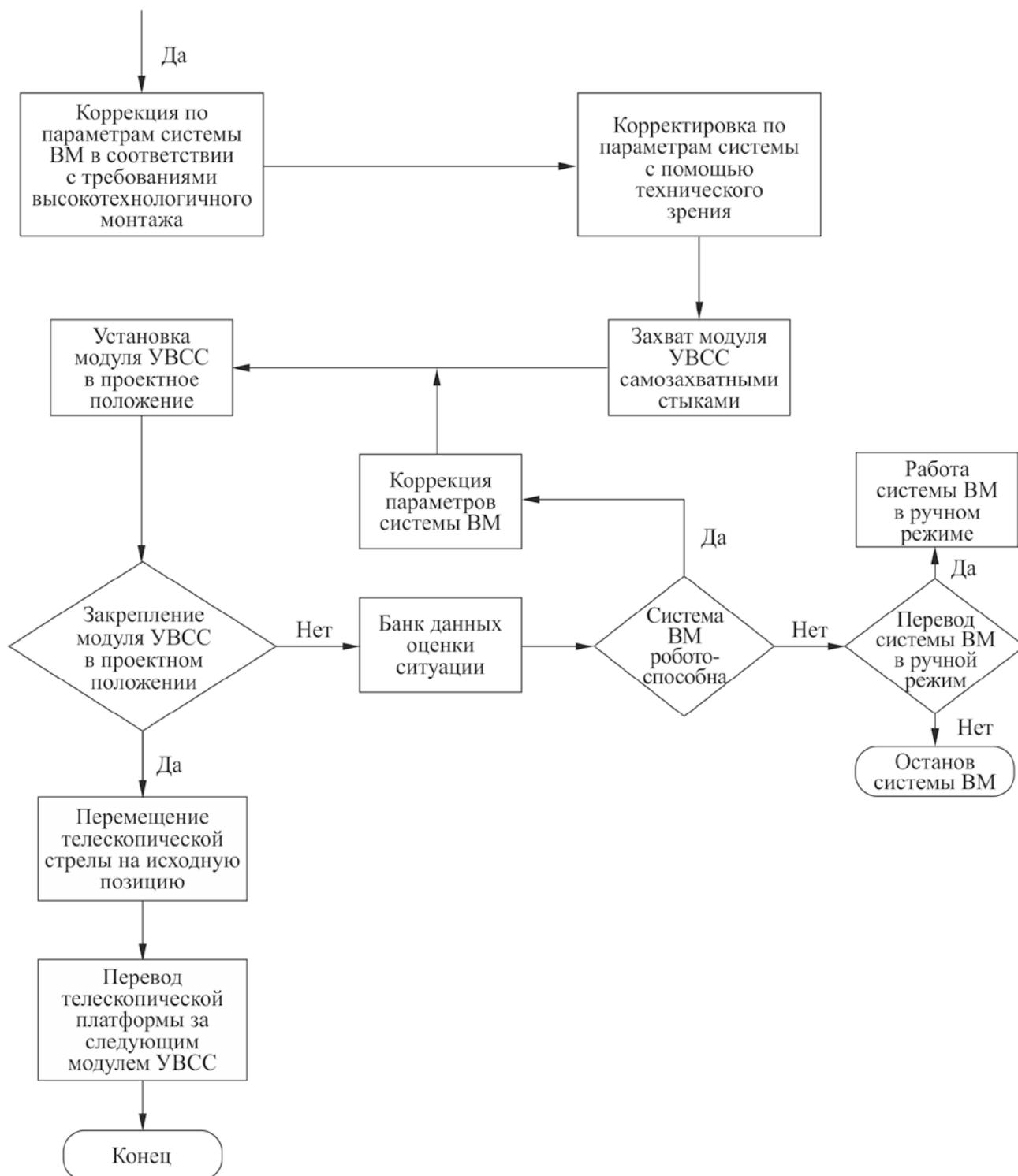


Рис 4.43, окончание. Блок-схема пооперационной работы автоматизированной (роботизированной) системы монтажа полносборных зданий

В дальнейшем осуществляется диагностирование крана-манипулятора и монтажной платформы. В случае получения подтверждения готовности от исполнительных устройств манипулятор крана строует конструкцию, после

чего выполняется операция транспортирования модуля здания к месту монтажа и предварительное центрование и наведение на место проектной установки.

После обеспечения надежного крепления устанавливаемого модуля осуществляется его расстроповка, и монтажная платформа перемещается на новую захватку или опускается за новым модулем.

Рассмотренный вариант автоматизированной системы позволяет работать с несколькими монтажными платформами одновременно с двумя или тремя для оптимальности, что соответственно снижает сроки монтажного цикла в 2–3 раза, кроме того, значительно снижается трудоемкость монтажа и процент ручного труда. В рассмотренных системах позиционирования модулей автор предлагает использовать гидравлические приводы, как наиболее эффективные и грузоподъемные [141].

4.7. Способ интерактивного монтажа полносборных зданий в условиях Крайнего Севера из УВСС

В современных условиях строительного производства имеется острая необходимость разработки методологии комплексной оценки и анализа эффективности инженерных решений, выбора в конкретных условиях строительства рациональной технологии монтажа объемных модулей при строительстве в условиях Крайнего Севера. Ускорение научно-технического прогресса в области скоростного строительства зданий невозможно без широкого внедрения принципиально новых технологий, обеспечивающих высокую производительность труда, эффективность и качество возведения зданий из модулей. Поиск оптимальной технологии модульного строительства зданий связан с определением совокупности параметров и характеристик системы, которые обеспечивают минимизацию приведенных затрат, трудоемкости и продолжительности работ, социально-экологические, эргономические и др. [49].

Динамичная технология производства строительного-монтажных работ заменяется статичным стройгенпланом, совмещенным с ситуационным планом

всех инженерно-технических коммуникаций. Усиление влияния организации работ над технологией часто дает негативные сбои в части безопасности строительных работ, приводит к аварийным ситуациям, травмам, гибели рабочих, к разрушению конструкций зданий.

Проект производства работ (ППР) — организационно-технологический документ, разрабатываемый для реализации проектной документации и определяющий технологии строительных работ (технологические процессы и операции), качество их выполнения, сроки, ресурсы и мероприятия по безопасности (МДС 12-81.2007).

Технологическая карта (ТК) — организационно-технологический документ, разрабатываемый для выполнения технологического процесса и определяющий состав операций и средств механизации, требования к качеству, трудоемкость, ресурсы и мероприятия по безопасности (МДС 12-29.2006).

Резюмируя вышесказанное, можно сказать, что имеются противоречия в проектной документации по производству работ, обязательной для выполнения при строительстве любого объекта. В связи с этим в СПбГАСУ ведется разработка первого в России *способа интерактивного монтажа на основе BIM (информационное моделирование зданий) технологий, предлагается концепция*, которая по оценке разработчиков технологии позволит получать многомерную визуализацию процесса монтажа конструкций здания в любой момент времени, сборки сложных узлов, точности установки конструкций и агрегатов технологического оборудования благодаря размещенным в монтажных элементах датчикам. Проектировщики и непосредственные строители в процессе выполнения СМР смогут видеть, как, в какой последовательности и при помощи каких технических средств (кранов, подъемников, лебедок и других механизмов) нужно выполнять монтаж (демонтаж, сборку) конструкций или иную задачу [12, 219].

Внедрение в производство интерактивных технологических процессов сборки позволит коренным образом изменить и дополнить действующую систему конструкторско-технологической подготовки проекта. При этом многократно может быть проверена надежность, прочность, устойчивость, безопас-

ность выполнения конкретного рабочего процесса. В результате мы значительно сократим продолжительность строительства, уменьшим трудоемкость работ, добьемся правильного соотношения «цены и качества» проекта, удешевим процесс изготовления новых изделий в заводских условиях. Интерактивная работа отличается от обычной виртуальной реальности тем, что проектировщик видит окружающую действительность с учетом наложения дополнительных факторов и условий, в которых будет возводиться объект. При проектировании информация вводится через специальные очки, в которых могут быть заданы визуальные команды, пошагово ориентирующие технологические расчеты, варианты расстановки техники или правильные действия инженера (рис. 4.44).



Рис. 4.44. Визуально-информационная модель проекта производства работ скоростного возведения зданий из модульных систем (слева) и средства дополненной виртуальной реальности (справа) строительства на основе ВІМ технологий

Дополнительная расширенная информация, реальная ситуация хода строительства достаточно тесно интегрируется и с запасами конструкций, парком машин, нормативными требованиями, техническими регламентами, учитывающими контроль качества, безопасность, надежность, эффективность строительства. Внешне очки не отличаются от обычных, однако они показывают дополнительную информацию о многих технико-экономических показателях процессов: скорости передвижения кранов, машин, механизмов, транспорта; расстояниях безопасной зоны работы; производительности и трудоемкости работ.

По оценке автора, технология визуально-информационной (интерактивной) сборки зданий позволит получать трехмерную визуализацию процесса монтажа конструкций, сборки сложных узлов и агрегатов технологического

оборудования с учетом безопасности производства работ и точности монтажа элементов.

Для точного позиционирования монтируемых модулей УВСС при использовании в конструкциях вмонтированных пьезометрических, GPS/ГЛОНАСС датчиков с локальными GNSS станциями и лазерными корректирующими приборами. По существу все нормы СП, СНиП, ЕНиР, ГЭСН, МДС, ТЭР и т.д. включены в память ПК с приемным устройством очков.

В информационной системе на электронном листе можно создать изображения всех установок, привязки монтажных элементов к сетке здания для пространственной ориентации монтажа конструкций с датчиками, перемещения элементов и редактирование объекта; многократно проверить различные варианты и версии, прежде чем вывести чертеж на плоттер. Может быть создано несколько плавающих видовых экранов для сложных объектов. После сравнительного анализа и сопоставления выбирается оптимальный вариант, который будет окончательным решением задачи.

Предложенный автором способ визуально-информационного монтажа позволяет оперативно получать необходимую техническую информацию на месте, без дополнительных запросов к проектировщику или техническим специалистам. Такая модель ППР позволяет наблюдать проект изнутри, взаимосвязи всех монтируемых элементов, детали и характеристики применяемых материалов и оборудования, параметры инженерно-технологических решений. На данный момент автором ведутся разработки в области совместимости технологической, расчетной, нормативной и архитектурной моделей здания, что поможет избежать несоответствия расчетной модели здания и конструктивно-технологическими решениями.

По своей сути — это система мероприятий сравнения данных объективного контроля о текущем состоянии строительства объектов при помощи систем «технического» зрения, лазерных строительных сканеров, дальномеров, высотометров, угломеров с BIM моделью объекта в соответствии с этапами строительства, требованиями СП, ГОСТ, в том числе проектно-

конструкторской документацией, и поддержание базы данных в актуальном состоянии. Что оптимизирует монтажный процесс за счет сокращения времени принятия рационального решения с учетом текущей ситуации на строительном объекте. Таким образом, возможно освидетельствование скрытых работ и нарушений при строительстве, создание так называемых «черных ящиков» при записи процесса возведения объектов.

Для распознавания монтажных элементов они могут быть помечены на заводе специальными маркерами — штрих-кодами или контрастными красками, либо электронными чипами с датчиками, отслеживающие изменение положения и характеристик монтируемых элементов (модулей УВСС).

Основная цель создания визуально-информационного монтажа (интерактивного проекта производства работ) — реализовать инструментарий, позволяющий на основе объективных (т. е. полученных с помощью измерительной аппаратуры) и актуальных данных создавать модели 3D и 6D строящихся (реконструируемых) объектов и проводить анализ и оценку соответствия текущего статуса (состояния) реальных объектов на всех этапах строительства и реконструкции принятым проектно-конструкторским решениям с последующей оценкой объёмов и стоимости выполненных работ (рис. 4.45–4.48). Кроме того, система визуально-информационной строительной площадки (интерактивного ППР) должна «уметь» вносить необходимые изменения в графики строительства (реконструкции) объектов на основе полученных данных, характеризующих соответствие текущего статуса строительства (реконструкции) объектов с требованиями планирующих и контролирующих органов.

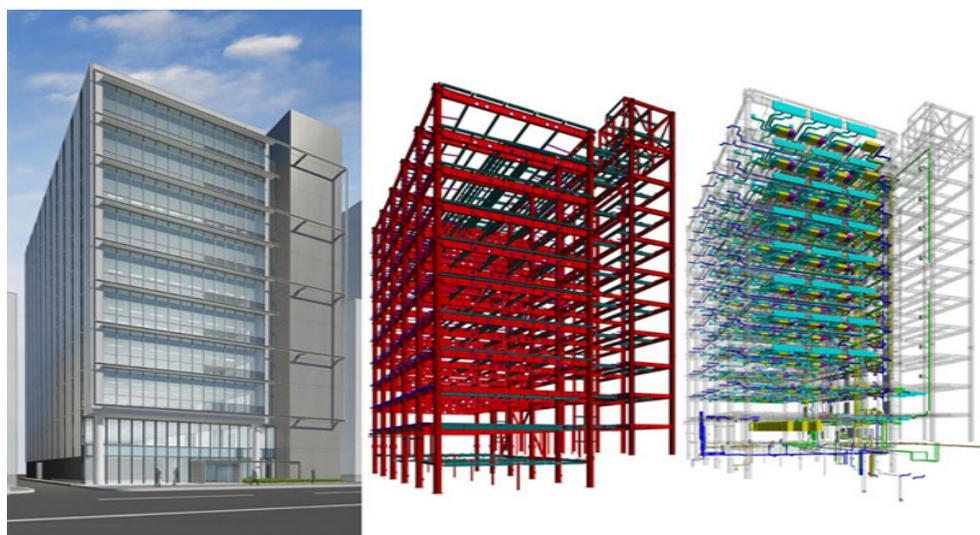


Рис. 4.45. Пример построения 3D модели быстровозводимого модульного здания, как основы для создания 5D интерактивного ППР

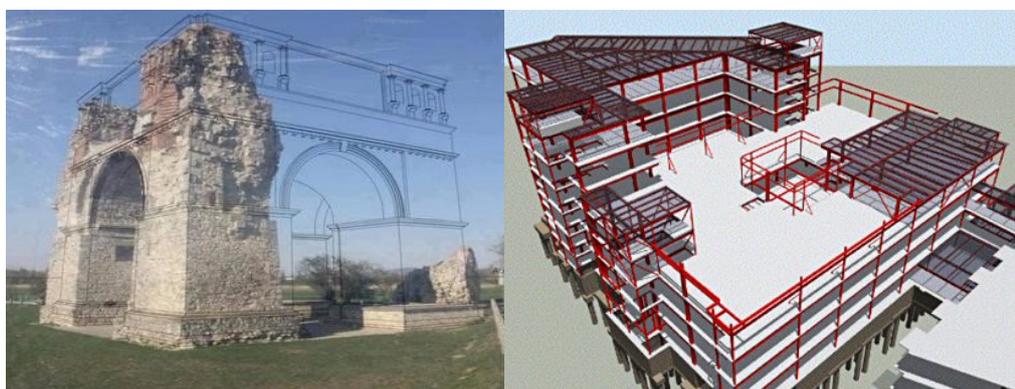


Рис. 4.46. Примеры построения 3D модели быстровозводимого модульного здания с мансардой интерактивного ППР

Контрольные замеры заносятся в соответствующие отчётные документы, сметы и т. п. в соответствии со штатной процедурой уполномоченным лицом (контроллером, прорабом и т. д.). Отчёты, в том числе на этапе проектно-изыскательских работ, заносятся в базы данных. Ключевая процедура – сравнение реальных параметров строительства с проектными документами, а также выполнение международных норм и требований ГОСТ, СП, СНиП [92].

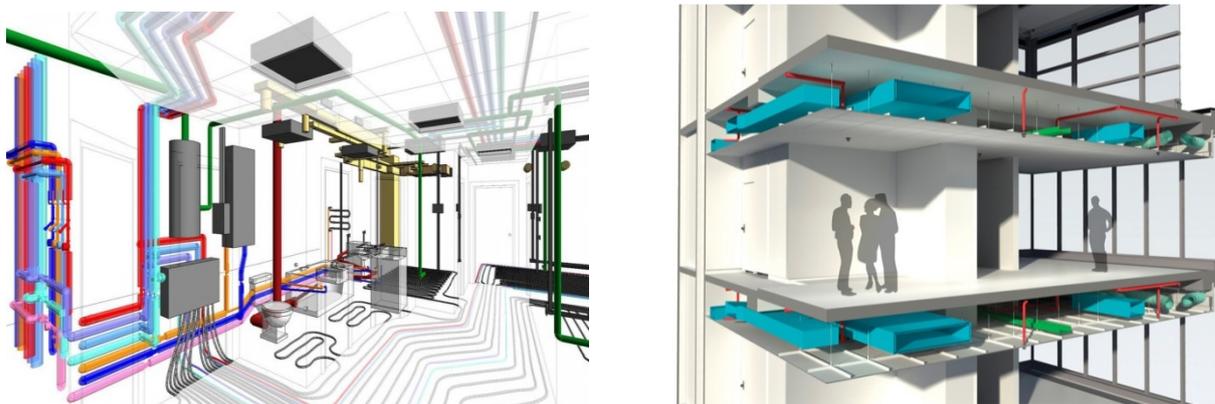


Рис. 4.47. Построение 6D (3D + время, стоимость и движение) модели быстровозводимого модульного здания с детализацией встроенных в модули инженерных сетей как основы для создания 6D интерактивного ППР на основе BIM технологий

Предлагаемая система — визуально-информационное воплощение строительной площадки, позволяющее получить доступ к информационной модели, графику выполнения строительных работ, реализующая возможности и технологические решения по сбору и созданию необходимых данных об объекте [171].



Рис. 4.48. Высокотехнологичный визуально-информационный монтаж зданий с помощью интерактивного ППР на основе BIM технологий

Задачей руководителей строительных предприятий является запрос, анализ и представление информации для всех зданий в пределах района или ещё большего географического региона с возможностью перемещения по объекту, помещённые в «окружающий мир». Направление на использование

объемного моделирования объектов на 2015–2018 гг. также заложено в Приказе Минстроя № 151 от 4.03.15 г., где предлагается ведущим строительным институтам перейти от методологии и пилотных проектов к практике образования и строительства.

4.8. Функциональные аспекты высокотехнологичного интерактивного монтажа полносборных зданий

Организационно-технологическое проектирование интерактивного монтажа зданий. Концепция автоматизированного проектирования технологии и организации строительного производства в графоаналитической среде, информационная среда проектирования стройгенпланов, последовательность их динамичной структурно-функциональной корректировки представлены на рис. 4.49–4.51.

Совершенствование автоматизированного проектирования в сфере организационно-технологического проектирования предусматривает создание развитой системы экранных, падающих и графических меню, позволяющих организовывать и проводить компоновку ПОС, ППР с помощью чертежей-схем, решений-прототипов (блочных или отдельных), архитектурно завершенных (технологически и композиционно) проектных решений. Для выполнения расчетов и моделирования организационно-технологических объектов применяются целевые пакеты, обеспечивающие доступ к символьным таблицам текущего чертежа графического редактора, определение характеристик проектируемых объектов, слежение за состоянием устройств ввода-вывода, обновление информации в базе данных текущего чертежа.

Выпуск графической документации в целевых графоаналитических средах позволяет производительно и качественно создавать сложные схемы развития технологических процессов, стройгенпланы объектов на основе вариантного моделирования с последующей их корректировкой [53].

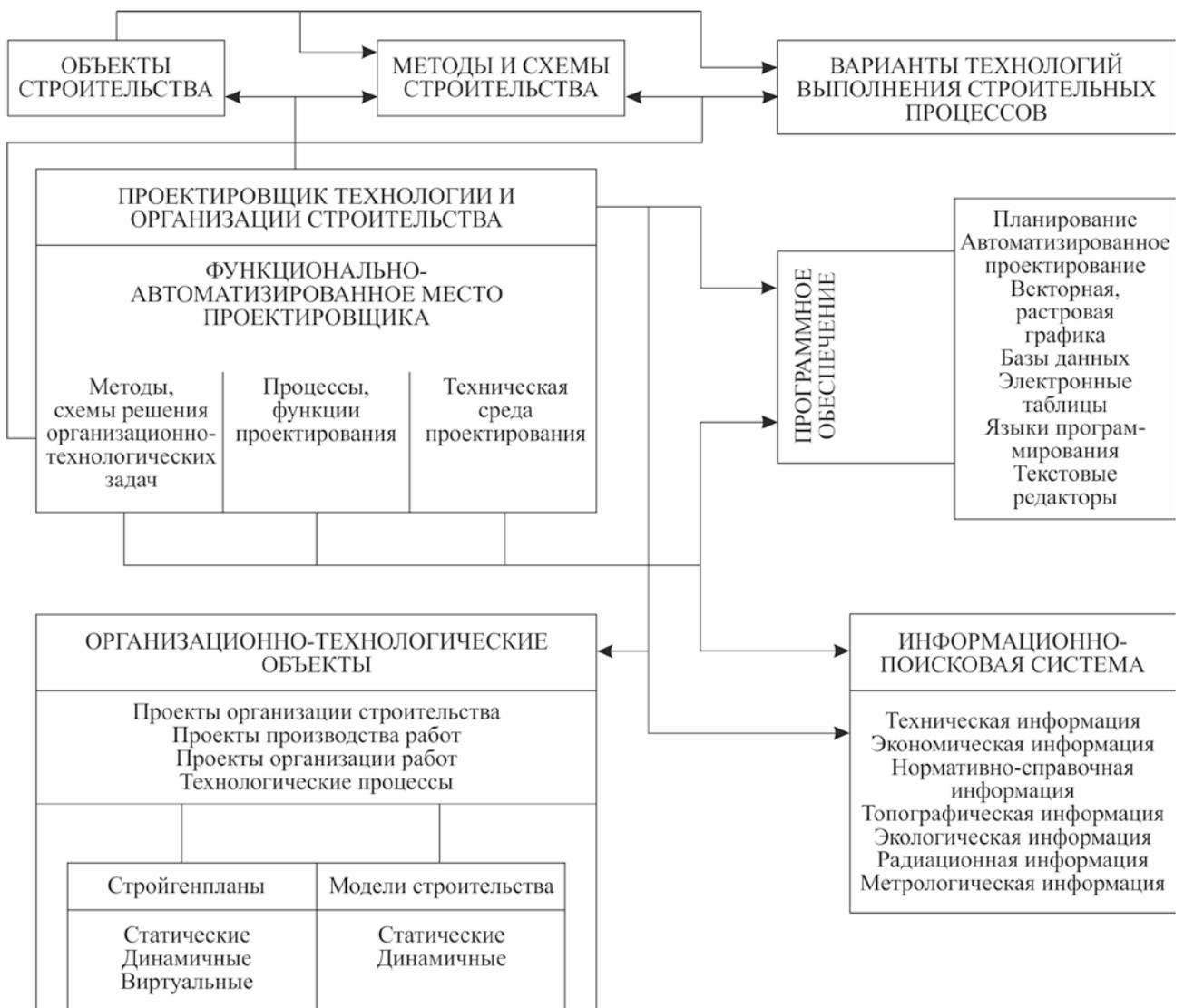


Рис. 4.49. Концепция проектирования технологии и организации строительства в среде ИППР

Чертеж, синтезированный с помощью информационной технологии организационно-технологического проектирования, отличаюсь высоким качеством отображения линий, наглядностью, обеспечивает соблюдение стандартов (требований), регламентирующих разработку организационно-технологической документации. При этом реализуются принципы создания автоматизированных систем проектирования, включая принцип открытой архитектуры, позволяет адаптировать и динамично развивать функции проектирования в соответствии с целевыми задачами пользователя на основе разработки прикладных программных комплексов, развития библиотек фрагментов чертежей, формирования соответствующих чертежей-прототипов.

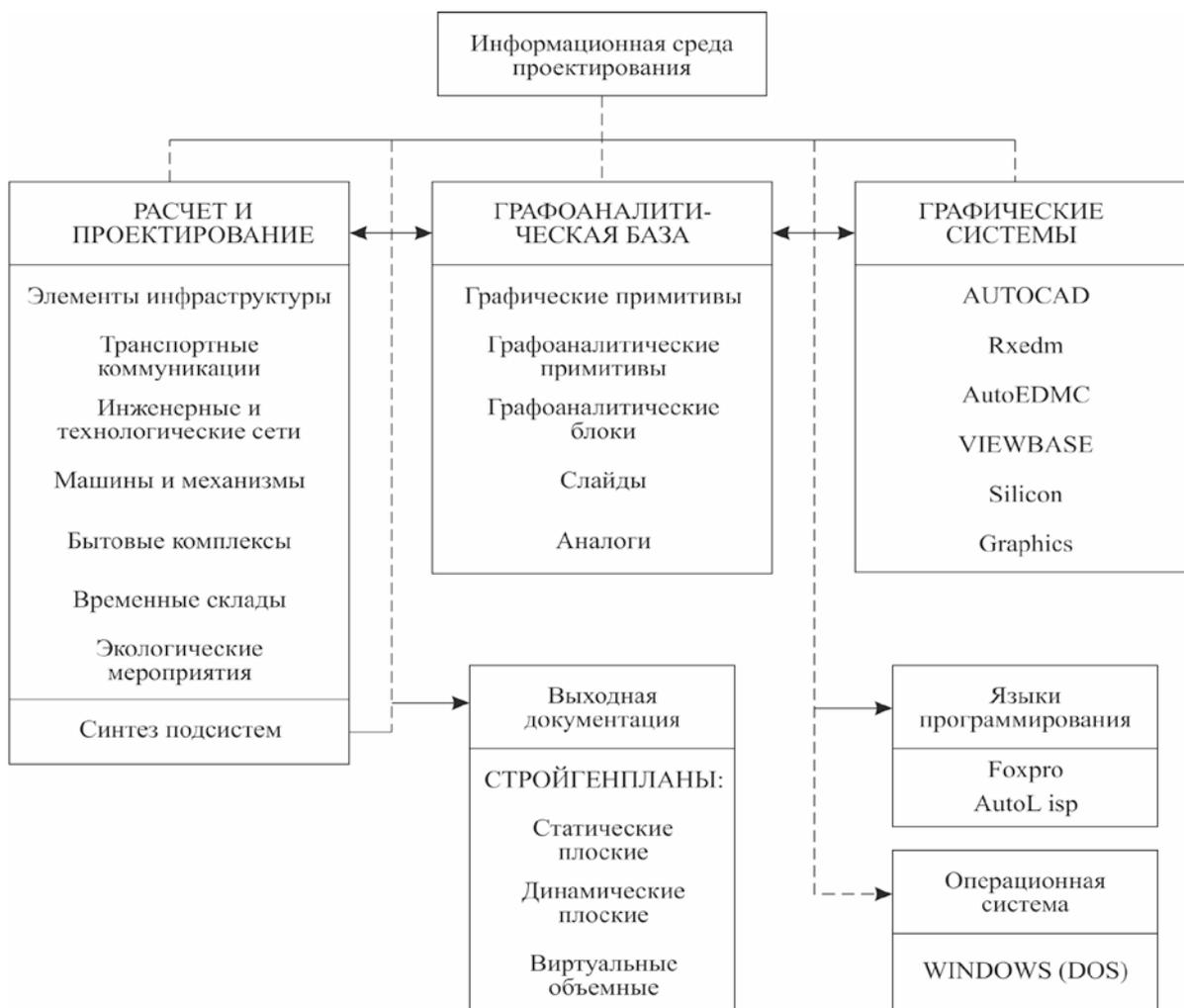


Рис. 4.50. Концептуально-логическая схема проектирования стройгенпланов

Создание чертежей организационно-технологических объектов выполняется с помощью команд черчения, редактирования, корректировки или изменения с использованием экранного, падающего, графического меню, меню планшета, меню манипулятора типа «мышь», дигитайзера, диалоговых окон.

Использование принципов автоматизированного проектирования наиболее приемлемо при разработке изменяющихся строительных систем, в частности строительных генеральных планов, представляющих трансформируемый план строительной площадки (комплекса строящихся сооружений, объекта, процесса), проектируемый (реконструируемый) в автоматизированной графоаналитической среде, адекватно отражающий производственно-строительную ситуацию на любом временном этапе.

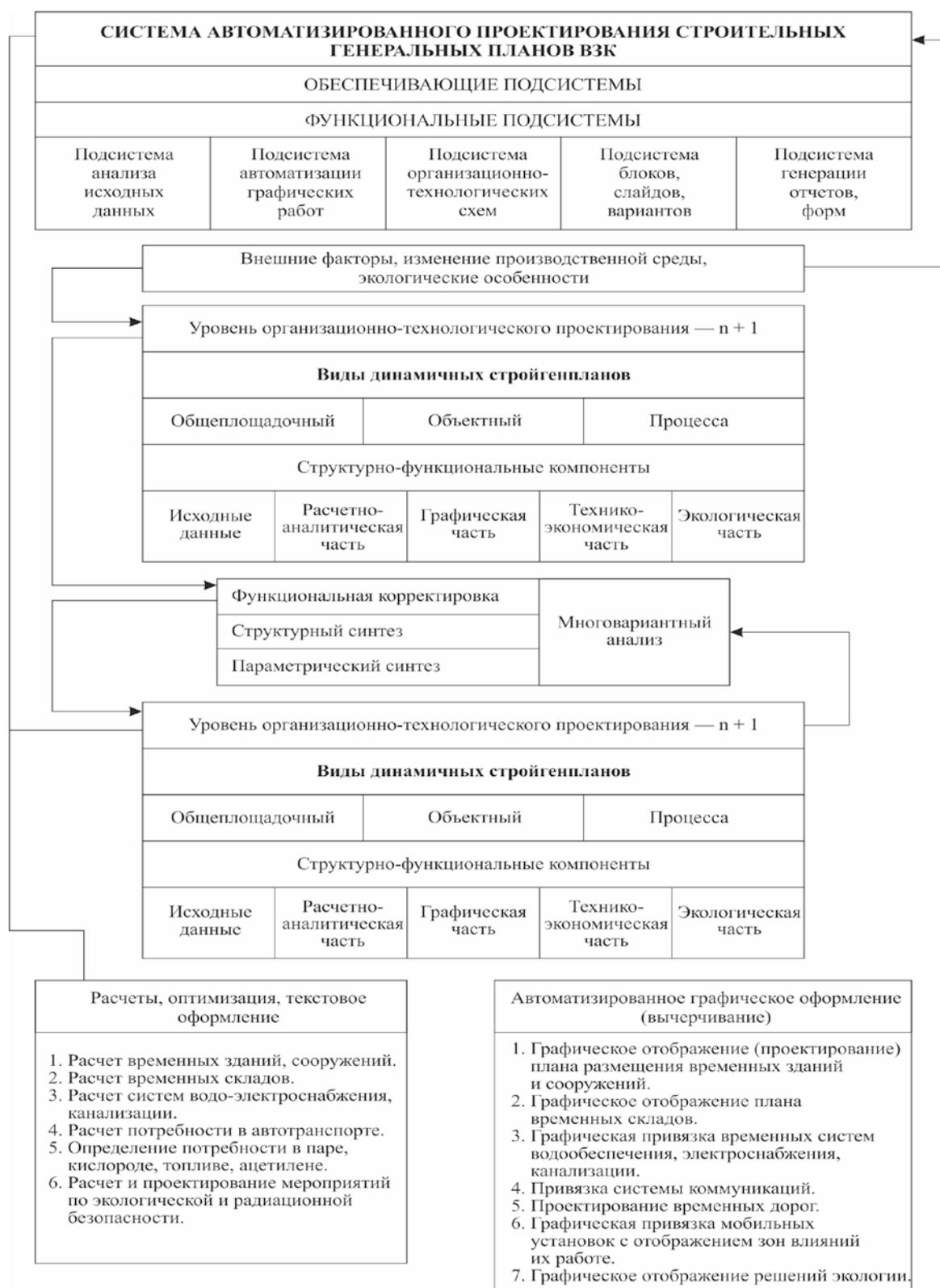


Рис. 4.51. Функциональная схема проектирования и трансформации стройгенпланов

Энергоэффективное проектирование и энергетическая модернизация на основе BIM технологии строительства. Удорожание строительства энергоэффективных зданий жилого домостроения составляет примерно 30% от

стоимости СМР данного сектора. Российский опыт создания многоквартирных жилых домов с низким энергопотреблением пока недостаточен и экономическая выгода подобных зданий проявляется на стадиях полного жизненного цикла от проектирования объекта до его демонтажа.

Энергетическая модернизация предполагает оптимизацию энергопотребления, контроль вредных выбросов производства, использование экологически чистого сырья и другие технологические показатели. Высокотехнологичное оборудование для теплоэнергетических объектов включает паро- и водоводяные теплообменники, атмосферные и вакуумные деаэраторы, эжекторы различных видов, аэраторы, сатураторы, инжекторы и многое другое

Высокотехнологичное возведение зданий УВСС с использованием иППР. Для полноценного сопровождения сборки полносборных зданий средств Revit не достаточно, дополнительно можно использовать Autodesk Navisworks.

При сборке полносборных зданий с помощью иППР можно:

- быстро оценить осуществимость проекта;
- управлять строительством;
- уменьшить стоимость строительства и увеличить его качество;
- сократить число ошибок и переделок.

иППР — это реальная основа для контроля за ходом строительства объекта. Добавляя к представлению о пространстве (3D) представление о времени (4D график строительства, 5D стоимость, 6D движение), заказчик получает возможность контролировать ход строительно-монтажных работ, представляя текущее состояние и отклонения от плановых сроков выполнения отдельных этапов.

Интеграция в модель здания календарного графика позволяет проверить визуально, насколько верно был составлен процесс сборки здания по срокам, каждый элемент, оборудование привязываются к временному этапу, в результате чего формируется календарный график работ. Далее весь процесс строительства можно посмотреть, перемещаясь по стройке через виртуальные

очки, выявить нестыковки, оптимизировать процесс расположения и количества машин и механизмов, ширины раскрытия котлованов для проверки на коллизии и многое другое.

Применение иППР технологии позволяет обеспечить генподрядчика, генпроектировщика, заказчика объективной информацией о будущем здании еще на стадии согласования технического задания.

Ведь иППР — это, в том числе, и способ общения между инженером и инвестором, между людьми с разной квалификацией и разным уровнем объемного восприятия. Созданная с применением BIM модель проста и понятна для любого человека. Она позволяет заказчику легче понимать те или иные проектные решения, увидеть, что получится в итоге.

иППР — это способ оптимизации процессов проектирования и строительства, в основе своей несущий создание единой визуально-информационной шестимерной модели строительной площадки. Информационная модель может включать в себя просто конструктивную часть, а может включать еще и весь комплекс инженерных систем. В данном контексте важно понимать слово «информационная». То есть это не просто 3D, это модель, включающая в себя все реальные размеры и параметры, вплоть до схем армирования. На базе такой модели можно воссоздать внешнюю инфраструктуру будущего объекта, оживить проект организации строительства. При наличии баз материалов в будущем можно использовать эту модель для автоматического создания смет.

Технология иППР позволяет сократить время внесения изменений проектной документации и перевести процессы проектирования на новый уровень. Это инструмент, который имеет два главных преимущества: сокращение ошибок и простоев на стройке и улучшение взаимопонимания проектировщиков с заказчиком и подрядчиками. Только одно это уже позволяет сэкономить до 30% стоимости строительства.

Важные преимущества внедрения технологий информационного моделирования в строительство — это наглядность иППР при возведении

объекта, возможность визуальной оценки объемно-планировочных, инженерных и других смежных решений, а также выявление и оперативное устранение погрешностей еще на этапе проектирования и строительства. Например, если конструктор решил укрепить здание и поставил дополнительную балку там, где проходят сети, сразу станет видно, что происходит пространственный конфликт между трубами и балкой, проще говоря, все увидят как балка проходит сквозь трубы.

В результате временные затраты всех участников проекта снижаются, улучшается взаимодействие и повышается эффективность работы. Таким образом, внедрение и использование этой программы позволит избежать многих недоразумений и нестыковок между разделами проекта, полученных от разных служб, экспертизу он тоже пройдет гораздо быстрее.

Проектировщики сами видят многие свои ошибки еще на стадии проектирования, соответственно, вносить коррективы в готовый проект по ходу строительства никому не придется.

Принципы сборки зданий с помощью иППР:

- автоматическое получение чертежей;
- проектные данные;
- распределение по этапам процесса сборки;
- шестимерное моделирование.

Преимущества использования иППР:

- доступность конкретной информации для проведения тендера;
- повышение согласованности строительной документации;
- автоматический контроль качества сборки;
- повышение производительности работы благодаря виртуальной визуализации здания, технологических параметров, норм, допусков и простоте получения информации;
- снижение расходов на реализацию проекта;
- сокращение сроков строительства.

Трёхмерные (3D) модели используются в целях визуализации уже десятилетиями, но информационная база поддержки и профессиональная

открытость, необходимые для иППР и их баз данных, доступных для широких кругов заинтересованных специалистов, появились только в последние годы.

Непосредственно в процессе строительства вместо бумажных «простыней» можно выбрать и поворачивать в пространстве сечение, разрез на любом месте объекта, в любом количестве на планшетном компьютере или ноутбуке. Можно моментально получить точное количество нужных строительных материалов; без труда проследить стадии реализации (строительства) в пространстве и времени и осуществить их координацию; использовать статические, энергетические и прочие симуляторы. С помощью копеечных датчиков можно добиться, чтобы сигнал о наличии перегоревшей лампочки или закупоренной трубы сразу появился в модели. Каждый элемент или каждая зона может содержать любое количество информации (допуски, технологические параметры, зарплату, стоимость, график уборки, график работы, текущий уход, производительность и т. д.).

Использование иППР на базе BIM технологии в проектировании гарантируют отсутствие пересечений при проектировании внутренних инженерных систем, а также пересечения с конструктивными элементами здания: колоннами, капителями, балками, перекрытиями и т. д.

Экономия при монтаже — до 15 % от стоимости работ и материалов.

Экономия времени при монтаже сложных узлов — до 20%.

Экономия, благодаря точности расчетов — до 10%.

Экономия до 5% от стоимости работ по монтажу инженерных систем

Экономия до 30% от фонда оплаты труда.

Экономия на оборудовании и материалах до 20% от их стоимости.

Экономия до 20% на времени и стоимости проектирования.

Выводы по главе 4

1. Обоснована новая технология возведения полносборных зданий из модулей повышенной заводской готовности, которая отличается от традиционных скоростным монтажом зданий из трансформируемых модулей УВСС, использованием гидроманипулятора, транс-роботов, автоматизированных подъемников, монтажного робота; высокой точностью монтажа и регулированием натяжения болтов. Технические решения защищены 9 патентами РФ.

2. Разработаны и запатентованы принципиально новая универсальная высокотехнологичная строительная система (УВСС) и способы скоростного высокоэффективного, автоматизированного и роботизированного возведения модульных полносборных зданий с учётом автоматизированного позиционирования конструкций, роботизированных телескопических монтажных платформ с жестким захватом позволяет достигать поставленные ранее цели: автоматизацию и роботизацию монтажа и демонтажа; сокращаются сроки строительства; укомплектованное технологическое и инженерное энергоэффективное оборудование, дублирование запасными системами; обеспечивается высокое качество строительства.

3. Предложен способ интенсивного скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем. Монтаж мало- и среднеэтажного здания, осуществляют на заранее подготовленный фундамент с помощью рассмотренных высокоэффективных и маневренных телескопических подъемников типа «ричстакер».

4. Научно обоснован способ автоматизации монтажных работ в полносборном домостроении на основе разработанных монтажных роботов, позволяющих снизить трудоемкость, повысить качество и безопасность выполнения монтажа. Предложена структурная организация автоматизированной сборки Универсальной высокотехнологичной строительной системы (УВСС), в основу которой положен принцип синхронного выполнения

операций. Из циклического монтажный процесс превращается в конвейерный при непрерывной подаче модулей УВСС. Наличие трех перемещающихся телескопических монтажных платформ с жестким захватом способствует повышению производительности, сокращая время монтажа в 6 раз.

5. На основе многоуровневой рационализации разработан способ внецентренного монтажа изнутри здания, сочетающий применение поисковых и аналитических алгоритмов, который оптимизирует траекторию и скорость движения монтажного робота. Разработан алгоритм управления движением роботизированной телескопической монтажной платформы (РТМП), обеспечивающий оптимизацию траектории движения с учетом технологических ограничений.

6. Разработаны алгоритмы ориентации модулей УВСС и оптимизации, определения положения места установки позиционирующего монтажного робота. Разработанный роботизированный монтажный комплекс, способы монтажа и УВСС, выполненные исследования качества управления предложенными монтажными средствами показали высокую эффективность предложенных методов и алгоритмов монтажа. В результате проведенных исследований выявлены адаптивные свойства РТМП, обеспечивающие высокую точность позиционирования модулей УВСС при действии ветровой нагрузки.

7. Предложена концепция и метод интерактивного проектирования производства строительных работ на основе использования технико-информационных моделей, технологических схем и макетов строительных объектов в системе 6D: представлены особенности и принципы ускоренной сборки (монтажа, демонтажа) унифицированных модульных конструкций, способы предварительно изготовленных на заводе блок-секций и модулей, их транспортирования и монтажа быстровозводимых модульных зданий УВСС.

8. Разработаны методологические основы интерактивного технологического проектирования монтажа, составления ППР и ПОС на основе BIM технологий. Новый ППР учитывает изменения в динамике, является

оперативным документом, где высокая скорость строительства обеспечивается визуально-информационным воплощением строительной площадки (интерактивным проектом производства работ), логистикой изложения последовательности и полноты информации, применением BIM технологий, безусловным применением постоянного контроля качества производства работ на всех стадиях строительства с автоматическим контролем точности установки модулей УВСС и выполнения строительно-технологических операций. Отпадает необходимость его графического представления, трудоемких расчетов и объемного рукописного описания, применения типовых схем, не привязанных к реальным условиям. Предложена система комплексно-интерактивного сопровождения при выборе рационального варианта работ в проекте производства работ, что дает экономию: при монтаже до 15 % от стоимости работ и материалов; времени при монтаже модулей до 20 %; за счет точности расчетов до 10 %; до 30 % от фонда оплаты труда; на оборудовании и материалах до 20 % от их стоимости; до 30 % на времени и стоимости проектирования.

Глава 5. АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО МОНТАЖА БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

5.1. Исследования по нормативно-технологическому обеспечению процесса высокотехнологичного монтажа зданий

Ставится задача формализовать процесс выбора и описать количественно составляющие трудозатрат высокотехнологичного монтажа УВСС. Данные нормативной трудоемкости роботизированной установки модулей УВСС представлены в табл. 5.1 [21, 24, 55].

Зависимость монтажа модулей:

$$\frac{Q_{\text{выр}}^f}{Q^н} = \alpha = \frac{1}{K}, \quad (5.1)$$

где $Q^н$ — расчетно-нормативные; Q^f — фактические затраты труда; α — коэффициент непроизводственных потерь.

В результате зависимость коэффициента снижения производительности K можно обозначить через зависимость от различных параметров:

$$K = f(\gamma, F, Q, П, M, \dots), \quad (5.2)$$

где γ — эффективность монтажного оборудования; F — площадь или объем модулей; Q — масса монтируемых модулей; M — механизация монтажа модулей; $П$ — погодные условия.

Таблица 5.1

Данные нормативной трудоемкости монтажа модулей УВСС

$Q, т$	0,04	0,2	0,4	0,6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T, \text{чел.-ч}$	0,4	2	4	6	10	11,33	12,66	13,99	15,32	16,65	18,0	19,3	20,6	22,0

Вид функции заранее не известен (линейная, многочленная, логарифмическая, степенная и т. д.), соответственно нахождение формул, отражающих функциональную связь между нормативной трудоемкостью T и массой монтируемых модулей Q , начинают с простейшей зависимости:

$$T = a + bQ. \quad (5.3)$$

Значения коэффициентов a и b можно рассчитать по уравнению

$$a = \frac{\sum T \cdot \sum Q^2 - \sum(TQ) \cdot \sum Q}{n \cdot \sum Q^2 - (\sum Q)^2}; \quad b = \frac{n \cdot \sum(TQ) - \sum T \cdot \sum Q}{n \cdot \sum Q^2 - (\sum Q)^2}. \quad (5.4)$$

Необходимо дать оценку аппроксимации фактических $T_{ин}$ к рассчитанным значениям T_{ip} для эмпирической зависимости с учетом средней относительной погрешности ε , %, которая не должна превышать 5 % при количестве данных $n \leq 6-9$; модуль разности чисел $|T_{ин} - T_{ip}|$:

$$\varepsilon = 100 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|T_{ин} - T_{ip}|}{T_{ин}}. \quad (5.5)$$

Для нахождения коэффициента A и показателя степени c равенство $T = AQ^c$ приведем к линейному виду путем логарифмирования: $\lg T = \lg A + c \cdot \lg Q$ получим:

$$\lg A = \frac{\sum \lg T \cdot \sum \lg^2 Q - \sum \lg Q \cdot \sum (\lg T \cdot \lg Q)}{n \cdot \sum \lg^2 Q - (\sum \lg Q)^2}; \quad (5.6)$$

$$c = \frac{n \cdot \sum (\lg T \cdot \lg Q) - \sum \lg T \cdot \sum \lg Q}{n \cdot \sum \lg^2 Q - (\sum \lg Q)^2}. \quad (5.7)$$

Найдем по $\lg T$ значение A . В результате получим

$$T_1 = 10Q \text{ (мансардный модуль УВСС);} \quad (5.8)$$

$$T_2 = 7,6725 + 1,6625Q \text{ (типового этажа модуль УВСС).} \quad (5.9)$$

Исходные $T_{ин}$ и расчетные значения трудоемкости T_{ip} , а также модули их разностей для наглядности представим в виде табл. 5.2.

Средние значения относительных погрешностей ε_1 и ε_2 :

$$\varepsilon_1 = 0 \%;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{100}{9} \left(\frac{10,9}{11,33} + \frac{12,26}{12,66} + \frac{13,59}{13,99} + \frac{14,92}{15,32} + \frac{16,15}{16,65} + \frac{17,5}{18,0} + \frac{18,8}{19,3} + \frac{20}{20,6} + \frac{21,3}{22,0} \right) = 96,98 \%.$$

Расчетная и нормативная трудоемкость монтажа модулей УВСС

	Мансардные модули УВСС					Типового этажа модули УВСС									
Q , т	0,04	0,2	0,4	0,6	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{ин}$, чел.-ч	0,4	2	4	6	10	10	11,33	12,66	13,99	15,32	16,65	18,0	19,3	20,6	22,0
T_{ip} , чел.-ч	0,4	2	4	6	10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15
$ T_{ин} - T_{ip} $	0	0	0	0	0	9,6	10,9	12,26	13,59	14,92	16,15	17,5	18,8	20	21,3

Полученные расчетом высокие значения коэффициента корреляции $\varepsilon_1 = 0\%$ и низкие при применении монтажного робота $\varepsilon_2 = 96,98\%$ говорят о том, что зависимость полученная эмпирическим путем T_2 , плохо согласуется с нормативными данными по ЕНиР, ГЭСН, МДС, ФЕР и ТЕР, введенными с 1987 по 2014 гг., что свидетельствует о высокой эффективности разработанных технологических решений (рис. 5.1), о применении роботизированного монтажного комплекса и отсутствии нормативов для роботизированных комплексов.

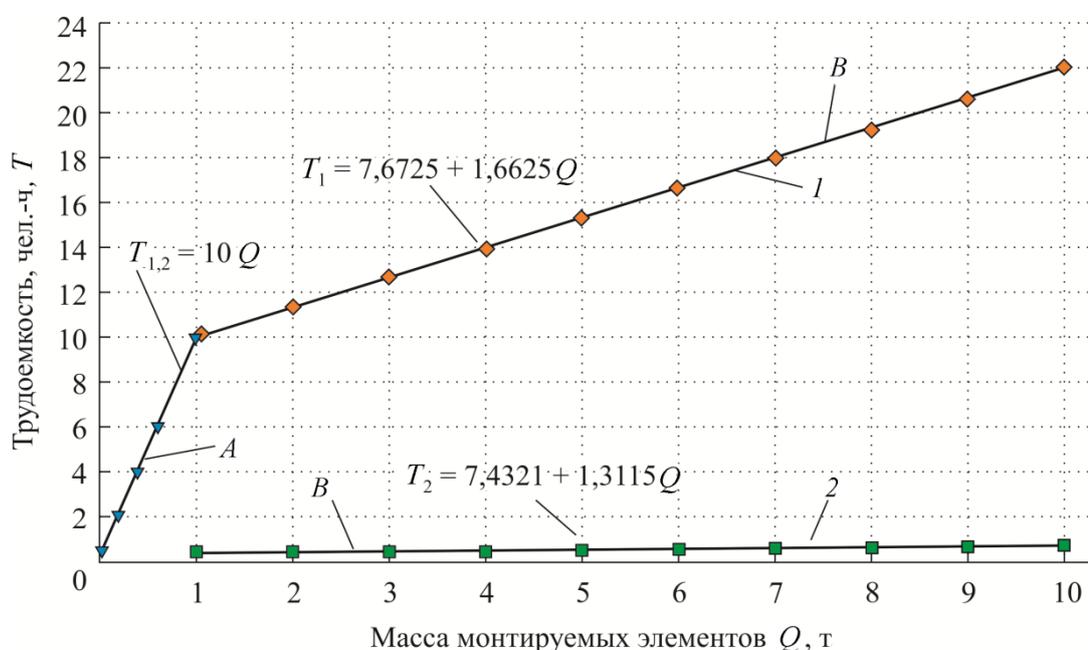


Рис. 5.1. Зависимости трудоемкости высокотехнологичного монтажа трансформируемых модулей УВСС от их массы: 1 – расчетно-нормативных; 2 – аппроксимация фактических затрат труда; A – мансардные модули УВСС; B – типичного этажа модули УВСС

Если использовать зависимость $T_2 = 7,6725 + 1,6625Q$ вместо зависимости $T_1 = 10Q$ и $Q = 0,4 - 1$ получим

$$\varepsilon_1 = 0 \% < \varepsilon_1 = 0,86 \%,$$

т. е. в рассматриваемом случае зависимость при $Q = 0$ $T_2 \neq 0$, что противоречит здравому смыслу, а $T_1 = 10Q$ при $Q = 0$, $T_1 = 0$, что более естественно.

Анализ высокотехнологичных строительных процессов показал, что при непрерывной работе монтажного робота в течение рабочей смены требуется расчет интенсивности доставки и потоков по укрупнительной сборке полносборных зданий из модулей УВСС.

Необходимо формализовать и количественно описать процесс выбора варианта монтажа зависит от комбинаций элементов организационно-технологической структуры.

Этапы исследования:

- определялись расчетно-аналитическим и расчетно-эмпирическим (натурные наблюдения) методами затраты труда и норм времени;
- сравнивались определенные нормы времени и затрат труда.

Расчетно-аналитический метод предусматривает применение расчетных формул производительности машин с учетом разработок в области механизации, комплексной механизации, автоматизации и роботизации СМР.

Эксплуатационную производительность подъемных механизмов рассчитаем по формуле 5.10, при этом нормативная производительность равна норме выработки механизированных СМР.

$$P_3 = nQk_{\Gamma}k_{\text{в}}, \quad (5.10)$$

где Q — грузоподъемность, т; k_{Γ} — коэффициент использования монтажного робота ($k_{\Gamma} = 0,6 \dots 0,8$); $k_{\text{в}}$ — коэффициент использования монтажного робота во времени ($k_{\text{в}} = 0,5 \dots 0,9$); n — число циклов в час.

Нормы затрат труда рабочих-строителей и машинистов при возведении полносборных зданий УВСС рассчитывались на основе ЕНиР 5 и являются обратными значениями норм выработок, результаты представлены в табл. 5.3.

По результатам хронометражных наблюдений расчетно-эмпирическим методом фиксировались: время, количество рабочих и выполненного объема работы при высокотехнологичном монтаже полносборных зданий из модулей УВСС проводился на различных объектах:

- ЗАО «Ленуренгойстрой», г. Новый Уренгой, Тюменская область;
- автоматизированный завод «Volkswagen», г. Вольфсбург, Германия;
- автоматизированный склад Fastener Shanghai, КНР;
- макетирование и моделирование отдельных операций и модулей.

Таблица 5.3

**Нормы затрат труда операций на возведение здания из модулей УВСС
(расчетно-аналитический метод)**

Наименование операций	Нормы затрат труда рабочих	
	ручные, Q, чел.-ч	механизированные, П _н , маш.-ч
Возведение здания из модулей УВСС		
Подъем модулей УВСС (п.6, 3,0×9,0 м)	7,6	1,1
Установка модулей УВСС в проектное положение (п.6)		
Закрепление модулей УВСС (п.19, 12 бол-тов/соед.)	11,5	–
Заделка стыков между модулями УВСС (п.24)	3,84	–
Устройство ограждающей панели УВСС (п.22)	16,46	1,5
Установка 4 несущих колонн УВСС (п.3)	12,0	2,4

Для проверки и обоснования норм расчетно-эмпирическим методом выполнены следующие работы:

- сопоставлены с действующими территориальными сборниками запроектированные нормы затрат времени машин и рабочих;
- из элементов рабочего процесса выделены периоды отдельной и совместной работы звена рабочих и машин;
- рассчитаны нормы затрат труда для машин и рабочих, а также на комплексные процессы;

- разработана для всего рабочего процесса прогрессивная нормаль с учетом зависимости производительности звена рабочих (рис. 5.2) от работы машин.

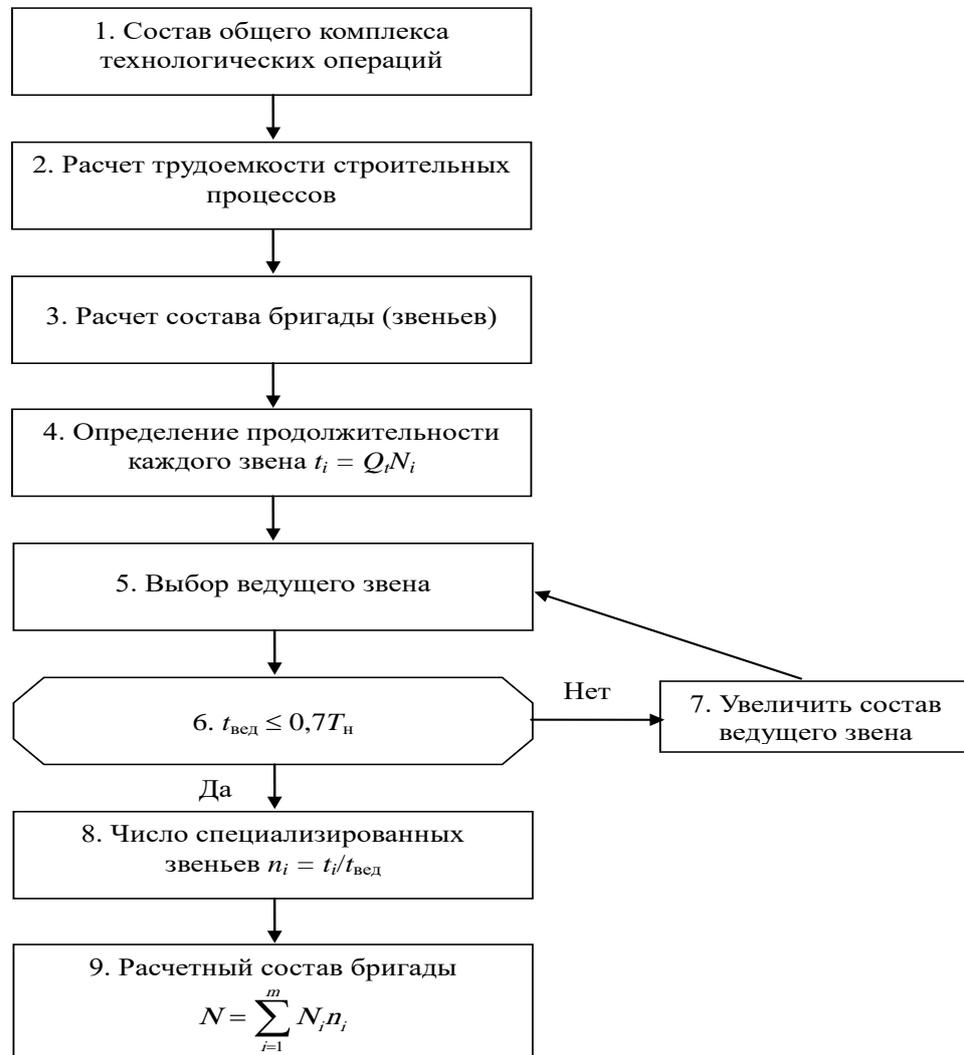


Рис. 5.2. Блок-схема расчета состава звена:

T_n – нормативная продолжительность всех работ; t_i – в i -м звене; $t_{\text{вед}}$ – ведущего звена; Q_i – трудоемкость монтажных процессов $i = 1, \dots, k$

Затраты времени: производственные перерывы T_n ; работа рабочих; работа машины t_m ; совместная работа машины и рабочих t_c .

Время (продолжительность) цикла работы машин T_m и звена T_p :

$$T_p = t_c + t_p; \quad (5.11)$$

$$T_m = t_c + t_m. \quad (5.12)$$

Нормы проектировались без технологического перерыва, связанного с продолжительностью отдельных видов работ:

$$T_m \leq T_p; \quad (5.13)$$

$$t_c + t_p \leq t_c + t_m. \quad (5.14)$$

Для сокращения продолжительности работы можно увеличить численный состав звена рабочих. При этом

$$\frac{T_p}{K_3} \leq T_m, \quad (5.15)$$

где K_3 – число звеньев рабочих обслуживающих машины, чел.

Таблица 5.4

Хронометражные данные ВМ процесса

Наименование	Рабочие операции	Продолжительность хронометражных наблюдений, мин		Количество наблюдений	Среднее значение, мин	
		min	max		расч.	факт.
Монтаж модулей УВСС типового этажа полного сборного здания	Подъем модулей УВСС	3,1	3,3	10	2,6	3
	Установка модулей в проектное положение	2,0	2,2	10	2,1	2
	Закрепление модулей	14,9	15,3	10	15,1	15
	Установка 4 трансформируемых несущих колонн УВСС	6,7	6,9	10	6,8	7
	Установка 2 трансформируемых ограждающих панелей УВСС	7,1	7,5	10	7,3	7
	Заделка стыков между модулями УВСС	4,9	5,3	10	5,1	5

Данные хронометражной проверки существующих норм времени при высокотехнологичном (в том числе роботизированном) монтаже здания из модулей УВСС представленные в табл. 5.4 показала, что фактические нормы $H_{вр}^ф$ ниже нормативных ($H_{вр}^ф < H_{вр}^н$) при нормах выработки $H_{выр}^ф$ выше нормативных ($H_{выр}^ф > H_{выр}^н$).

Фактические затраты труда при монтаже УВСС превышают расчетно-нормативные на коэффициент $\alpha = \frac{1}{K_{пр}}$, V – объем работ; $K_{пр}$ – коэффициент снижения (из-за условий Крайнего Севера возможно снижение производительности труда до 50%, несоответствия нормативных значений):

$$Q^{\phi} = \frac{H_{вр}^{\phi} \cdot V}{K_{пр}} = H_{вр}^{\phi} \cdot V \cdot \alpha. \quad (5.16)$$

Результаты полученные расчетно-эмпирическим методом, приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

**Результаты фактических норм затрат труда операций
при внецентренном монтаже модулей УВСС**

Наименование	Нормы затрат труда рабочих на 1 м ²			
	Расчетно-нормативные		Расчетно-эмпирические	
	Q ^н , чел.-мин	П ^н , маш.-мин	Q ^ф , чел.-мин	П ^ф , маш.-мин
Возведение здания из модулей УВСС				
Подъем модулей УВСС (3,0×9,0 м)	16,9	2,44	—	0,10
Установка модулей УВСС			—	0,08
Закрепление модулей УВСС	25,6	—	0,56	—
Установка 4 трансформируемых несущих колонн УВСС	26,7	5,3	0,25	—
Установка 2 трансформируемых ограждающих панелей УВСС	36,5	3,3	0,26	—
Заделка стыков между модулями	8,53	—	0,19	—

Фактические затраты труда по возведению полносборных зданий из модулей УВСС при ручных $K_{пр}^p$ и механизированных $K_{пр}^m$ операциях рассчитывают по формуле с учетом коэффициента снижения производительности по условиям Крайнего Севера

$$H_{вр}^н \cdot V = Q^{\phi} > Q^н, \quad (5.17)$$

где $Q^н$ – расчетно-нормативные и Q^{ϕ} – фактические затраты труда на конструктивно-технологические работы.

Общая трудоемкость работ : $Q = Q_з + Q_{тр} + Q_{об}$,

$Q_з$ - затраты труда в заводских условиях (индустриальность, сборность, быстровозводимость, трансформируемость конструкций, оптимизация размеров, применение роботов); $Q_{тр}$ - трудозатраты при транспортировке конструкций (выбор оптимальных схем и видов комплексной перевозки

раскладных форм-объектов в пределах габаритов дорог и грузоподъемности вертолетов, обоснования комплектации, упаковки, загрузки и разгрузки грузов); $Q_{об}$ - трудоемкость сборочных работ на объекте (многокритериальная оптимизация технологических решений с учетом программного учета неблагоприятных северных условий, расчет манипуляторов, транс-роботов, подъемников, магнитных захватывающих устройств, разработка графа и алгоритма оптимальных технологий, обоснование малолюдной технологии при внедрении роботов и автоматических средств).

Исследования по нормативно-технологическому обеспечению процесса монтажа выявило, что применение строительных систем из индустриальных модулей снижает трудоемкость работ по монтажу до 0,05 чел.-ч на 1 м² площади, затраты машинного времени при монтаже более чем в 13,56 раза, повышает производительность за счет автоматизации и роботизации процессов, укрупнения монтируемых модулей, трансформирования модуля, увеличение размера конструктивной ячейки разработанной системы полносборного здания, снижает трудоемкость монтажа в 2,37 раза. Сравнительная оценка вариантов показала, что монтажная технологичность предложенных решений оказывает влияние на колебания трудоемкости от 21,4% до 133,3 % и производительности монтажа на 44 %, путем повышения заводской готовности и точности изготовления модулей, применение предлагаемых автором самофиксирующих соединений с направляющими обеспечивает снижение трудоемкости монтажа на 21,4 % [142].

5.2. Технологичность скоростного монтажа полносборных зданий из строительной системы УВСС

Монтажная технологичность является интегральным показателем, представляющим совокупность факторов, определяющих эффективность процессов возведения здания или степень приспособленности данного модуля УВСС к перевозке и монтажу с минимальными затратами времени, ручного труда, энергетических и материальных ресурсов [148].

На основе ранее предложенной технологии скоростного высокотехнологичного монтажа модулей УВСС оптимального размера 1,0×1,0 м (мансардный) и 9,0×3,0 м (типовой этаж) с разработанными новыми техническими решениями выполнен анализ принятых технологических решений высокоскоростного монтажа полносборных зданий. Разработанная технология возведения полносборных зданий из модулей включает модули, колонны с направляющими, встроенные инженерные сети, ограждающие сэндвич-панелей и стеклоблоки.

Основная задача монтажной технологичности возведения полносборных зданий из модулей УВСС повышенной заводской готовности состоит в организационно-технологической подготовке производства СМР при минимальных затратах времени, труда, материалов и стоимости.

Автором для повышения монтажной технологичности радикально была изменена конструктивная технологичность элементов полносборного здания «нового типа» из модулей УВСС, что стало возможным лишь при системном подходе ко всем изменениям составляющих строительной технологичности полносборных зданий [128, 130-131].

Рассмотрены важнейшие признаки, характеризующие повышение уровня монтажной технологичности сборных модулей полносборных зданий (рис. 5.3 и 5.4):

- равновесность;
- наличие в модулях УВСС фиксирующих и ориентирующих деталей;
- крупноразмерность;
- заводская готовность модулей УВСС;
- простота монтажных стыков;
- конфигурация монтажных модулей;
- блочность модуля;
- точность изготовления модуля УВСС;
- стоимость укрупнения модулей на заводе.

Стоимость укрупнения монтируемых элементов полносборных зданий на заводе ($C_{y.з}$) ниже чем при монтаже ($C_{y.м}$):

$$C_{y.з} = 0,25 C_{y.м} \quad (5.18)$$

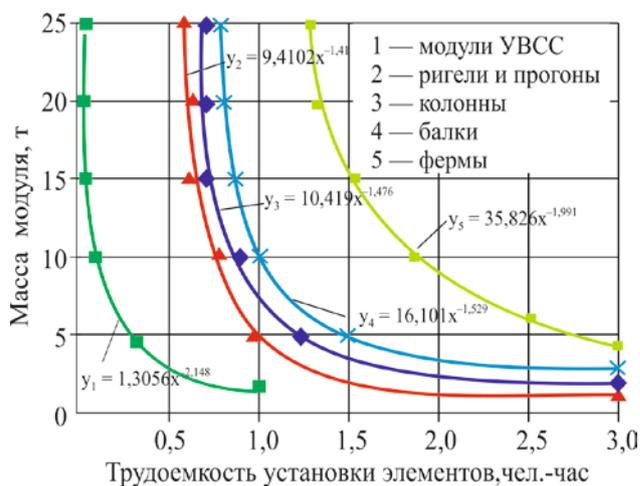


Рис. 5.3. Зависимость трудоемкости монтажа элементов здания от массы монтируемого укрупненного модуля УВСС

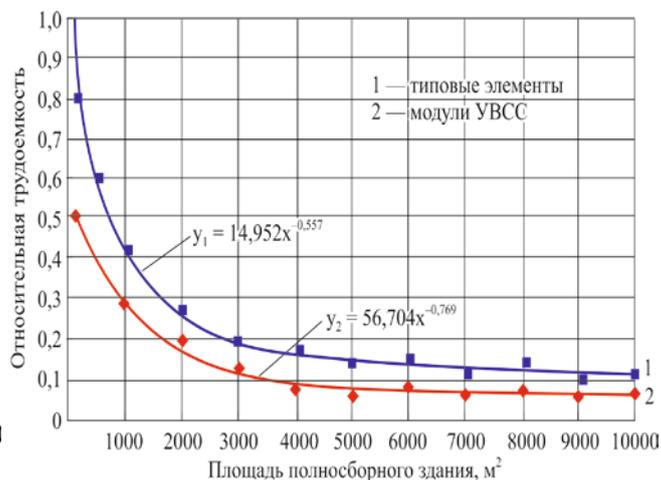


Рис. 5.4. Зависимость относительной трудоемкости от площади возводимого здания из модулей

С учетом дифференциальных показателей предложена взаимосвязанная комплексная система показателей технологичности на различных этапах производственного цикла высокотехнологичного возведения полносборных модульных зданий, позволяющая оптимизировать организационно-технологические решения монтажа: k_T (заводской готовности); k_d (дробности); $k_{T.п}$ (технологичности); k_b (блочности); k_y (укрупненности).

Представлены закономерности оптимизации технологических режимов монтажа полносборных зданий из модулей: снижение трудоемкости от повышения массы и размеров модулей, степени заводской готовности панелей (рис. 5.5–5.8).

Весьма важным моментом решения транспортных проблем доставки блок-секций является применение саморазгружающих средств (подъемников, лебедок, направляющих рельс, катков и др.), позволяющих быстро загружать и разгружать трейлеры, прицепы без использования башенных кранов.

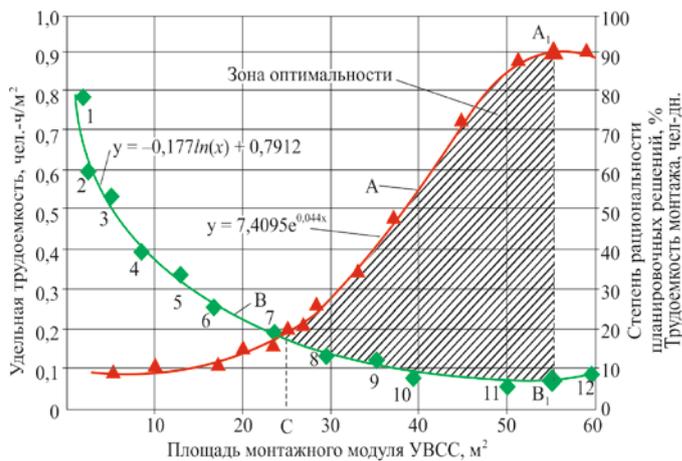


Рис. 5.5. Зависимость удельной трудоемкости возведения зданий от площади применяемых модулей УВСС:

1–5 — мелкие элементы; 6–8 — средние элементы (модули); 9–12 — крупные модули; A, B — зависимость рациональности объемно-планировочных решений зданий и трудоемкости монтажа от площади модулей; A₁, B₁ — значения оптимальности; C — оптимальная площадь модуля ВСС — 27–39,6 м² (3×9 м, 3,3×12 м)

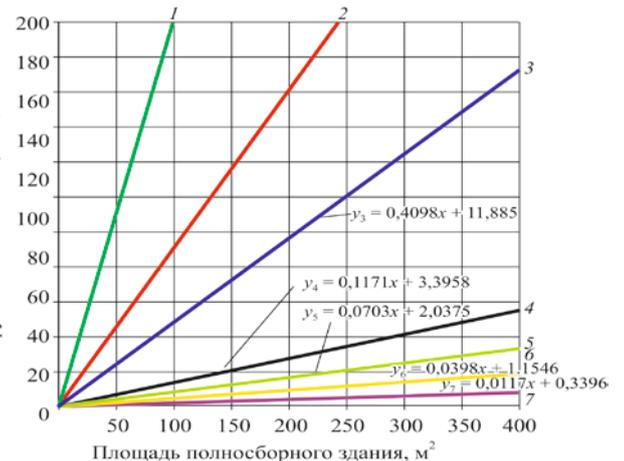


Рис. 5.6. Зависимость снижения трудоемкости возведения зданий от совместного использования оптимальных по размеру модулей УВСС и соединения узлов:

1 — монолитные технологии; 2 — кирпичные технологии; 3 — крупнопанельные железобетонные технологии; 4 — каркасно-обшивные технологии; 5 — мелкие сэндвич-панели; 6 — средние сэндвич-панели; 7 — разработанная технология возведения полносборного здания из крупных модулей соединяемых болтами

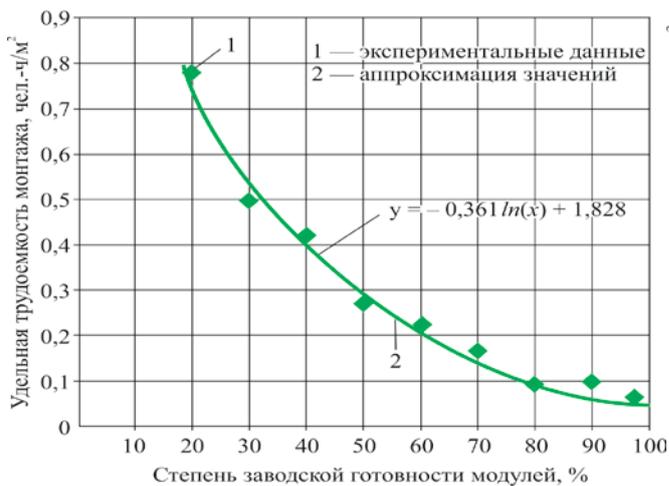


Рис. 5.7. Зависимость снижения трудоемкости монтажа полносборных зданий из модулей от степени заводской готовности модулей УВСС

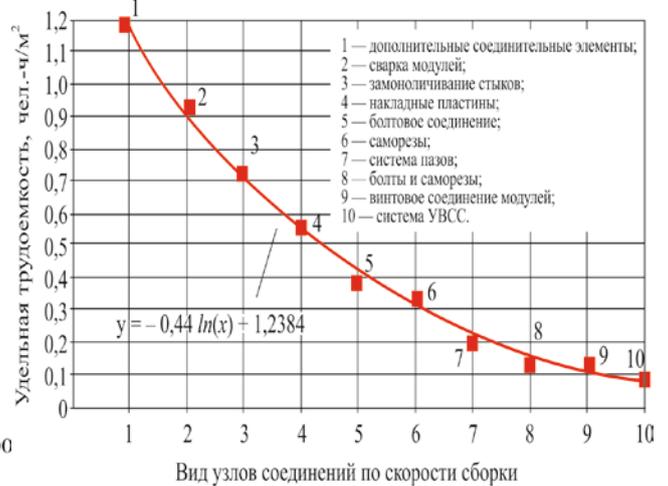


Рис. 5.8. Зависимость снижения удельной трудоемкости возведения зданий от узлов соединений модулей УВСС между собой

На основе ранее предложенной технологии монтажа модулей оптимального размера с разработанными новыми техническими решениями выполнен анализ рациональных решений высокоскоростного монтажа полносборных зданий и существующих технологий с учетом аналогов. Показатели модульности, равновесности и степени укрупнения модулей представляют монтажную технологичность всей УВСС. Коэффициент блочности может характеризовать технологичность как всей системы УВСС, так и модуля УВСС. Так как система состоит практически из двух равных по массе модулей, то коэффициент равновесности, выраженный отношением средней массы монтируемых элементов к максимальной, практически максимальный, соответственно выше уровень использования кранов и эффективнее монтаж (табл. 5.6).

Коэффициент модульности полносборного здания УВСС:

$$k_{\tau} = \frac{N_y}{N_o} = \frac{1}{2} = 0,5 \leq 1,0,$$

где N_o — количество отправочных марок модулей в здании; N_y — количество укрупненных элементов.

Степень укрупнения модулей УВСС:

$$k_y = m_k / N_k = 15,220 / 3 = 5,073,$$

где m_k — общая масса сборных элементов; N_k — их количество:

Следовательно, чем выше степень укрупнения, тем меньше монтажных операций и продолжительность работ, и тем быстрее происходит монтаж.

Коэффициент блочности:

$$k_{\sigma} = \frac{m_{\sigma}}{m_k} = \frac{7320}{7900} = 0,93 \leq 1,$$

где m_{σ} — массы конструкций, собранных в укрупненные модули УВСС; m_k — общая масса монтируемых элементов.

Показатели монтажной технологичности системы УВСС

Показатели	Расчетная формула	Результат
Степень укрупнения модуля	$k_y = m_k / N_k$ m_k — общая масса сборных элементов; N_k — их количество	5,07
Уровень заводской готовности модуля УВСС	$k_r = \frac{\theta_3}{\theta_3 + \theta_r + \theta_m}$ совокупная трудоемкость — θ_3 ; изготовления — θ_m ; монтажа; θ_r — транспортирования	0,95
Коэффициент технологичности: вариант применения модулей УВСС	(технологичность сравниваемого варианта $k_{тп} = 0,15$)	0,85
Коэффициент блочности	$k_b = \frac{m_b}{m_k} \leq 1$ модули укрупненные m_b , общая масса монтируемых элементов m_k	0,93
Коэффициент технологичности установки конструкций	$k_{ту} = \frac{T_{вз}}{T_{вз} + T_b + T_c + T_3}$ $T_{вз}$ — продолжительность временного закрепления; T_b — выверки конструкции; T_c — сболчивания; T_3 — заделки стыка	0,71
Коэффициент дробности сооружения	$k_p = \frac{N_y}{N_o} < 1$ где N_y — количество укрупненных монтажных элементов; N_o — общее количество	0,5
Коэффициент технологичности выполнения стыка	$k_{тв} = \frac{\theta_c}{\theta_k} = \frac{\theta_c}{\theta_c + \theta_y}$ θ_k — общая трудоемкость монтажа модулей УВСС; θ_c — трудоемкость устройства отдельного стыка;	0,83

Продолжительность работ сборочных работ при установке модулей в проектное положение меньше, чем меньше этот коэффициент.

Степень заводской готовности модулей УВСС:

$$k_r = \frac{\theta_3}{\theta_3 + \theta_T + \theta_M} = \frac{12,16}{12,16 + 0,31 + 0,3} = 0,95,$$

где θ_3 — трудоемкость изготовления модулей УВСС на заводе; общая трудоемкость транспортирования θ_T и монтажа θ_M модуля.

В качестве коэффициента технологичности $k_{тп}$ по числу процессов при сравнении двух вариантов, а именно разработанной УВСС и наиболее массово сейчас используемой крупно-панельной системы домостроения принято число операций, подлежащих выполнению (при других равных условиях). При этом более технологичным будет вариант с меньшим числом операций. Например, разработанное полносборное здание изготовляют из модулей УВСС, соединяемых на болтах (1-е решение), либо попанельно из крупных ж/б панелей; монтаж кранами со сваркой и омоноличиванием стыков (2-е решение). По количеству процессов технологичность первого решения (если принять за 1) — 3 процесса; 2-го решения — 20 процессов:

$$k_{тп} = 3:20 = 0,15,$$

где $k_{тп}$ — коэффициент технологичности.

При этом коэффициент технологичности по числу процессов $k_{тп}$ для 1-го варианта равен 0,85.

Коэффициент технологичности установки модуля УВСС:

$$k_{ту} = \frac{T_{вз}}{T_{вз} + T_{в} + T_{с} + T_{з}} = \frac{0,05}{0,05 + 0,01 + 0,01 + 0,0} = 0,71,$$

где параметры продолжительности: $T_{вз}$ — временное закрепление модуля в стыке; $T_{з}$ — замоноличивание стыка; $T_{с}$ — сболчивание стыков; $T_{в}$ — выверка модуля УВСС.

Коэффициент технологичности выполнения стыка:

$$k_{тв} = \frac{\theta_c}{\theta_k} = \frac{\theta_c}{\theta_c + \theta_y} = \frac{0,05}{0,05 + 0,01} = 0,83,$$

где θ_c — трудоемкость устройства стыка; θ_y — трудоемкость установки модуля в проектное положение; θ_k — общая трудоемкость монтажа УВСС модуля.

Можно делать вывод, на основании проведенных исследований, что применение высокотехнологичных строительных систем полносборных зданий из индустриальных модулей снижает затраты ручного времени более чем в 3 раза, повышает производительность за счет автоматизации и роботизации процессов. Укрупнение монтируемых модулей, трансформация модуля и увеличение размера конструктивной ячейки здания снижают трудоемкость монтажа на 10–30%; совершенствование технологичности проектов путем повышения заводской готовности и точности изготовления модулей, применения самофиксирующих соединений обеспечивает снижение стоимости СМР на 5–10% и трудоемкости на 15–25%.

Сравнительная оценка вариантов показала, что монтажная технологичность оказывает влияние на колебания на трудоемкость до 35%, стоимость — до 34% и производительность монтажа — до 50% .

Полученные зависимости показали, что для уменьшения затрат решающее значение имеет снижение массы монтируемых модулей, а для трудоемкости и заработной платы — увеличение крупности монтируемых ячеек. По результатам исследований было установлено, что за счет укрупнения модулей УВСС снижается общая трудоемкость и объем ручных работ. По мнению автора, наиболее трудоемкими являются операции монтажа элементов, доля общих монтажных трудозатрат которых превышает 65%.

Анализ процесса сборки модулей в производственных условиях показал, что метод самозаклинивающих соединений — наиболее приемлем для роботизации процесса монтажа полносборных модульных зданий из УВСС, что значительно сокращает трудоемкость геодезических и монтажных работ.

Как видно из полученных зависимостей, трудозатраты на скоростное высокотехнологичный монтаж из УВСС в 1,5–2,0 раза меньше, чем для полносборных зданий из типовых элементов.

Экономический эффект напрямую зависит от дальности транспортирования модулей УВСС: чем больше расстояние перевозки, тем целесообразность укрупнения модулей на заводе снижается.

В связи с укрупнением модулей УВСС, применения роботизированных монтажных систем, самозаклинивающих соединений, уменьшения количества элементов, контроля точности монтажа значительно сокращается количество верхолазных работ, что напрямую влияет на надежность и безопасность выполнения СМР, снижая также вероятность несчастных случаев.

С учетом выдвинутой автором в 1-й главе рабочей гипотезы, что для высокоэффективного технологического решения скоростного возведения полносборных зданий из промышленных модулей необходимо новое технологическое решение, расчет технологичности показал, что разработанная технология скоростного высокотехнологичного монтажа полносборных зданий из модулей УВСС полностью отвечает параметрам высокотехнологичного решения в сравнении с применяющимися технологиями.

На основе изложенного автором разработаны три новых технологических регламента, внедренных в практику строительства в г. Новом Уренгое, Тюменской области. При участии автора были возведены три дома с использованием разработанных технологических решений, что подтвердило высокие уровни технологичности строительных процессов (табл. 5.7).

Доказано, что технология монтажа из крупных промышленных модулей повышенной заводской готовности снижает стоимость и трудоемкость монтажа относительно кирпично-монолитных, панельных и объемно-блочных технологий возведения зданий. Установлено, что процессы «сухой» сборки типовых модулей УВСС и узлов соединений являются ведущими строительными процессами.

Таблица 5.7

Анализ технологических преимуществ разработанных решений монтажа полносборных зданий из модулей УВСС

Технико-экономические показатели	Ед. изм.	Строительные системы						
		Монтаж УВСС	Устройство каркаса и обшивка его утеплителем	Монолитный бетон	Монтаж панелей из пемзо-бетона	Монтаж средних панелей на накладках	Монтаж мелких панелей на болтах	Кирпичная кладка
Масса панели (модуля)	кг	7500	200	3000	3000	200	150	3000
Оборачиваемость	раз	10	2	0	0	7	5	0
Обшивка	—	ЦСП	Профнастил	Штукатурка	Навесной фасад	ЦСП, фанера	Фанера, ЦСП	Штукатурка
Трудоемкость монтажа	$\frac{\text{чел.-ч}}{\text{м}^2}$	0,03	3	20	5	0,4	1	10
Уход за конструкциями	—	—	+	+	+	—	—	+
Стоимость монтажа	$\frac{\text{руб.}}{\text{м}^2}$	40	600	4000	1000	80	200	2000
Теплоизоляция	—	Мин. вата, стеклопакет	Пенопласт	Газобетон керамика	Газобетон, керамика	Минвата	Стекло-вата	Керамика, газобетон
Разряд рабочих	—	1–2	3–4	5–6	4–5	3–4	3–4	5–6
Степень заводской готовности	%	95	75	50	70	85	80	60
Каркас панели (модуля)	—	Сталь	Дерево	ЖБК	ЖБК	Дерево	Дерево	ЖБК
Трудоемкость демонтажа	$\frac{\text{чел.-ч}}{\text{м}^2}$	0,2	—	—	—	0,5	1	—
Узлы соединения	—	Направляющие болты	Гвозди, саморезы	Бетон, сварка	Сварка, раствор	Накладки, болты	Болты, саморезы	Раствор, сварка

5.3. Внедрение технологии возведения полносборных зданий в практику строительства в условиях Крайнего Севера

Результаты исследований, инженерно-технологические решения, патенты, технологические регламенты, практические рекомендации, научно-методологическое обеспечение внедрены автором в теорию и практику строительства зданий в Тюменской области, Санкт-Петербурге, Ленинградской области, Москве и на Дальнем Востоке в период с 2006 по 2016 г. В результате внедрения совокупный экономический эффект составил 27 580 тыс. руб. Утвержденные три технологических регламента, восемь актов о внедрении результатов исследования, справка об участии в обследовании объектов в приведены в приложении диссертации (рис. 5.9–5.15).



Рис. 5.9. Здания с мансардными модулями УВСС: ЯНАО, г. Новый Уренгой, мкр. Строитель, поз. 8

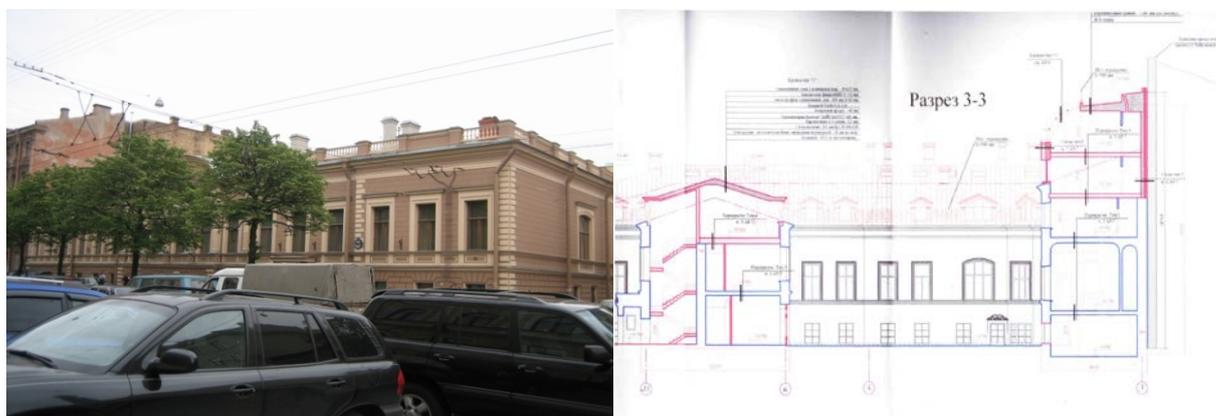


Рис. 5.10. Применение мансардных модулей УВСС: Санкт-Петербург, ул. Чайковского, д. 29, лит. А

Для обеспечения требований прочности стены выполняются из сэндвич-панелей в виде криволинейных наружных оболочек крыши и прямолинейных панелей двойных стен. Чтобы не возникали многочисленные косоугольные трапеции, внутренние и наружные оболочки стен согласовывали и стыковали в объеме замкнутой ячейки блока-мансарды.

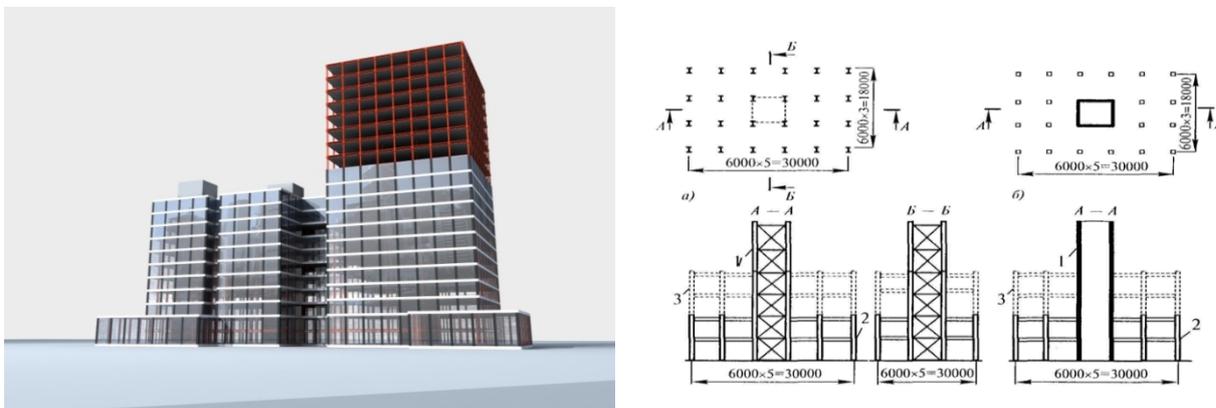


Рис. 5.11. Моделирование УВСС: *а* — со стальным ядром жесткости; *б* — с железобетонным каркасом

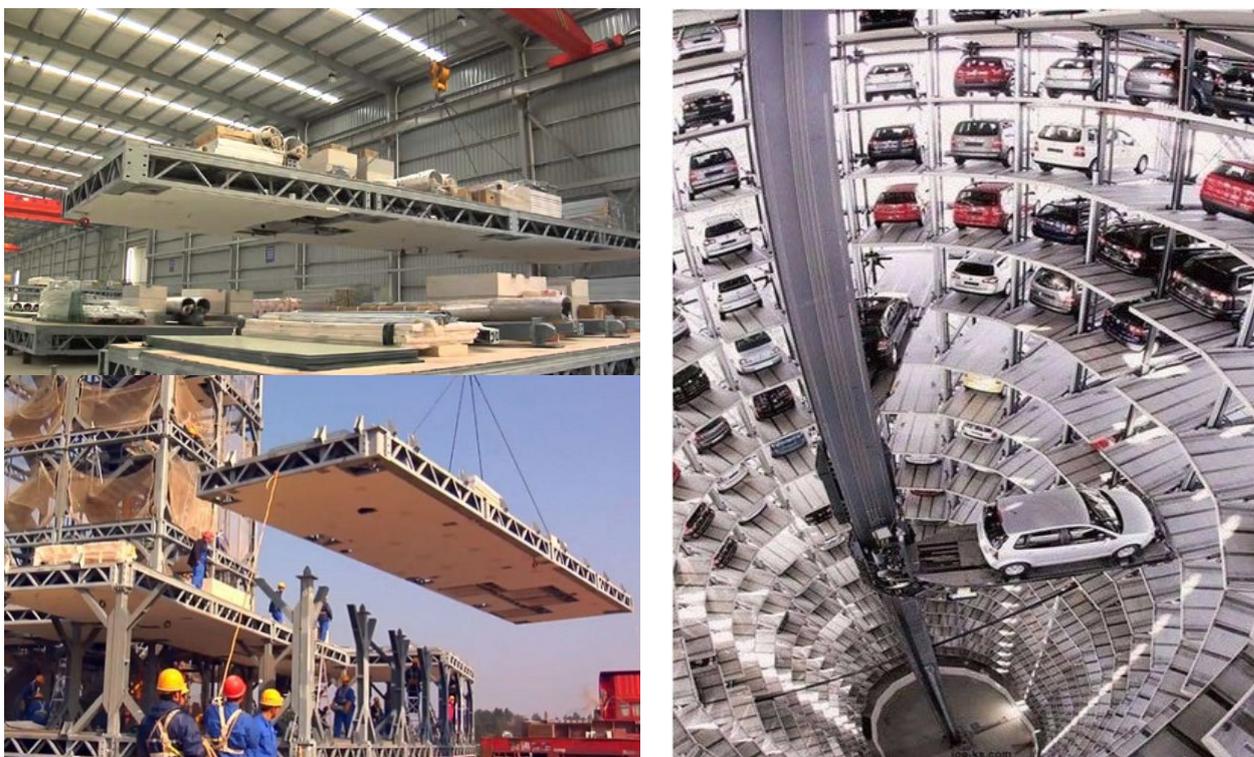


Рис. 5.12, начало. Элементы-аналоги строительной системы УВСС



Рис. 5.12, окончание. Элементы-аналоги строительной системы УВСС



Рис. 5.13. Разработка образца модуля УВСС технологии скоростного монтажа зданий



Рис. 5.14. Девятиэтажный многоквартирный жилой дом по адресу: Ленинградская область, г. Кингисепп, Крикковское шоссе, д.16 (слева) и МФЦ (справа)



Рис. 5.15. Оружейный магазин «Медведь», ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул. Глухарина, дом 4



Рис. 5.16. Жилой квартал комфорт класса «Стерхи», ЯНАО, г.Новый Уренгой, микрорайон «Дружба», дом 5.1(сверху), дом №6, ул. Дружба д.4 (по центру), жилой дом Санкт-Петербург, г.Павловск, Медвежий пер., д. 5 (слева снизу) и д. 7 (справа снизу), ООО «Мастерстройкомпания»

Для проведения экспериментальных исследований изготовленная ЗАО «Ленуренгойстрой», опытная конструкция модуля УВСС рис. 5.9, 5.13, 5.15, 5.16 в условиях Крайнего Севера, г. Новый Уренгой, разработав конструкцию средствами программы AutoCAD, с учётом результатов численных экспериментов, был выполнен комплект чертежей стадии КМД, а также рабочие чертежи сборочно-испытательного модуля УВСС.

Конструктивные части из металлических перекрытий частенько закрывали противокоррозийным слоем. Достоинство сего метода в том, что значительно возрастает время службы, промежутки между техническим обслуживанием и, при небезызвестных условиях, функциональность.



Рис. 5.17. Жилые дома Санкт-Петербург, г. Павловск, СПб, ул. Зеленовой, д. 24 и г. Пушкин, СПб, Павловское шоссе, д. 61, 63, 65, ООО «Мастерстройкомпания»

Модульные многоэтажные здания с малогабаритными квартирами решают самую насущную проблему современных мегаполисов — проблему нехватки доступного жилья для одного-двух человек в черте города. Похоже, что в Нью-Йорке занялись вопросом всерьез: My Micro NY — модульный дом с мини-квартирами, на который рассчитывает весь Нью-Йорк (см. рис. 5.14–5.17).

В апреле 2015 г. по проекту архитектурного бюро nARCHITECTS началось строительство универсальных многоквартирных зданий под социальные нужды (рис. 5.18–5.21).

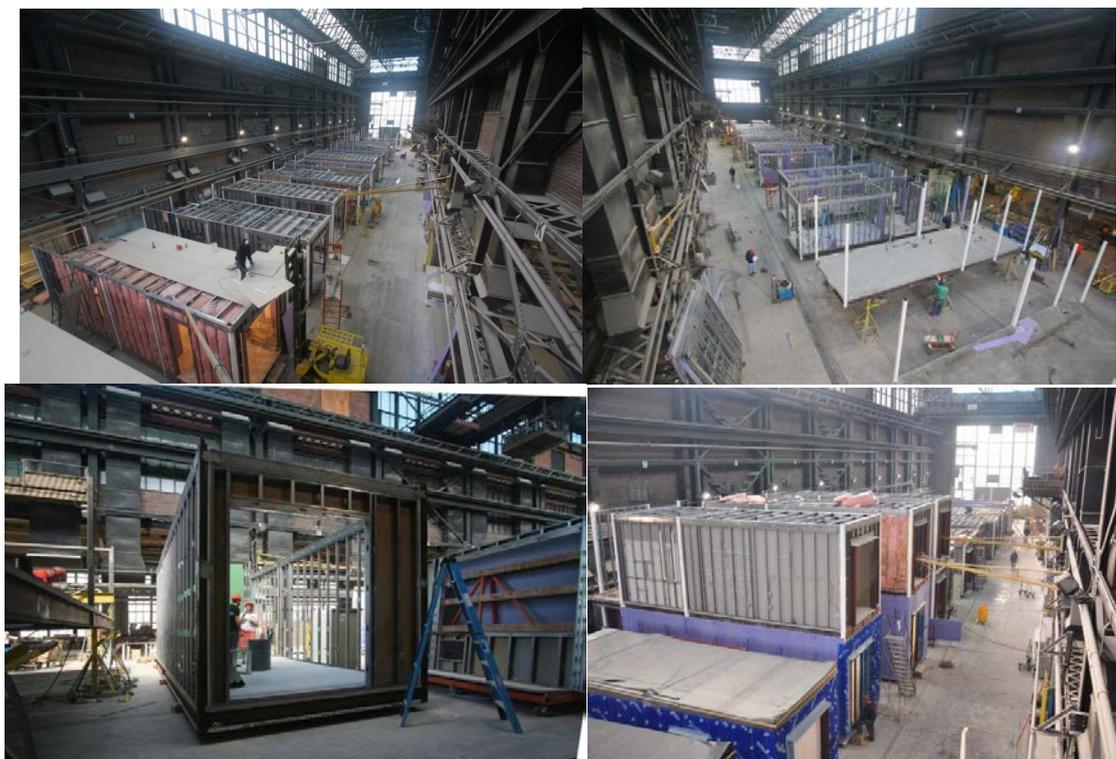


Рис. 5.18. Изготовление монтажных элементов nARCHITECTS с мини-квартирами My Micro NY, Нью-Йорк, США

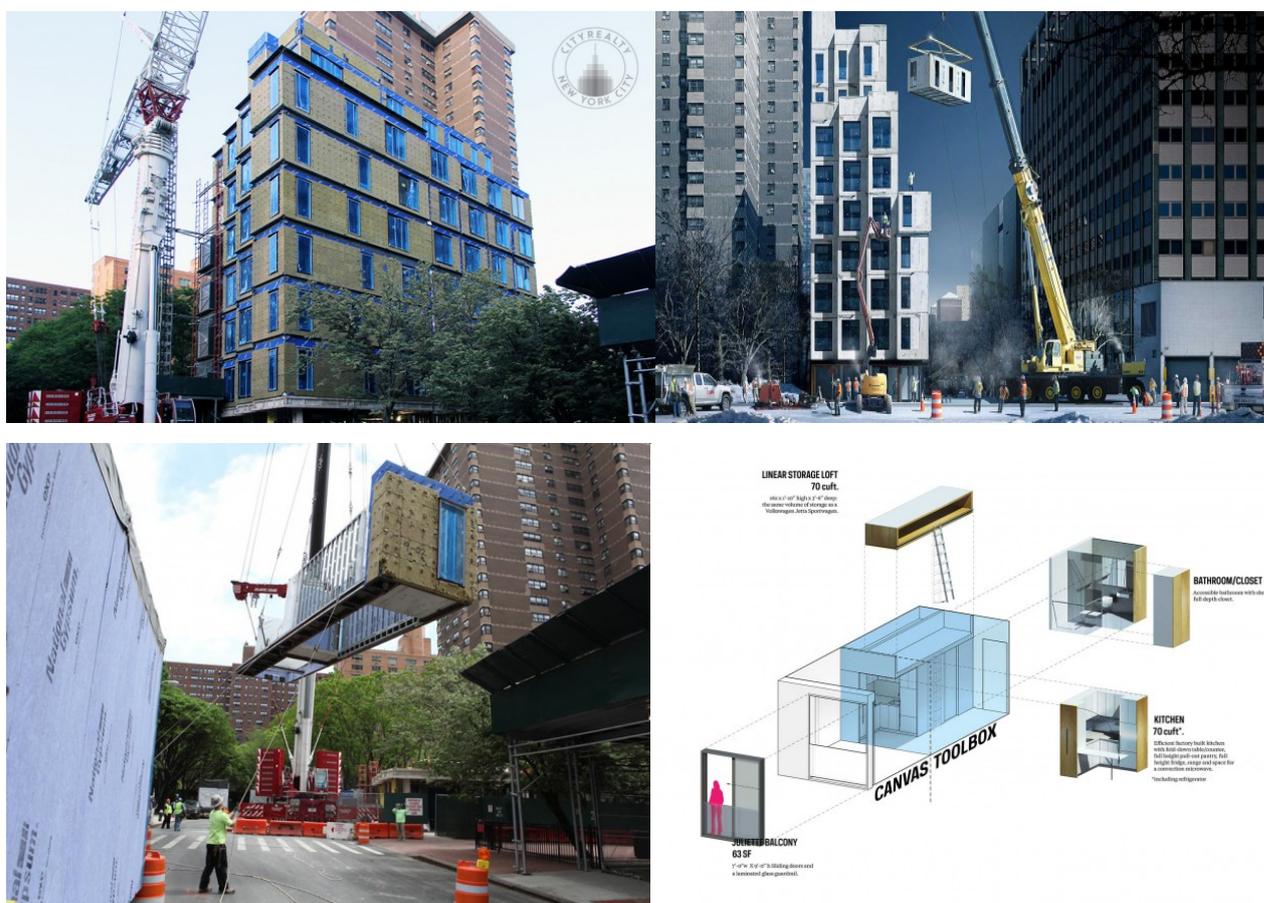


Рис. 5.19. Монтаж модульного дома nARCHITECTS, Нью-Йорк, США

Утепленные заготовки перевозят на стройплощадку обычными грузовиками, где их, словно кубики LEGO, укладывают в четыре ряда высотой в 10 этажей. Всего задействовано 92 блока, 55 из которых станут квартирами, а остальные будут отведены под общие нужды. Му Micro NY — экспериментальный проект с государственной поддержкой.

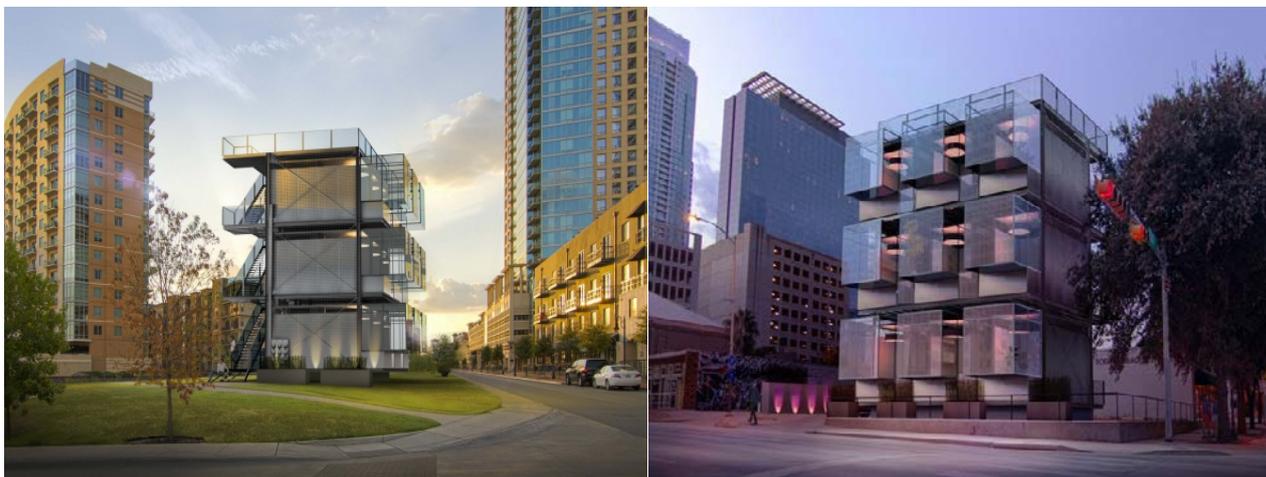


Рис. 5.20. Мобильные умные дома Kasita, США

Kasita — новый подход в промышленном дизайне. Проект представляет собой металлическую конструкцию, в которую вставляются капсулы-квартиры, изготовленные из металла и стекла. За счет этого квартиры можно вытаскивать из каркаса и перевозить в буквальном смысле слова при помощи обычного грузовика. Капсула Kasita — это мобильный и компактный дом в 20 м².

Модульные квартиры Kasita, подобно ящикам шкафа, выдвигаются и переносятся из района в район и из города в город, где вставляются в другой такой же шкаф. Площадь конструкции Kasita для установки модульной квартиры составила всего 92 м² — такое место вполне реально найти в центре любого города. В 2016 году первый модуль Kasita появился в Остине, штат Техас, а в скором времени и в других городах США и Европы.



Рис. 5.21. Сборно-разборные системы TAELEMODUL FLATPACK, China

5.4. Практика применения интерактивного монтажа при скоростной высокотехнологичной сборке зданий

Это прогрессивное индустриальное высокоскоростное строительство, в котором сделана большая подготовительная работа, облегчающая быстрый монтаж готовых структур без ошибок и рисков, которые характерны при раздельном проектировании и строительстве. Решаются задачи не только скоростного строительства, но и надежности, долговечности сооружения на сложных участках, склонах, изменения рельефа местности в неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Виртуальное проектирование рекомендуется в строительстве на проблемных участках, где необходимо найти оптимальные конструктивно-технологические решения. Сначала создается виртуальный объект в системе CAD, затем макет в системе 6D, используя готовые модули из полуфабрикатов (крыша, стены, перекрытия, лестницы). Используется программа параметрического моделирования Revit для стыковки конструктивных элементов и внутренних коммуникаций. Все собирается в единый комплект в предварительном принципиальном проекте. Затем разрабатывают модель, которую используют как инструмент и технический регламент для монтажа с контрольной проверкой применимости материалов в данном проекте.

Характерно, что для ускорения строительства используются укрупненные секции-модули заводского изготовления. Комбинированный стальной каркас сочетается с деревянными балками, используются разнообразные узлы с болто-

выми соединениями для перекрытий, стен, крепления металлических рам к бетонному ростверку фундаментов [119].

Виртуальный ППР в строительстве оказался очень надежным способом для рассмотрения и устранения недостатков архитектурно-технологического дизайна до строительства дома. Его главное преимущество — возможность осветить проблемные области монтажа и разрешить конфликты со структурными и технологическими системами.

Программное обеспечение параметрического моделирования строительного ППР, таких как Revit, уже достаточно распространено в проектировании и строительстве крупных жилых и коммерческих проектов в основном за рубежом, но сравнительно редко встречается в малоэтажной застройке. К сожалению, стоимость программы Revit слишком высока для небольших конструкторских бюро, не говоря уже о том, что изучение этой программы — сложная задача.

В качестве первого экспериментального варианта использовалась совокупность панельных и рамно-панельных конструкций, соединяемых болтами и пластинами по разработанным в интерактивном ППР технологическим картам (рис. 5.22, 5.23). Автором в процессе монтажа проводились нормативные наблюдения. Удельная трудоемкость монтажа модулей, рассчитанная в пяти домах в 2014–2016 гг. в Ленинградской области 0,78–0,97 чел.-ч на 1 м² общей площади [127, 179].

Интегральное значение технологичности в данном случае оказалось равным 0,765, что является высоким значением технологичности [125].



Рис. 5.22. Экспериментальный монтаж малоэтажного дома по предлагаемой технологии интерактивного ППР из модулей (панелей) повышенной степени заводской готовности



Рис. 5.23. Элементы трехмерной модели быстровозводимого здания
В качестве второго экспериментального варианта использовалась
монолитная технология возведения 10-этажного жилого дома (рис. 5.24).

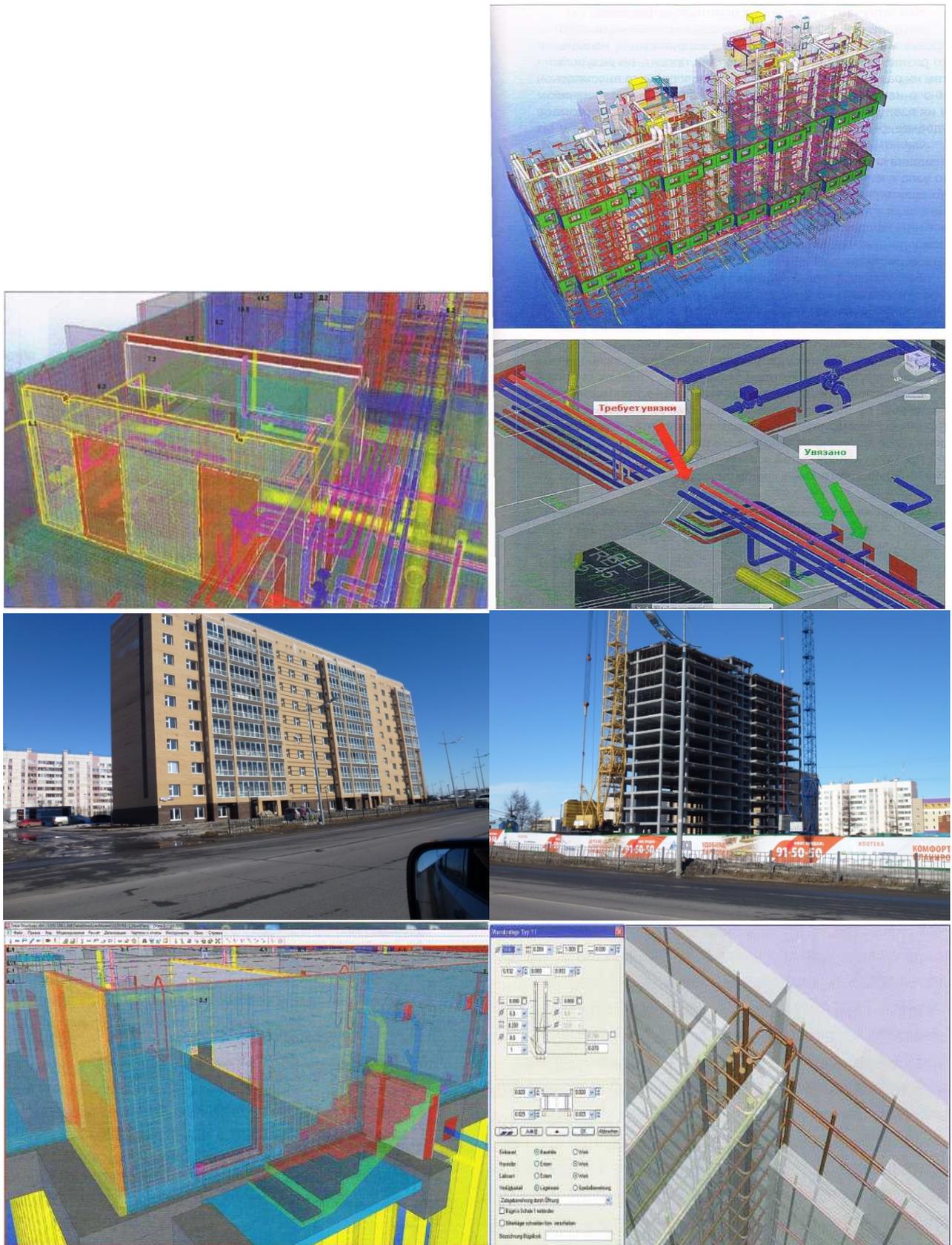


Рис. 5.24. Жилой квартал комфорт-класса «Стерхи», ЯНАО, г. Новый Уренгой, микрорайон «Дружба», дома № 5.1(справа), дом № 6, ул. Дружбы д. 4 (слева)

Основные комплекты строительной документации, требуемые при проектировании полносборных зданий из высокотехнологичных систем из

металла — КМ (конструкции металлические). Для разработки необходимы СРО; КМД (конструкции металлические деталировочные); КЖ (конструкции железобетонные); ППР (план производства работ) (рис. 5.25).

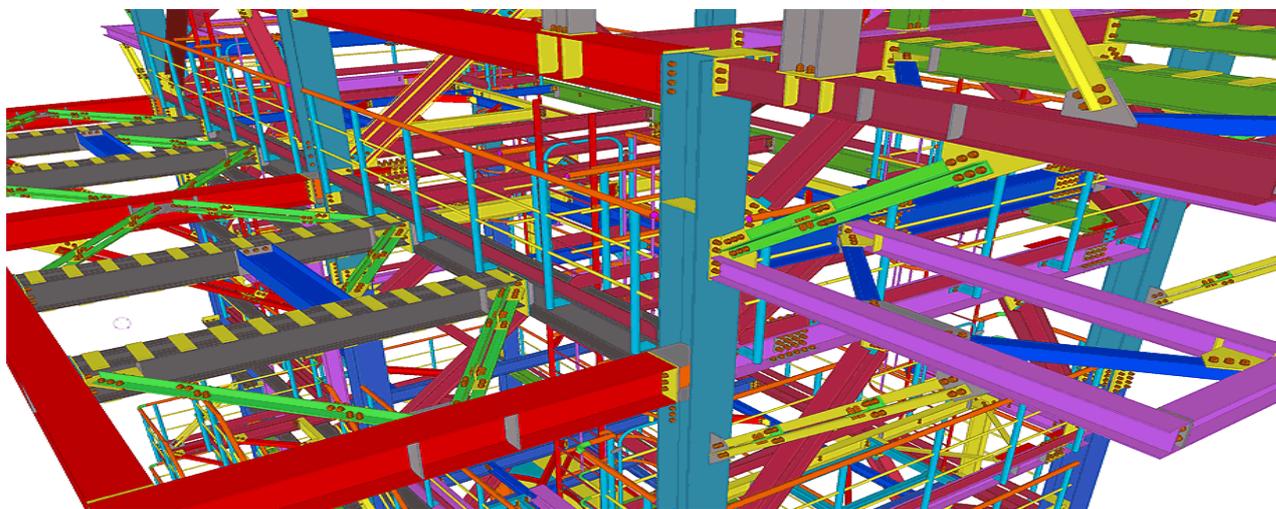


Рис. 5.25. Элементы ППР модели скоростной сборки полносборных зданий из высокотехнологичных болтовых систем

Интерактивное строительство — это прогрессивное промышленное высокоскоростное строительство, в котором сделана большая подготовительная работа, облегчающая быстрый монтаж готовых структур без ошибок и рисков, которые характерны при раздельном проектировании и строительстве. Решаются задачи не только скоростного строительства, но и надежности, долговечности сооружения на сложных участках, склонах, в неблагоприятных инженерно-геологических условиях.

Интерактивное проектирование рекомендуется в строительстве на проблемных участках, где необходимо найти оптимальные конструктивно-технологические решения. Сначала создается виртуальный объект в системе CAD 3D, затем макет в системе 6D, используя готовые модули из полуфабрикатов (крыша, стены, лестницы). Используется программа параметрического моделирования Revit для стыковки конструктивных элементов и внутренних коммуникаций. Все собирается в единый комплект в предварительном принципиальном проекте. Затем разрабатывают модель, которую используют как инструмент и технический регламент для монтажа с контрольной проверкой применимости материалов в данном проекте [109].

Характерно, что для ускорения строительства используются укрупненные секции-модули заводского изготовления. Комбинированный стальной каркас сочетается с деревянными балками, используются разнообразные узлы с болтовыми соединениями для перекрытий, стен.

5.5. Оценка эффективности скоростного возведения зданий при обратном факторном анализе в условиях Крайнего Севера из высокотехнологичных строительных систем

Принцип сопоставимости вариантов позволяет осуществить поиск оптимальных решений. Сопоставимость сравниваемых моделей традиционного и скоростного строительства полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем будет обеспечена при условии единообразия структуры моделей и идентичности сравниваемых показателей этих моделей.

Эффективность — качественная категория, отражающая глубинные процессы совершенствования. Известны показатели эффективности строительного производства: результативность, уровень организованности системы, степень достижения цели, интенсивность системы и т. д.

Для определения методов и принципов оценки эффективности полносборного модульного строительства можно рассмотреть важнейшие экономические категории — эффективность и эффект, которые показывают способность к прогрессивным количественным изменениям.

В отличие от эффекта, эффективность, стремящаяся к максимизации, учитывает еще и условия, при которых достигнут определенный результат деятельности, выраженный отношением к затратам, а эффект, как известно, завязан только на результат.

Конкурентоспособность скоростного строительства полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем оценивается альтернативными технологиями возведения зданий из модульных систем.

Для оценки конкурентоспособности скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем используются обобщенные показатели с учетом их веса и значимости:

1. Определяются частные технико-экономические показатели зданий из высокотехнологичных модулей и альтернативных вариантов — K_i .
2. Методом экспертных оценок по степени их значимости осуществляется ранжирование частных показателей.
3. Выбирается сопоставляемый вариант — «эталон».
4. Определяются частные показатели конкурентоспособности J по вариантам сопоставления с эталонным вариантом:

$$J = \frac{K_i}{K_{i_э}}, \quad (5.19)$$

где $K_{i_э}$ — «эталонный» показатель конкурентоспособности.

5. Определяется весомость частных показателей конкурентоспособности:

$$K_i = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad (5.20)$$

где i — показатель ранжированный по степени значимости.

6. Рассчитывается интегральный (совокупный) показатель конкурентоспособности скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем Y_{ku} по вариантам:

$$Y_{ku} = \left(\sum_{i=1}^{i=n} K_i J \right) \left(\sum_{i=1}^{i=n} K_i \right), \quad (5.21)$$

где n — количество показателей конкурентоспособности оцениваемых для скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем.

Результирующая характеристики показателя прибыли:

$$\max E_t = (P_t Q_t - \sum_{j=1}^{j=i} J_j x_j - FC - R_t B_t)(1 - T), \quad (5.22)$$

где n — количество факторов; T — ставка налога; J_j — цена единицы j -го фактора; B_t — стоимость несобственных фондов; P_t — цена за единицу; Q_t — количество продукции; R_t — средняя ставка по займам; E_t — чистый доход организации; x_j — количество j -го фактора; FC — фиксированные платежи.

Обозначение затрат для получения результата:

$$Z = Z_{об} + Z_o + Z_{тр} + Z_M, \quad (5.23)$$

где Z_o , $Z_{тр}$, $Z_{об}$, Z_M — затраты на воспроизводство основных, трудовых оборотных фондов и затраты на n маркетинговые мероприятия m -го вида:

$$Z_M = \sum_{m=1}^{m=n} Z_M. \quad (5.24)$$

Эффективность высокотехнологичной строительной системы можно оценивать с помощью: объема СМР высокотехнологичных комплексов; затрат на организацию их возведения; затрат на сдачу в эксплуатацию; относительной прибыли; работой поставщиков, персонала и субподрядчиков. Рассмотренный подход позволяет выбирать оптимальные стратегические ориентиры и прогнозировать результаты в конкурентной среде.

Методика сравнительной оценки различных вариантов высокоскоростного строительства полносборных зданий из модульных систем. Традиционные методы оценки сравнительной эффективности новой техники не соответствует современным условиям хозяйствования ввиду их отрыва от системы ценообразования и формирования прибыли строительных организаций. Поэтому рекомендуется экономический эффект определять в соответствии с методическими рекомендациями по формуле

$$\mathcal{E}_T = P_T - Z_T, \quad (5.25)$$

где Z_T — оценка затрат при внедрении технологии за расчетный период; \mathcal{E}_T — эффект от внедрения новой технологии; P_T — оценка результатов внедрения технологии (цена нового здания).

Формула (5.26) может быть представлена в развернутом виде:

$$\mathcal{E}_T = \sum_{t=t_n}^{t-t_k} \frac{P_t - I_t - K_t - \Lambda_t}{(1 + E_n)^{t-t_p}}, \quad (5.26)$$

где I_t — текущие затраты в t -году, K_t — единовременные затраты в t -году, Λ_t — остаточная стоимость основных фондов в t -году; $E_n = 0,1$; t — год, приводимый к расчетному году t_p .

Общий подход к выбору наилучшего варианта на этапе ТЭО сводится к следующему: отбираются альтернативные и реально осуществимые варианты с прогрессивными технологиями; по каждому варианту определяется экономический эффект, затраты и результаты. Лучшим признается вариант, у которого величина затрат минимальна, а экономический эффект максимален. Имеется программное обеспечение.

Выбор эффективной технологии возведения полносборных зданий из модулей. Необходимость сравнения различных технологических решений при выборе вариантов строительства полносборных зданий из модульных систем возникает на практике довольно часто. Выбор рациональной технологии может быть выполнен на основе комплексной экспертной оценки эффективности рассматриваемых решений.

В таблице приведен пример в виде сводной матрицы технико-экономических оценок выполнения полносборных зданий различными способами в относительных единицах. В ней рассмотрено 19 технологий и дана оценка каждой технологии по 13 технико-экономическим показателям — критериям эффективности. Выбор оптимального варианта обычными методами затруднен ввиду различной размерности (полидименсии) показателей. При решении задачи была определена значимость показателей эффективности методом экспертных оценок в виде коэффициента значимости α_k . Блок-схема определения значимости показателей эффективности на основе энтропийных характеристик.

В табл. 5.8 даны следующие обозначения: y_i — способы строительства полносборных зданий; y_1 — система «Модуль»; y_2 — универсальная

высокотехнологичная строительная система (УВСС); y_3 — система УИТ; y_4 — система «КУБ 2.5»; y_5 — система BROAD; y_6 — система УИЗ; y_7 — железобетонные объемные блок-комнаты; y_8 — система «Энергетик»; y_9 — каркасно-панельное; y_{10} — крупнопанельное домостроение; y_{11} — металлический каркас; y_{12} — деревянные сэндвич-панели; y_{13} — система «Ruukki»; y_{14} — My Micro NY; y_{15} — система БУК; y_{16} — система Nippon Kokan; y_{17} — кирпично-монолитное; y_{18} — крупноблочное; y_{19} — кирпичное.

Таблица 5.8

Технико-экономические показатели монтажа полносборных зданий

Способы возведения полносборных зданий	Технико-экономические показатели (критерии эффективности)												
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}
	Весомость показателя, α												
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}
	0,151	0,099	0,048	0,117	0,052	0,082	0,031	0,056	0,072	0,022	0,101	0,019	0,150
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
y_1	0,4	0,3	87	92	0,2	2	4	1,7	1,0	5	66	3	1
y_2	0,05	0,2	90	95	0,01	1	4	1,0	1,0	6	50	3	2
y_3	0,5	0,5	85	90	0,5	2	4	1,7	1,0	8	62	4	3
y_4	0,4	0,3	89	93	0,4	3	5	1,3	1,0	6	64	4	3
y_5	0,5	0,3	76	80	0,4	2	4	1,0	1,0	10	54	5	5
y_6	0,5	0,4	78	82	0,4	3	5	1,0	1,0	8	58	5	5
y_7	0,8	0,6	93	115	0,7	3	5	1,3	1,2	12	72	9	4
y_8	0,6	0,5	77	86	0,8	2	4	1,7	1,3	4	74	6	5
y_9	1,2	1,0	95	103	1,4	2	4	1,3	1,3	12	73	6	5
y_{10}	1,0	0,8	91	100	0,5	2	4	1,0	1,0	6	70	8	6
y_{11}	1,2	0,9	96	119	0,6	3	5	1,0	1,2	8	75	6	5
y_{12}	1,2	1,0	63	69	2,1	3	4	1,7	8,3	10	42	7	7
y_{13}	1,4	1,2	70	88	2,3	4	5	1,7	7,0	14	50	7	10
y_{14}	1,1	1,0	65	72	2,4	5	5	1,7	5,5	12	45	7	9
y_{15}	1,5	1,2	74	81	2,4	3	3	1,3	4,0	6	54	7	7
y_{16}	1,4	1,2	76	83	2,0	4	5	1,7	1,3	7	56	8	7
y_{17}	1,3	1,1	94	102	2,2	4	5	1,3	10	6	69	6	7
y_{18}	1,6	1,3	93	111	3,1	4	5	1,7	10	8	74	9	8
y_{19}	1,6	1,4	100	117	2,4	5	6	1,7	10	12	76	10	9

Технико-экономические показатели: P_1 — трудоемкость работ на строительной площадке, чел.-ч/м²; P_2 — продолжительность выполнения технологических операций, балл; P_3 — себестоимость 1 м² полносборных зданий, %; P_4 — приведенные затраты на 1 м² полносборных зданий, %; P_5 — дополнительные трудозатраты на строительной площадке, чел.-ч/м²; P_6 —

потребность в специальной технике, количество единиц; P_7 — потребность в квалифицированных рабочих, чел.; P_8 — качество работ, баллы; P_9 — сборность (степень индустриальности), %; P_{10} — расход энергоресурсов, балл; P_{11} — расход материалов, %; P_{12} — зависимость от грунта, балл; P_{13} — влияние зимних условий на производство работ, балл.

Результаты компьютерного расчета матрицы $[19 \times 13]$ указывают, что наиболее эффективной технологией является технология скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем — y_2 , которая имеет наилучшие показатели по совокупности критериев эффективности.

Быстровозводимые полносборные здания из высокотехнологичных строительных систем (УВСС) зачастую предназначены для использования в сложных и суровых условиях районов Крайнего Севера, где трудовые ресурсы и время освоения крайне ограничены, в этом случае корректно использовать критерии, приведенные в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Критерии (ограничения) оптимальности (эффективности) при скоростном возведении зданий из высокотехнологичных строительных систем

№ п/п	Критерии оптимальности	Наименование
Монокритериальный подход		
1	$K_p^1 = \min T_p^M$, где T_p^M — трудоемкость монтажа	Критерий минимума продолжительности затрат живого труда (трудозатрат)
2	$K_p^2 = \min T^M$, где T^M — время ввода в строй объекта	Критерий минимума продолжительности ввода объектов
3	$K_p^3 = \min [T^M + T^T + T^D]$, где T^D — продолжительность демонтажа; T^T — продолжительность транспортирования	Комплексный критерий минимума продолжительности транспортирования, монтаж/демонтаж
4		

№ п/п	Критерии оптимальности	Наименование
	$K_p^4 = \min \Pi_3,$ где Π_3 — приведенные затраты	Интегральный критерий минимума приведенных затрат
Поликритериальный подход		
5	$K_p^5 = \max \left[\frac{(\Pi_3^2 - \Pi_3^1) + E_n \Phi(T_2 - T_1)}{\sum_{i=1}^n \Psi_{Pi}} \right],$ где Ψ_{Pi} — численность работающих на i -й стадии жизненного цикла; n — количество стадий	Критерий снижения приведенных затрат (ускорение сроков ввода и снижение численности рабочих)
6	$K_p^6 = \min \left[\sum_{i=1}^n T_{пр}^i + \sum_{j=1}^m T_n^j + \sum_{k=1}^l T_6^k \right],$ где n, m, l — варианты затрат труда; i, j, k — виды затрат труда. Затраты: а) прошлого труда $T_{пр}$ (основные фонды и материалы по изготовлению полносборных зданий из модульных систем); б) настоящего труда T_n при возведении полносборных зданий из модульных систем; в) будущего труда T_6 (затраты по эксплуатации)	Интегральный критерий минимума затрат труда
7	$K_p^7 = \max \left[\frac{\frac{\sum_{i=1}^n q_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}}{\frac{\sum_{j=1}^l C_j}{\sum_{j=1}^l C_j^B}} \right],$ где q_i — i -й относительный показатель качества и его весомость m_i ; n — количество показателей; C_j и C_j^B — j -й и базовый показатель стоимостных затрат (изготовления, транспортирования, монтажа); l — количество показателей	Критерий эффективности конструктивной УВСС системы
8	$K_p^8 = \max [K_{мон} + K_{дем} + K_{пер} + K_{трф}],$ где $K_{мон}, K_{дем}, K_{пер}, K_{трф}$ — коэффициенты монтажа, демонтажа, перегрузки и трансформации	Критерий максимума от технологичности системы

Достижение цели различными неравноценными способами и вариантами решений — сложная задача без использования специальных методов оценки и исследования эффективности применения зданий из модульных строительных систем, важной составной частью которых является критериальная база.

При этом выбор экономически эффективных решений с учетом анализа всех целей, условий и факторов производится в каждой конкретной ситуации оценки строго индивидуально по каждому критерию оптимальности.

Преимущества зданий из трансформируемых систем УВСС очевидны:

- дополнительные модули позволяют быстро и с минимальными затратами расширить здание;
- строительство можно вести в любое время года;
- стоимость таких домов ниже каркасных зданий;
- надёжная стальная рама, раскладные стены из современных материалов, позволяющих эксплуатацию здания в климатических условиях Крайнего Севера с диапазоном температур от -70 до +45 °С;
- спроектирован в транспортных габаритах;
- из транспортного состояния трансформируется в модуль в течение нескольких минут бригадой из 2-х человек;
- здание можно построить в сжатые сроки.

В практике выбора экономически обоснованных решений скоростного строительства полносборных зданий из высокотехнологичных систем могут использоваться и различные комбинации рассмотренных критериев.

Главной особенностью применения скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем является сокращение сроков строительства, подготовки производства, монтажа и ускорение производственного цикла, таким образом эффект от ускорения начала функционирования полносборных зданий из модульных высокотехнологичных систем является решающим для общего эффекта.

Экспериментальные данные автора, выполненные на объектах внедрения, дали следующие результаты (табл. 5.10).

Сводная таблица технологической эффективности монтажа УВСС

Научно-практическая новизна	Полученный эффект	Полученное значение эффекта
Применение несъемной опалубки в производственных условиях	Снижение стоимости изготовления	3,0
Совместная работа опалубки и бетонного ядра сталебетон	Снижение массы элементов и сечения	0,45
Применение роботизированной монтажной телескопической платформы	Снижение сроков возведение и всепогодности монтажа	6,0
Разработка универсальной высокотехнологичной строительной системы (УВСС)	Снижение монтируемых типоразмеров до 2 + лестничные марш, внедрение новых соединений	–
Применение разработанного типа монтажа внецентренный	Позволяющий возводить здание изнутри, что оптимизирует траекторию подъемно-монтажных работ	3,0
Применение пассивных методов контроля точности возведения зданий УВСС радиоволны, пьезометрические и GPS-датчики	Снижение трудоемкости монтажа и контроля качества	3,0
Использование трансформирующихся несущих элементов высокотехнологичных модулей	Увеличение строительного объема	3,02
	Снижение транспортных затрат	0,5
Компоновка энергоэффективными инженерными системами	Снижение затрат на эксплуатацию	0,2
Внедрение высокотехнологичного модуля полносборного здания высокой степени заводской готовности	Степень заводской готовности капитальной системы УВСС	0,95
Виртуальное проектирование, возведение полносборных зданий на основе интерактивного ППР (иППР)	Оперативное внесение изменений в проект, высокая точность монтажа, снижение сроков возведения	0,55
Высокоэффективные соединения и оперативного контроля усилий затяжки соединений болтов и качества стыков	Снижение времени болтовых и замковых соединений трансформируемых конструкций	36,0
Разработан высокотехнологичный скоростной монтаж	Совокупное снижение сроков и трудоемкости возведения зданий УВСС	6,0

По совокупности значимых параметров наибольшую эффективность по максимально сопоставимым вариантам показывает разработанная УВСС, которая дает больший совокупный эффект в сравнении с применяемыми в строительстве системами за счет новых подходов к возведению зданий и инженерно-технологической оптимизации заложенных решений.

Таблица 5.11

Экономическая эффективность применения строительных систем

Экономический показатель	Строительная система		
	КПД	ОБД	УВСС
Экономия материалов, %	-	2	45,2
Экономия транспортных расходов, %	-	0,5	51,4
Экономия основной заработной платы, %	-	1,14	5,7
Экономия за счет эксплуатации роботов, %	-	1,7	8,3
Экономия накладных расходов, %	-	0,16	0,8
Экономия за счет ускорения ввода объекта, %	-	5,7	28,3
Сокращение условно-постоянной части накладных расходов, %	-	0,55	2,75
Капитальные вложения в основные производственные фонды организации, %	-	8,8	43,9

Примечание: КПД – крупно-панельное домостроение; ОБД – объемно-блочное домостроение; УВСС – универсальная высокотехнологичная строительная система.

Таким образом, значения, приведенные на рис. 5.26 и 5.27 отражают эффективность предлагаемых способов и методов монтажа и разработанной строительной системы даже относительно объемно-блочного домостроения (ОБД) и КПД с учетом комплектно-блочного монтажа [54], что подчеркивает особый приоритет также над крупнопанельными полносборными системами.

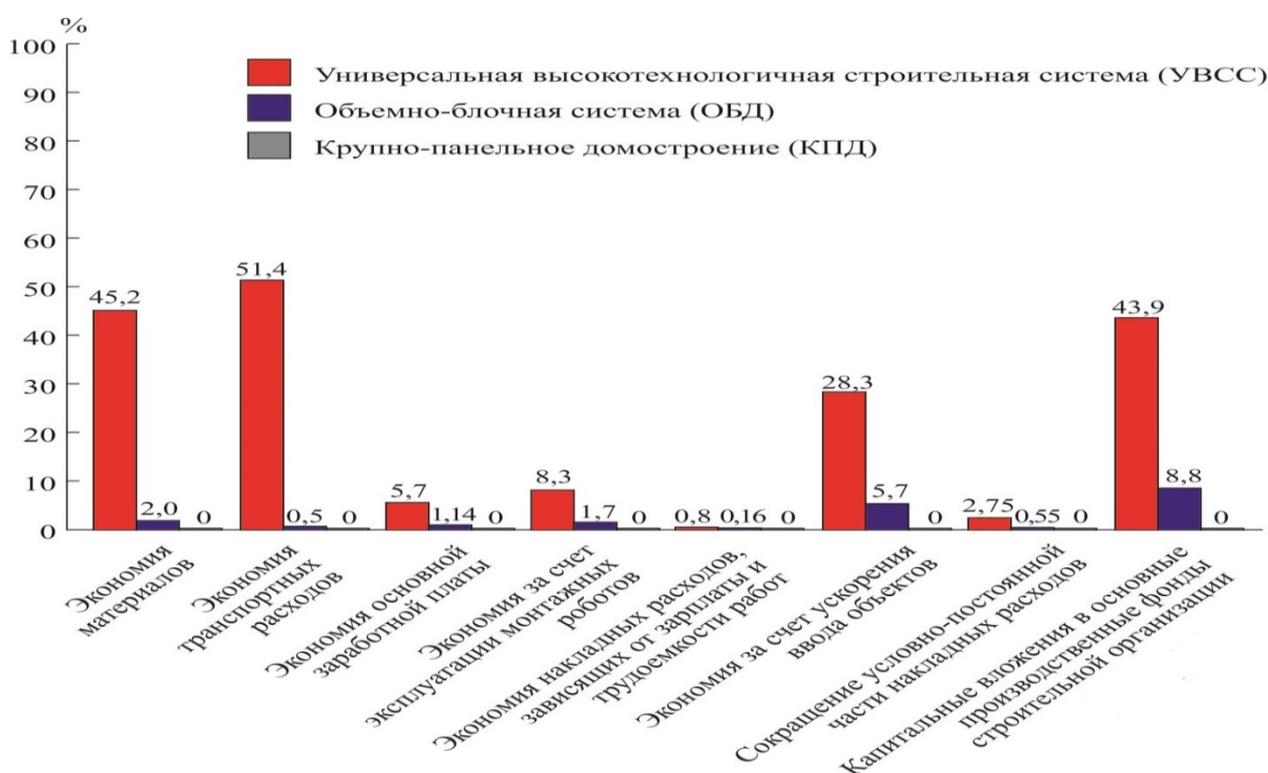


Рис. 5.26. Экономическая эффективность применения высокотехнологичного скоростного монтажа в сравнении с наиболее эффективными системами КПД и ОБД

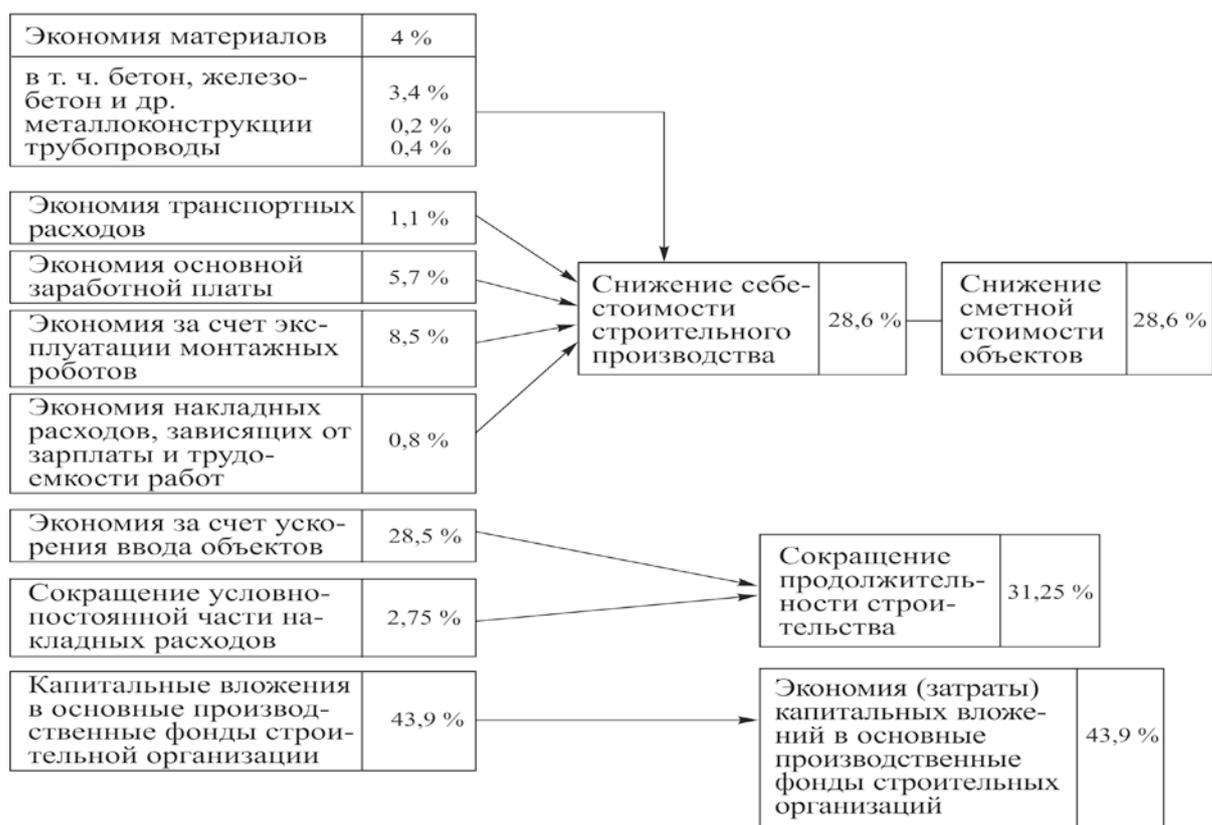


Рис. 5.27. Снижение затрат по отношению к объемно-блочному домостроению

Модульное проектирование предполагает конструктивную, технологическую и функциональную завершенность. Взаимозаменяемость комбинаторно-модульных элементов, универсальность конструкций ведут к высокой экономичности. На возведение такого здания уходит всего несколько недель, при этом не требуется больших затрат на его монтаж, а по надежности оно не уступает кирпичному или бетонному. металлоконструкции, составляющие основу здания, обладают повышенной прочностью и устойчивостью. Их монтаж не требует сварочных работ, что в значительной степени ускоряет сборку и повышает качество. Такие конструкции легко монтируются и демонтируются.

Следовательно, автор делает вывод, что общая (интегральная) эффективность при использовании полносборных зданий из высокотехнологичных модульных систем является сложным социально-экономическим понятием, суть которого состоит в расчете совокупного эффекта и совместного усиливающего влияния предложенных решений.

5.6. Практические рекомендации повышения эффективности скоростного возведения зданий из высокотехнологичных строительных систем

На основании общих путей и методов совершенствования полносборных зданий из модульных систем предложены практические рекомендации для разработанной технологии возведения полносборных зданий, а также существующих систем КУБ 2.5, объемных блоков (завод ОБД, г. Краснодар) и модульных зданий систем типа «Модуль», выпускающихся на отечественных предприятиях. В табл. 5.12 выделены перспективные параметры разработанной системы полносборного строительства, что соответствует прогнозу до 2042 год.

Производство полносборной системы КУБ 2.5 прогнозируется прекратить и заменить на разработанную систему возведения полносборных зданий. Такая замена обосновывается устойчивостью к сейсмике за счет использования металлического каркаса, жестких узлов и натяжительных тросов, которые при необходимости размещаются в структурном перекрытии и стенах.

Таблица 5.12

Многовариантный прогноз развития новой полносборной системы

Параметр	Настоящий 2016 г.	Прогноз до 2025 г.		Прогноз до 2042 г.	
1. Рациональные изменения					
Утеплитель	Минвата	Минвата		Стеклопакеты	
Наружная обшивка	Сэндвич-панели	Сэндвич-панели	Стеклопакеты	Стеклопластик	Стеклопакеты
Внутренняя обшивка	ЦСП	ЦСП	Стекловолокно	Стекловолокно	Остекление
Отделка помещений	Под ключ	Под ключ	Чистовая	деревопластик	Остекление
Кровля	Сэндвич-панели	Сэндвич-панели	Стеклопакеты	Стеклопакеты	

Параметр	Настоящий 2016 г.	Прогноз до 2025 г.		Прогноз до 2042 г.	
				Деревопластик	Стеклопластик
Каркас перекрытия	Сталь	Сталь		Деревопластик	Стеклопластик
Каркас стен	Сталь	Сталь		Пластик	
Рамы	Сталь	Сталь		Сплавы	Пластик
Вес модулей, кг	9500	4400–3000		3000–1500	1500–1100
Сети инженерные	Встроенные-энергоэффективные	Встроенные-пассивные		Встроенные-активные	
Тип соединений	Шип-гнездовые, болтовые	Электромагнитные		Срастающиеся	
Новые технологии	Энергосбережение	Энергоаккумулирующие		Биоадаптация	
Трансэлементы	Складывающиеся	Складывающиеся		Телескопические	
2. Результаты изменений					
Трудоемкость монтажа, чел.-дн.	100	90–60		60–50	20–30
Срок нормативной службы, лет	80–100	80–100		100–150	150–200
Огнестойкость	I–II	I	I	I	I
Этажность	1	2	2	2-3	3-4
Оборачиваемость, раз	–	2	3	10	Многократно
Бригада, чел.	5	2	3	Автоматика	Робот
Стоимость, у.е./м ²	115	120–130	130–140	140–150	150–200
Заводская готовность, %	85	88–89	90–92	92–93	>95

Прогнозируется развитие разработанной системы полносборного строительства:

- а) в пределах краткосрочного прогноза;
- б) в среднесрочном прогнозе (≤ 15 лет);
- в) в пределах долгосрочного прогноза (≤ 25 лет) — комплексное изменение разработанного варианта модульной системы полносборного здания, обеспечивающего еще более скоростной монтаж, в том числе роботами; новые, пассивные и активные энергосберегающие технологии, экологически чистые технологии, например «Пеностекло» [150].

Выводы по главе 5

1. Исследования по нормативно-технологическому обеспечению процесса монтажа выявило, что применение строительных систем из индустриальных модулей снижает трудоемкость работ по установке до 0,05 чел.-ч на 1 м² площади, затраты ручного времени монтажа более чем в 13,57 раза, повышает производительность за счет автоматизации и роботизации процессов, укрупнения монтируемых модулей, трансформирования модуля, увеличение размера конструктивной ячейки разработанной системы полносборного здания, снижает трудоемкость монтажа в 2,37 раза. В результате сравнительного анализа вариантов технологий возведения полносборных зданий, определены удельные трудозатраты и установлены зависимости трудоемкости монтажа зданий из унифицированных модулей от укрупненности блока: $T1 = 10Q$ и $T2 = 7,6725 + 1,6625Q$. Ошибка в нашем случае составила $\varepsilon_1 = 0 \%$, а при роботизированном монтаже $\varepsilon_2 = 95,9 \%$, что говорит о невозможности применять существующие нормы.

2. Проведена оптимизация технологических параметров и предложена взаимосвязанная комплексная система показателей технологичности быстровозводимых полносборных зданий УВСС: кг (заводской готовности) = 0,95; кб(блочности) = 0,93; кт.п (технологичности) = 0,85; кд (дробности) = 0,5; ку(укрупненности) = 5,07. Сравнительная оценка вариантов показала, что монтажная технологичность предложенных решений оказывает влияние на колебания трудоемкости от 21,4% до 133,3 % и производительности монтажа на 44 %, путем повышения заводской готовности и точности изготовления модулей, применение предлагаемых автором самофиксирующих соединений с направляющими обеспечивает снижение трудоемкости монтажа на 21,4 %.

3. Осуществлено внедрение разработанной технологии в практику строительства полносборных зданий из модулей в 2007–2016 гг. в ООО «ЯмалЖилСтрой», ЗАО «Ленуренгойстрой». Себестоимость работ сократилась на 8,2 %, трудозатраты на 30,6 %, а продолжительность работ на

45,1 %. Доказана технологическая рациональность предложенных решений полносборных зданий на основе новой домостроительной системы на объектах экспериментального строительства в ЗАО «Ленуренгойстрой» с 2007 по 2016. в г. Новом Уренгое. На основе полученных данных разработаны, утверждены и внедрены три новых руководящих технических материала «Технологические регламенты скоростного возведения полносборных зданий» при строительстве экспериментальных зданий в Тюменской области, способом «сухой» сборки.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс (5 монографий, 12 учебных пособий) ряда строительных вузов и курсов повышения квалификации страны при подготовке и переподготовке инженерно-строительных кадров.

4. Разработан и элементами внедрен в практику строительства в г. Новый Уренгой, Тюменская область и Ленинградской области интерактивный строительный проект производства работ на основе технико-информационных моделей, технологических схем и макетов строительных объектов в системе 5D: представлены особенности и принципы ускоренной сборки (монтажа, демонтажа) унифицированных модульных конструкций. Разработана методология технологического проектирования, составления ППР и ПОС на основе BIM технологий.

Высокая скорость строительства обеспечивается качественным интерактивным проектом производства работ, логикой изложения последовательности, полнотой информации, применением BIM технологий, безусловным применением постоянного контроля качества производства работ на всех стадиях строительства с автоматическим контролем точности установки строительных конструкций и выполнения технологических операций.

5. Технико-экономическая оценка позволила получить экономию материалов 45,2%, транспортных расходов 51,4%, за счет ускорения ввода в эксплуатацию 28,3%, основной заработной платы на 5,7% и т.д.. Это подтверждено, анализом дефектов при эксплуатации зданий, результатами моделирования влияния различных факторов, опытом практического внедрения, показавшая эффективность новых решений до 67,5% в сравнение с

существующими. Разработаны технологические решения монтажа 95%-ной заводской готовности трансформируемых крупных высокотехнологичных модулей. Соединение трансформируемых блок-секций и панелей между собой выполняется с помощью быстросборных замковых и болтовых соединений и направляющих. Увеличение оборачиваемости модулей до 10 раз. Производительность монтажа полносборных зданий из индустриальных модулей можно значительно повысить за счет комплексной механизации, автоматизации и роботизации процессов, трудоемкость монтажа снижается на 10–30% при сокращении типоразмеров модулей до 2.

6. Осуществлен многовариантный прогноз развития новой полносборной системы; при долгосрочном прогнозе (≤ 25 лет) — комплексное изменение разработанного варианта модульной системы полносборного здания, обеспечивающего его более скоростной монтаж, в том числе роботами; новые, активные энергосберегающие технологии, экологичные технологии.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Сформулированы новые научно-практические основы высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера, основанные на объединяющей системе новых методов и способов скоростного строительства объектов из матриц-перекрытий (УВСС).

2. Разработаны новые концептуальные решения модернизации изготовления и сборки быстровозводимых зданий по всем элементам технологического цикла от завода до объекта строительства, с учётом минимизации времени и трудозатрат, сокращения этапов производственных циклов, максимизации скорости и производительности работ, а именно комплексного применения следующих принципов: несъемной опалубки в производственных условиях, новых типов трансформируемых модулей, совершенствование стыковочных элементов, ускоряющих монтаж, организации на стройплощадке транспортно-монтажного конвейера, высокопроизводительных средств автоматизации и роботизации монтажных работ, применение комплексного энергосбережения с энергоаккумулирующими устройствами, автоматизированном мониторинге точности в условиях Крайнего Севера. Разработана информационно-технологическая модель перспективной системы УВСС.

3. Установлена количественная и качественная взаимосвязь времени, трудозатрат и качества монтажа при использовании нового специального монтажного оборудования в условиях Крайнего Севера.

4. Разработана система комплексно-интерактивной сборки зданий и оценки показателей технологичности заложенных решений в проектах производства работ с учетом многофункциональной и объемно-планировочной рационализации способов высокотехнологичного монтажа полносборных модульных зданий, что дает снижение расходов материалов 45,2 %, увеличение полезного объема модуля УВСС 42,9 %, увеличение срока службы модульных зданий до 90 лет, повышение заводской готовности до 95 %, устранение «мокрых» процессов и сварки. Проектирование на основе интерактивного

проекта производства работ дает экономию до 22 % на времени и стоимости проектирования.

5. Разработаны новые методы оперативного контроля качества, в том числе точности высокотехнологичного скоростного монтажа полносборных модульных зданий и применения комбинированных монтажно-транспортных схем с учетом минимизации трудо- и энергозатрат. Принципиально новые решения обоснованы и защищены автором 9-ю патентами РФ, такие как интерферометрические и оптоволоконные системы. Предложенные высокотехнологичные методы позволяют оперативно оценить точность монтажа, сопоставлять с моделью здания и вносить изменения в автоматизированном режиме. Расчеты транспортных расходов при совместной работы роботизированного погрузочно-разгрузочного оборудования и транспортных средств, показывают что возможно сокращение на 51,4%. Объединение в трех роботизированных монтажных потоков единую систему, а также всепогодность монтажа модулей снижает сроки выполнения операций в 6 раз.

6. Разработаны новые способы использования роботизированных телескопических монтажных платформ для автоматизированного возведения полносборных зданий из строительных трансформируемых матриц-перекрытия (УВСС) с автоматическим позиционированием модулей при монтаже и контроле выполнения технологических операций. Впервые разработаны элементы перспективного иППР на основе технико-информационных моделей строительных объектов в системе 6D из унифицированных модулей УВСС технологических карт с оперативным сопоставлением построенного объекта с моделью здания. Интерактивный монтаж полносборных зданий на основе иППР повышает качество ПОС и ППР, дает экономию: при монтаже до 15 % от стоимости работ и материалов; времени при монтаже модулей до 22 %; за счет точности расчетов до 10 %.

7. Проведена хронометражная оценка фактических затрат при монтаже УВСС и определен уровень достаточности технологического оснащения и технического обеспечения процесса высокотехнологичного монтажа

быстровозводимых трансформируемых зданий в климатических условиях Крайнего Севера. В результате получены следующие данные: k_r (заводской готовности) = 0,95; k_b (блочности) = 0,93; $k_{т.п}$ (технологичности) = 0,85; k_d (дробности) = 0,5; k_y (укрупненности) = 5,07, что позволило установить зависимости и рационализировать организационно-технологические решения монтажа: снижение трудоемкости от повышения массы и размеров модулей, заводской готовности. Применение строительных систем из индустриальных модулей снижает трудоемкость работ по установке до 0,05 чел.-ч на 1 м² площади, затраты ручного времени монтажа более чем в 13,4 раза, повышает производительность за счет автоматизации и роботизации процессов, укрупнения монтируемых модулей, трансформирования модуля, увеличение размера конструктивной ячейки разработанной системы полносборного здания, снижает трудоемкость монтажа в 2,37 раза. Сравнительная оценка вариантов показала, что монтажная технологичность предложенных решений оказывает влияние на колебания трудоемкости от 21,4% до 133,3 % и производительности монтажа на 44 %.

8. Проведена оценка эффективности строительства объектов и определены допустимые границы внедрения высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера. Прогнозная оценка эффективности позволяет получить количественную оценку, необходимую для принятия решения (экономия материалов 45,2%, экономия транспортных расходов 51,4%, экономия за счет ускорения ввода в эксплуатацию 28,3%, экономия основной заработной платы на 5,7% и т.д.). Внедрение элементов разработанной технологии осуществлено в практику строительства на Крайнем Севере, г. Новый Уренгой в ЗАО «Ленуренгойстрой» в период с 2007 по 2016 г., определена технологическая рациональность строительства полносборных зданий из индустриальных модулей УВСС. Себестоимость работ сократилась на 8,2 %, трудозатраты на 30,6 %, а продолжительность работ на 45,1 %. Осуществлено прогнозирование дальнейшего развития технологии, в перспективе к 2042 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация и роботизация строительства / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев, С. И. Евтушенко, Д. Я. Паршин. — М.: РИОР: ИНФРА-М, 2013. — 452 с.
2. Афанасьев А. В. Организация строительства быстровозводимых зданий и сооружений / А. В. Афанасьев, В. А. Афанасьев // Быстровозводимые и мобильные здания и сооружения: перспективы использования в современных условиях. — СПб. : Стройиздат, 1998. — С. 226–230.
3. Бадьин Г. М. Влияние качества проектных решений и строительно-монтажных работ на энергоэффективность зданий / Бадьин Г. М., Сычев С. А., Павлова Н. А. // Мир строительства и недвижимости. — 2013. — № 47. — С. 7–10.
4. Бадьин Г. М. Справочник строителя / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. — М. : АСВ, 2016. — 432 с.
5. Бадьин Г. М. Технология усиления строительных конструкций углеволокном / Бадьин Г. М., Сычев С. А., Ульянова Е. Е. // Мир строительства и недвижимости. — 2012. — № 43. — С. 49–52.
6. Бадьин, Г. М. Анализ дефектов монтажа и эксплуатации быстровозводимых конструкций / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2. — С. 219–220.
7. Бадьин, Г. М. Выбор эффективных технологий при производстве опалубочных работ / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. — 2005. — № 4(5). — С. 85–87.
8. Байбурин А. Х. Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий с учетом факторов, влияющих на их безопасность : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 : защищена: 15.04.2012 / А. Х. Байбурин ; науч. консультант С. Г. Головнев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т. — СПб., 2012. — 408 с.
9. Бетон и бетонные работы: справочник / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, С. А. Сычев и др. — СПб: ФОРУМ Медиа, 2014. — 221 с.

10. Булгаков С. Н. Энергоэкономичные ширококорпусные жилые дома XXI века / С. Н. Булгаков, А. И. Виноградов, В. В. Леонтьев. — М.: АСВ, 2006. — 292 с.
11. Быстровозводимые здания и сооружения / А. Н. Асаул, Ю. Н. Казаков и др. — СПб. : Гуманистика, 2004. — 472 с.
12. Ватин Н. И. BIM-технологии, или БУМ в строительном проектировании... / Н. И. Ватин, В. А. Рыбаков // Инфстрой. — 2007. — №1(31). — С. 34–36.
13. Вержбовский Г. Б. Полносборные малоэтажные здания из полимерных композитов и бетона : конструкция, расчет и технология возведения : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01, 05.23.08 : защищена 29.10.15 / Вержбовский Геннадий Бернадович. — Ростов-на-Дону, 2015. — 338 с.
14. Вильман, Ю. А. Модернизировать башенные краны в краны-манипуляторы — задача нашего времени / Ю. А. Вильман // Механизация строительства. — 2015. — № 10 (856). — С. 4–8.
15. Вильман, Ю. А. Совершенствование технологий монтажа конструкций многоэтажных зданий / Ю. А. Вильман // Интернет-Вестник ВолГАСУ. — 2013. — № 4 (29). — С. 21–27.
16. Волкова, М. С. Автоматика и автоматизация производственных процессов / М. С. Волкова. — Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2012. — 145 с.
17. ГОСТ 22853–86. Здания мобильные (инвентарные). Общие технические условия. — Введ. 1987-01-01. — М. : Гос. Комитет СССР по делам строительства : Изд-во стандартов, 1986. — 23 с.
18. ГОСТ 23118–2012. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия.— Взамен ГОСТ 23118–99; введ. 2013-07-01. — М. :Стандартинформ, 2013. — 32 с.
19. ГОСТ 24866-2014 Стеклопакеты клееные. Технические условия.— Взамен ГОСТ 24866–99; введ. 2016-01-04. — М. : Стандартинформ, 2016. — 34 с.
20. ГОСТ 26433.0–85. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения. — Введ. 1986-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 1985. — 15 с.

21. Государственные элементные сметные нормы на строительные и специальные строительные работы. ГЭСН-2001. Часть 9. Строительные металлические конструкции. М., 2009.— 36 с.
22. Дикарев, В. И. Основы технологических инноваций: учебно-методическое пособие / В. И. Дикарев, В. А. Рогалев. — СПб.: МАНЭБ, 2015. — 300 с.
23. Драчевский, С. В. Пространственные трансформируемые секции зданий-укрытий и фермы покрытий арочного типа из линзообразных блоков :дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 Красноярск, 2006. — 196 с.
24. ЕНиР Сборник Е5. Монтаж металлических конструкций. Вып. 1. Здания и промышленные сооружения. — М., 1987. — 28 с.
25. Ерофеев, П. Ю. Об исследовании рынка блок-модульного строительства быстровозводимых зданий и поселений / П. Ю. Ерофеев, М. М. Калюжнюк, Е. В. Секо // Тематический сб. трудов / под ред. д. э. н., проф. В. А. Заренкова. — СПб.: Стройиздат СПб., 2003. — С. 105–112.
26. Жилые дома блочные. Т. 2, ч. 1–2. — М. : ЦИТП, 1984. — 212 с.
27. Жилые дома панельные и каркасно-панельные. Т. 1, ч. 1. — М. : ЦИТП, 1984. — 200 с.
28. Заявка 2016110344 Российская Федерация. Система дистанционного контроля за транспортировкой высокотехнологичных строительных систем / Сычев С. А., Казаков Ю. Н. и др. — № 2016110344 ;заявл. 21.03.16.
29. Заявка 2016110373 Российская Федерация. Силоизмерительное устройство контроля качества соединения высокотехнологичных модульных систем полносборных зданий / Сычев С. А., Дикарев В. И. — № 2016110373; заявл. 21.03.16.
30. Заявка 2016113628 Российская Федерация. Строительный модуль для строительства зданий / Сычев С. А. — № 2016113628 ;заявл. 08.04.16.
31. Заявка 2016114357 Российская Федерация. Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков / Сычев С. А. — № 2016114357; заявл. 13.04.16.
32. Заявка 2016139184 Российская Федерация. Способ контроля состояния конструкции здания или инженерно-строительного сооружения и устройство

- для его осуществления / Сычев С. А., Дикарев В. И. – № 2016139184; заявл. 05.10.16.
33. Израилев, Е. М. Мобильная архитектура вчера, сегодня... послезавтра (и кое-что о капитальном строительстве) / Е. М. Израилев. — СПб.: Стройиздат СПб., 1997. — 320 с.
 34. Ильичев В. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / В. А. Ильичев, Р. А. Мангушев. – М. :АСВ, 2016. — 1040 с.
 35. Индивидуальные жилые дома: справочное пособие / В. А. Заренков и др. ; под общ. ред. Казакова Ю.Н. — СПб.: Книжный мир, 1999. — 272 с.
 36. Инструкция по возведению частного дома по системе YTONG. — М.: ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», 2009. — 56 с.
 37. Исследование и разработка эффективных организационных и технологических решений при возведении уникальных зданий и сооружений : отчет о НИР / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. ; рук. Юдина А. Ф. ; исполн.: Сычев С. А., Казаков Ю. Н. — СПб., 2015. — 439 с. — Инв. № 115121810030.
 38. Исследование снижения несущей способности конструкций ТЦ «Ладога» : отчет о НИР / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. ; рук. Бадьин Г. М. ;исполн. Сычев С. А. — СПб., 2011, — 34 с. — Инв. № 01201180175.
 39. Казаков, Ю. Н. Как построить дом: быстро и дешево / Ю. Н. Казаков.— СПб. : Питер,2011. — 304 с.
 40. Казаков, Ю. Н. Новые зарубежные строительные технологии / Ю. Н. Казаков, Ю. Е. Рафальский. — СПб., 2007. — 176 с.
 41. Казаков, Ю. Н. Система возведения домов заводского изготовления / Ю. Н. Казаков, С. А. Сычев // Наука и образование в жизни современного общества : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., 30 апреля 2015 г. — Тамбов, 2015. — Т. 2. — С. 63–65.
 42. Казаков, Ю. Н. Строительная система из сэндвич-панелей заводского изготовления / Ю. Н. Казаков, С. А. Сычев // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии :XVIIIМеждунар. науч.-практ. конф. : сб. статей / Международная академия

- наук экологии и безопасности жизнедеятельности и др. — Пенза, 2015. — С. 45–49.
43. Казачун, Г. У. Типы жилых зданий / Г. У. Казачун. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2011. — 398 с.
44. Карасев, Н. Н. Опыт эксплуатации мобильных зданий системы «Модуль» / Н. Н. Карасев, Ю. Н. Морозов. — Л.: ДНТП, 1986. — 43 с.
45. Каталог промышленных роботов [Электронный ресурс]. — Электрон.дан. — Режим доступа: <http://robotforum.ru/promyishlennyye-robotyi.html>. — Загл. с экрана. — (Дата обращения 22.01.2016).
46. Козырев, Ю. Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учеб.пособие / Ю. Г. Козырев. — М.: КНОРУС, 2013. — 318 с.
47. Кудишин, Ю. И. Металлические конструкции : учебник для студ. высш. учеб.заведений / Ю. И. Кудишин. — 13-е издание. — М.: Академия, 2014. — 688 с.
48. Курасова, Д. Т. Сетевые модели со сложными замкнутыми контурами, определение критического пути / Д. Т. Курасова, С. А. Болотин, С. А. Сычев // Инженерный вестник Дона. — 2015. — № 3(37). — С. 106.
49. Лapidус, А. А. Систематические основы автоматизации проектирования организационных структур крупномасштабного строительства :дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.12 ; Министерство образования и науки Российской Федерации, МГСУ. — М., 1997. — 222 с.
50. Матвеев, Е. П. Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий различных периодов постройки :дис. ... д-ра техн. наук в форме науч. докл. : 05.23.08 / Матвеев Евгений Петрович. — М., 2000. — 348 с.
51. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила. Проектирование многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. — М., 2005. — 126 с.
52. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара ; пер. с англ. Э. Л. Наппельбаума ; под ред. С. В. Емельянова. — М.: Мир, 1987. — 312 с.

53. Методика оперативного контроля знаний студентов и бакалавров по технологии строительного производства с использованием программированных материалов и контролирующих устройств : методические указания / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т: сост. С. А. Сычев. —СПб. : [б. и.], 2012. — 12 с.
54. Методические рекомендации по комплектно-блочному строительству объектов / ЦНИИОМТП. — М.: Госстрой СССР, 1987. — 72 с.
55. Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве, осуществляемом в районах Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним (МДС 81-34.2004), /Госстрой России/ М., 2004. — 16 с.
56. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: учеб.пособие / Р. А. Мангушев, Р. А. Усманов, С. В. Ланько, В. В. Конюшков. - М.: АСВ, 2012. - 280 с.
57. МИ 1780–87 Методические указания. ГСОЕИ. Ленты образцовые и рулетки металлические измерительные. Методика поверки [Электронный ресурс]. — Взамен ГОСТ 8.301–78; введ 1989-01-01. — Режим доступа : http://standartgost.ru/g/%D0%9C%D0%98_1780-87.
58. Назарова, Л. Г. Гражданские и промышленные здания на Севере : учеб.пособие для вузов / Л. Г. Назарова. — Л.: Стройиздат, 1989. — 248 с.
59. Нейфах, Л. С. Архитектура объемно-блочных зданий контейнерного типа для Севера / Л. С. Нейфах. — Л.: Стройиздат, 1983. — 173 с.
60. Немченко, В. В. Строительные работы — новый класс машин / В. В. Немченко // Мастерская. Современное строительство. — 2013. — №3 (102). — С. 25–28.
61. Николаев, С. В. Оптимизация проектных и производственных решений технологии производства изделий крупнопанельного домостроения :дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ЦНИИЭП Жилища. — М., 1981. — 399 с.
62. Николаев, С. В. СПКД – система строительства жилья для будущих поколений / С. В. Николаев // Жилищное строительство. — 2013. — № 1. — С. 7–15.

63. Нойферт, Э. Строительное проектирование / Э. Нойферт. — 40-е изд., перераб. и доп. — М. : Архитектура-С, 2014.— 592 с.
64. Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений. МДС 12-43.2008 / ЗАО «ЦНИИОМТП». — М.: ОАО «ЦПП», 2008. — 16 с.
65. Олейник, П. П. Научные основы организации подготовки ускоренного создания промышленных комплексов :дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 ; Министерство образования и науки Российской Федерации, МИСИ. — М., 1989. — 398 с.
66. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование. Ч. 2. Экспертные оценки / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 281 с.
67. Основные положения регулирования технической деятельности участников строительства: методическое пособие для слушателей института повышения квалификации по специальностям: «Промышленное и гражданское строительство», «Строительство в атомной отрасли» / В. В. Верстов, Г. М. Бадьин, С. В. Федоров, С. А. Сычев ; ООО «Атом.энергопром. комплекс», Центр. ин-т повышения квалификации, СПб. фил. — Обнинск : [б. и.], 2011. — 135 с.
68. Особенности проектирования и возведения. Высотные здания и другие уникальные сооружения Китая : (пер. с кит.) / ред. П. А. Акимов, В. Н. Сидоров, А. Р. Туснин. — М. : АСВ, 2013. — 808 с.
69. Панибратов, Ю. П. Эффективность применения мобильного малоэтажного строительства / Ю. П. Панибратов, А. И. Орт, Е. Д. Чекулаев // Мобильные и быстровозводимые здания, сооружения и комплексы : сб. науч. тр. — СПб., 1999. — С. 64–70.
70. Пат. 2317380 Российская Федерация, МПК E04B 7/02 (2006.01). Сборная крыша мансардного типа / Бадьин Г. М., Сычев С. А. ; патентообладатель С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. — № 2006118094/03 ; заявл. 25.05.06 ; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5.
71. Пат. 2368747 Российская Федерация, МПК E04G 23/02 (2006.01). Способ возведения сборной крыши мансардного типа / Бадьин Г. М., Сычев С. А. ;

- патентообладатель С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. — № 2007126882/03 ; заявл. 13.07.07 ; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27.
72. Пат. 2398943 Российская Федерация, МПК E04G 23/02 (2006.01). Способ ускоренного монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей / Бадьин Г. М., Сычев С. А. ; патентообладатель С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. — № 2008131743/03 ; заявл. 31.07.08;опубл. 10.09.10, Бюл. № 25.
73. Пат. 2398977 Российская Федерация, МПК E04G 23/02 (2006.01). Компьютерная система управления строительным комплексом / Сычев С. А., Дикарев В. И. – № 2016110345 ; заявл. 21.03.16. патентообладатель С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – № 2016110345 ; заявл. 21.03.16; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27.
74. Пат. 2589886 Российская Федерация, МПК G01S 13/88 (2006.01). Устройство зондирования строительных конструкций / Сычев С. А., Дикарев В. И.; патентообладатель С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т.— № 2015132541/07 ; заявл. 04.08.15 ; опубл. 10.07.16, Бюл. № 19.
75. Перемещаемые укрупненные объемные блоки : проспект фирмы «Jsoqa». — Финляндия: б. и., 1983. — 12 с.
76. Петраков, Б. И. Возведение конструкций с помощью пневмоопалубок в районах Севера / Б. И. Петраков. — Л. :Стройиздат, 1984. — 220 с.
77. Пономарев, В. А. Архитектурное конструирование : учебник для вузов / В. А. Пономарев. — 3-е изд. — М.: Архитектура-С, 2014. — 736 с.
78. Программированные материалы для оперативного контроля знаний по дисциплине «Технология строительного производства». Раздел «Земляные работы» : методические указания / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т: сост. С. А. Сычев. — СПб. : [б. и.], 2012. — 28 с.
79. Программированные материалы для оперативного контроля знаний по дисциплине "Технология строительного производства". Раздел «Бетонные и железобетонные работы» : методические указания / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т: сост. Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. — СПб. : [б. и.], 2012. — 28 с.

80. Программированные материалы для оперативного контроля знаний по технологии строительного производства. Раздел «Монтажные работы» : методические указания / С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т: сост. Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. — СПб. : [б. и.], 2012. — 28 с.
81. Программированные материалы для оперативного контроля знаний по технологии строительного производства. Раздел «Каменные работы» : методические указания / С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т: сост. С. А. Сычев. — СПб. : [б. и.], 2012. — 28 с.
82. Проектирование современных высотных зданий : [пер. с кит.] / под ред. СюйПэйфу. — М. : АСВ, 2008. — 467 с.
83. Протасевич, А. М. Энергосбережение в системах теплогоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / А. М. Протасевич. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015. — 286 с.
84. Рамсей, Ч. Архитектурные графические стандарты: справочное издание : / Ч. Рамсей, Г. Слипер. — М.: Архитектура-С, 2008. — 1088 с.
85. Регулирование технической деятельности участников строительства : учебное пособие / В. В. Верстов, Г. М. Бадьин, С. В. Федоров, С. А. Сычев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. — СПб. : [б. и.], 2012. — 124 с.
86. Рекомендации по расчету точности сборки конструкций зданий / ЦНИИОМТП. — М.: Стройиздат, 1983. — 135 с.
87. Руководство по контролю качества строительного-монтажных работ. — 4-е изд. — СПб. : Центр качества строительства, 2004. — 695 с.
88. Русецкий, А. М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / А. М. Русецкий. — Минск : БеларускаяНавука, 2014. — 375 с.
89. Сапрыкина, Н. А. Мобильное жилище для Севера / Н. А. Сапрыкина. — Л.: Стройиздат, 1986. — 216 с.
90. Сертификат соответствия «СК Гарант» Здания мобильные контейнерного типа [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — [Б. м., 2012]. — Режим доступа : <http://www.ruprom.ru/cnews/13482>. — Загл. с экрана.

91. СНиП 1.04.03-85. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. Ч. 1, Ч. 2 / Госстрой СССР, Госплан СССР. – М., 1991.– 115 с.
92. Современные свайные технологии: учеб.пособие / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин. - 2-е изд., перераб. и доп., М.: АСВ, 2010, 240 с.
93. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения : актуализированная редакция СНиП 31-06–2009 : издание официальное / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. —М., 2014. — 71 с.
94. СП 131.13330.2012. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23-02–99 : издание официальное /Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. — М., 2015. — 119 с.
95. СП 13-102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / Госстрой России. — СПб., 2004. — 60 с.
96. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции : актуализированная редакция СНиП II-23–81 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2011. —173 с.
97. СП 160.1325800.2014. Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования : издание официальное / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. — М., 2014. — 21 с.
98. СП 17.13330.2011. Кровли : актуализированная редакция СНиП II-26–76 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2011. — 69 с.
99. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия : актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2011. — 80 с.
100. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. М., 2012. — 118 с.
101. СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания : актуализированная

- редакция СНиП 2.09.04–87 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2011. — 25 с.
102. СП 48.13330.2011. Организация строительства : актуализированная редакция СНиП 12-01–2004 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2011. — 21 с.
103. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : актуализированная редакция СНиП 23-02–2003 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2012. — 95 с.
104. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные : актуализированная редакция СНиП 31-01–2003 : издание официальное / Министерство регионального развития Российской Федерации. — М., 2011. — 35 с.
105. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции: актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87 : издание официальное / Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой). — М., 2013. — 196 с.
106. Справочник основания и фундаменты / Г. И. Швецов и др. — М. : Высшая школа, 1991. — 386 с.
107. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии / под ред. Х. Нестле. — 2-е изд., испр. — М.: Техносфера, 2013. — 864 с.
108. СТО 02495359-2.001–2007. Стандарт НИИСФ РААСН «Здания высотой свыше 150 метров. Общие технические условия [Электронный ресурс]. — Электрон.дан. — [М.] : НИИСФ РААСН, JuriySOFT, 2016. — Режим доступа :<http://niisf.ru/index/0-39>.
109. СТО 95.104-2015. Разработка проектов производства работ. Общие требования // ГК РОСАТОМ.СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ. — М., 2015. — 31 с.
110. Строительство и реконструкция зданий по технологии энергоэффективного дома / Л. М. Колчеданцев и др. — Боровичи, 2015. — 170 с.
111. Сычев С. А. Индустриализация в строительстве мансард / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин // Промышленно-строительное обозрение. — 2007. — № 105. — С. 21–24.

112. Сычев С. А. Стандартизированная самостоятельная функциональная конструктивная единица / С. А. Сычев // Строительство, дизайн, архитектура: проектные решения XXI века : сб. материалов междунар. науч. е-симпозиума, Россия, г. Москва, 27–28 декабря 2014 г. — Киров, 2015. — С. 69–76.
113. Сычев С. А. Технология полносборного высокоскоростного монтажа зданий из унифицированных систем и модулей заводского изготовления. Сб. научных трудов 72-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов, СПбГАСУ, 5–7 октября 2016 г.
114. Сычев, С. А. Автоматизированная система высокоскоростного монтажа зданий из модулей и модульных систем / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2016. — № 10. — С. 1–4.
115. Сычев, С. А. Анализ структуры и содержания технологических модулей монтажа укрупненных элементов / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2016. — № 1–2. — С. 36–40.
116. Сычев, С. А. Блоксекционное строительство зданий / С. А. Сычев // «Современные концепции научных исследований», междунар. науч.-практ. конф. (5 ; 2014 ; Москва). Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований», 29–30 авг. 2014 г. / Евразийский Союз Ученых. — М., 2014.
117. Сычев, С. А. Быстровозводимые высотные здания из модульных трансформируемых строительных систем повышенной заводской готовности в условиях Крайнего Севера/ С. А. Сычев, Д. В. Шевцов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1(60).– С. 153–160.
118. Сычев, С. А. Взаимоотношения участников строительства / С. А. Сычев.— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 467 с.
119. Сычев, С. А. Виртуальные решения проектирования ППР на основе информационных BIM технологий при скоростном возведении полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2016. — № 8. — С. 1–5.
120. Сычев, С. А. Вопросы совершенствования комплексной системы управления

- качеством модульного строительства / С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. — 2015. — № 6(53). — С. 139–145.
121. Сычев, С. А. Выбор вариантов опалубок при производстве бетонных работ / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых (58 ; 2005 ; СПб.). Актуальные проблемы архитектуры строительства и транспорта : сборник докладов. Ч. 1 / Федеральное агентство по образованию, С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. — СПб., 2005. — С.71–75.
122. Сычев, С. А. Выбор технологии надстройки мансардного этажа / С. А. Сычев // Современные направления технологии строительного производства : статьи, тезисы докладов науч.-практ. семинара / СПбВИТУ. — СПб., 2006. — Вып. 9. — С. 28—33.
123. Сычев, С. А. Высокоскоростная модульная система строительства / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков // Экономические аспекты управления строительным комплексом в современных условиях : сб.статей. — Самара, 2015. — С. 183–187.
124. Сычев, С. А. Высокотехнологичная строительная система скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2016. — № 3. — С. 43–48.
125. Сычев, С. А. Домостроительная система «Сокол» / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков // Современные тенденции развития науки и технологий : сб. науч. тр. по материалам IМеждунар. науч.-практ. конф., Белгород, 30 апреля 2015 г.: в 7 ч. — Белгород, 2015. — Ч. 2. — С. 155–158.
126. Сычев, С. А. Индустриальная технология монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2017. — № 3. — С. 54–61.
127. Сычев, С. А. Инновационная технология быстрого возведения экономичных жилых домов из оптимизированных сэндвич-панелей в России / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков, М. С. Никольский // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 9–4. — С. 577–586.

128. Сычев, С. А. Инновационная технология индустриального монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев, // *Фундаментальные, поисковые и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2016 году* : сб. науч. тр. РААСН. – М., РААСН, 2017. – С. 466–475.
129. Сычев, С. А. Использование эффективных опалубок при производстве бетонных работ / С. А. Сычев // *Научно-исследовательская работа студентов в СПбГАСУ* : сб. докл. студентов участников конкурсов 2005 г. / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. — СПб., 2006. — С. 10–14.
130. Сычев, С. А. Исследование изменения трудозатрат монтажа скоростного объемно-модульного строительства / С. А. Сычев // *Промышленное и гражданское строительство*. — 2015. — № 11. — С. 67–70.
131. Сычев, С. А. Исследование факторов, влияющих на совершенствование технологий высокоскоростного модульного строительства / С. А. Сычев // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. — 2016. — Т. 16, № 1. — С. 35–40. — DOI: 10.14529/build160105.
132. Сычев, С. А. Комплексно-блочный монтаж зданий из модулей и систем повышенной заводской готовности / С. А. Сычев // *Глобальный научный потенциал*. — 2015. — № 8. — С. 71–76.
133. Сычев, С. А. Методика вариантного проектирования технологий возведения зданий и сооружений из модулей заводской готовности / С. А. Сычев // *Вестник гражданских инженеров*. — 2015. — № 5(52). — С. 119–125.
134. Сычев, С. А. Методика выбора схем комплексной механизации модульного строительства / С. А. Сычев // *Инженерный вестник Дона*. — 2015. — №4(38). — С. 65.
135. Сычев, С. А. Методика оценки качества технологий возведения зданий из блок-модулей с учетом критерия безопасности / С. А. Сычев // *Перспективы науки*. — 2015. — №8(71). — С. 161–166.
136. Сычев, С. А. Методика прогнозирования прогрессивной техники и технологии высокоскоростного монтажа модульного строительства / С. А. Сычев,

- Г. М. Бадьин // Монтажные и специальные работы в строительстве. — 2015. — № 10. — С. 22–25.
137. Сычев, С. А. Методика сравнительной оценки различных вариантов скоростного строительства из высокотехнологичных систем / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков // Вестник гражданских инженеров. — 2016. — № 2 (55). — С. 114–120.
138. Сычев, С. А. Методы обеспечения точности монтажа зданий и сооружений из объемных модулей повышенной заводской готовности / С.А.Сычев // Жилищное строительство. — 2015. — № 11. — С. 44.
139. Сычев, С. А. Методы ускорения темпов строительства / С. А. Сычев, Н. А. Павлова // Современные концепции научных исследований : сб. материалов VI международной научно-практической конференции, Москва, 26-27 сент. 2014 г. — М., 2014. — С. 23–28.
140. Сычев, С. А. Многофункциональная оптимизация в технологии высокоскоростного модульного строительства / С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. — 2016. — № 4(57). — С. 99–104.
141. Сычев, С. А. Моделирование технологических процессов ускоренного монтажа зданий из модульных систем / С. А. Сычев // Монтажные и специальные работы в строительстве. — 2015. — № 11.— С. 30–32.
142. Сычев, С. А. Нормативно-технологическое обеспечение процесса монтажа быстровозводимых модульных зданий (хронометражные исследования) / С. А. Сычев // Региональная архитектура и строительство. — 2015. — № 3(24). — С. 49–55.
143. Сычев, С. А. Оптимизация геометрических размеров унифицированных сэндвич-панелей для устройства мансард / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин // Современные направления технологии строительного производства: сб. науч.-практ. семинара / СПбВИТУ. — СПб., 2008. — Вып. 11.— С. 37–42.
144. Сычев, С. А. Оптимизация технологических решений строительства на основе быстровозводимых систем / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков // Вестник гражданских инженеров. — 2016. — № 3(56). — С. 130–135.

145. Сычев, С. А. Основные принципы «устойчивого» строительства / С. А. Сычев, Н. А. Павлова // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия : сб. материалов III международной научной конференции, Новосибирск, 19-20 сентября 2014 г. — Новосибирск, 2014. — С. 90–94.
146. Сычев, С. А. Основы строительного производства и технические инновации : учеб.пособие / С. А. Сычев, Е. В. Хорошенькая. — СПб. : СПбГАСУ, 2015. — 147 с.
147. Сычев, С. А. Оценка качества технологии высокоскоростного возведения зданий из блок-модулей с учетом критерия безопасности / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2015. — № 8. — С. 3–8.
148. Сычев, С. А. Оценка технологичности монтажа зданий и сооружений из модулей заводской готовности / С. А. Сычев // Глобальный научный потенциал. — 2015. — № 9. — С. 37–41.
149. Сычев, С. А. Перспективные технологии строительства и реконструкции зданий / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин. — СПб.: Лань, 2017. — 268 с.
150. Сычев, С. А. Прогнозирование инновационных решений и технологий полносборного строительства / С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. — 2016. — № 1(54). — С. 97–102.
151. Сычев, С. А. Прогрессивные технологии строительства мансард с применением МСК / С. А. Сычев // СтройПрофиль. — 2007. — № 2. — С. 34–35.
152. Сычев, С. А. Роботизированный монтаж быстровозводимых высотных зданий из модульных трансформируемых строительных систем повышенной заводской готовности / С. А. Сычев, Д. В. Шевцов // Вестник гражданских инженеров. — 2017. — № 2(61). — С. 140–147.
153. Сычев, С. А. Системный анализ технологий высокоскоростного строительства в России и за рубежом / С. А. Сычев // Перспективы науки. — 2015. — №9(72). — С. 126–132.
154. Сычев, С. А. Современные технологии надстройки мансард / С. А. Сычев,

- Г. М. Бадьин // Кровельные и изоляционные материалы.— 2008.— № 1. — С. 33–38.
155. Сычев, С. А. Современные технологии надстройки мансард / С. А. Сычев // Мир строительства и недвижимости.—2011. — № 39. — С. 12–13.
156. Сычев, С. А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин.— СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 288 с.
157. Сычев, С. А. Современные технологии строительства мансард без отселения жильцов / С. А. Сычев // Научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета (64-я ; 2007 ; СПб.). Доклады 64-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета : доклад, тезисы доклада. Ч. 1 / Министерство образования Российской Федерации, С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. — СПб., 2007. — С. 163–167.
158. Сычев, С. А. Современные технологии строительства мансард с применением МСК / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин // СтройПрофиль. — 2007. — № 1. — С. 29.
159. Сычев, С. А. Современные технологии строительства мансард с применением легких бетонов / С. А. Сычев // Популярное бетоноведение. — 2007. — № 3. — С. 28–30.
160. Сычев, С. А. Средства и методы обеспечения точности монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей / С. А. Сычев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых (61 ; 2008 ; СПб.). Актуальные проблемы современного строительства. Ч. 1 / С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. — СПб., 2008. — С. 174–177.
161. Сычев, С. А. Строительное производство и технические инновации : учеб.пособие / С. А. Сычев, Е. В. Хорошенькая. — СПб: СПбГАСУ, 2015. — 495 с.
162. Сычев, С. А. Структурно-функциональная схема автоматизации и высокоскоростного монтажа зданий из модулей повышенной заводской готовности / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2016. — № 5. — С. 40–43.
163. Сычев, С. А. Теория и практика индустриальной технологии монтажа

- быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / С. А. Сычев.— СПб.: СПбГАСУ, 2016. — 284 с.
164. Сычев, С. А. Технологии монтажа зданий из объемных унифицированных элементов / С. А. Сычев // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия : сборник материалов IV международной научной конференции, Россия, г. Новосибирск, 19–20 сентября 2014 г.— Новосибирск, 2014. — Т. 4, ч. 2 : Технические науки. Физико-математические науки. Социологические науки. Химические науки. Архитектура. — С. 89–90.
165. Сычев, С. А. Технологии монтажа зданий из объемных унифицированных элементов / С. А. Сычев // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия : сб. материалов VI международной научной конференции, Россия, г. Новосибирск, 14–15 ноября 2014 г. — Новосибирск, 2014. — С. 94–96.
166. Сычев, С. А. Технологии строительства и реконструкции энергоэффективных зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев, Г.Д. Макаридзе— СПб.: БХВ-Петербург, 2017. — 464 с.
167. Сычев, С. А. Технологии экостроительства / С. А. Сычев // Строительство, дизайн, архитектура: проектные решения XXI века : сб. материалов междунар. науч. е-симпозиума, Россия, г. Москва, 27–28 декабря 2014 г. — Киров, 2015. — С. 77–86.
168. Сычев, С. А. Технологические принципы ускоренного домостроения и перспективы автоматизированной и роботизированной сборки зданий / С. А. Сычев // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 3. — С. 66–70.
169. Сычев, С. А. Технология высокоскоростного строительства малоэтажных зданий // С. А. Сычев // Актуальные вопросы технических наук : сборник материалов международной научной конференции. Россия, г. Москва, 27–29 марта 2014 / под ред. проф. В. П. Ларина. — Киров, 2014. — С. 71–76.
170. Сычев, С. А. Технология монтажа быстровозводимых конструкций / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. — 2008. — № 3(4). — С. 28–30.

171. Сычев, С. А. Технология проектирования интерактивного проекта производства работ при возведении энергоэффективных зданий из модульных систем / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин // Фундаментальные, поисковые и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли российской Федерации в 2015 году : сб. науч. тр. РААСН / Рос.акад. архитектуры и строит. наук. — М., 2016. — С. 596–599.
172. Сычев, С. А. Технология ускоренного возведения мансард. Высокотехнологичный способ надстройки зданий и сооружений / С. А. Сычев. — Saarbrücken : LAP LAMBERT AP GmbH & Co. KG, 2011. — 151 p.
173. Сычев, С. А. Технология ускоренного монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей / С. А. Сычев. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 180 с.
174. Сычев, С. А. Технология устройства мансард из унифицированных панелей / С. А. Сычев // СтройПрофиль. — 2007. — № 8. — С. 42–44.
175. Сычев, С. А. Ускоренный монтаж мансард из унифицированных сэндвич-панелей / С. А. Сычев // Жилищное строительство. — 2008. — № 6. — С. 6–8.
176. Сычев, С. А. Ширококорпусные энергоэффективные здания / С. А. Сычев // Образование и наука в современных условиях : материалы междунар. науч.–практ. конф., Чебоксары, 22 окт. 2014 г. / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2014. — С. 212–215.
177. Сычев, С. А. Эко технологии строительства с учетом критериев энергоэффективного зданий / С. А. Сычев // ScienceTime. — 2014. — № 10. — С. 343–349.
178. Сычев, С. А. Энергоэффективный подход к возведению высотных зданий / С. А. Сычев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2014. — №10. — С. 122–130.
179. Сычев, С. А. Технология полносборного высокоскоростного монтажа зданий из унифицированных систем и модулей заводского изготовления / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков, М. С. Никольский // Инновационные предложения РААСН: альбом. — М., РААСН, 2016. — С. 79.

180. Теличенко, В. И. Научно-методологические основы проектирования гибких строительных технологий : дис.... д-ра техн. наук : 05.13.12 / Теличенко Валерий Иванович ; Моск. гос. строит.ун-т. — М., 1994. — 250 с.
181. Теоретико-игровой подход к проектированию высокоскоростной технологии монтажа зданий / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин и др. // Жилищное строительство. — 2015. — № 12. — С. 9–12.
182. Технологические особенности возведения высотных зданий / А. А. Афанасьев, Е. А. Король, и др. // Вестник МГСУ. — 2011. — № 6. — С. 369–373.
183. Технология возведения полносборных зданий / А. А. Афанасьев и др.— М.: АСВ, 2007. — 360 с.
184. Технология, механизация и автоматизация строительства / С. С. Атаев и др. — М., 1990. — 592 с.
185. Тимофеев, Ю. Л. Гибкие технологии возведения одноэтажных производственных зданий из линейных железобетонных конструкций : дис. д-ра техн. наук : 05.23.08 / Тимофеев Юрий Леонидович ; Ростов.гос. строит. ун-т. — Ростов-на-Дону, 2002. — 300 с.
186. Тихомиров, Б. И. Универсальная система крупнопанельного домостроения с многовариантными планировками квартир и их разнообразными сочетаниями в базовой конструкции блок-секции / Б. И. Тихомиров, А. Н. Коршунов, Р. А. Шакиров // Жилищное строительство. — 2012. — № 4. — С. 13–20.
187. Тихонов, А. Ф. Автоматизация и роботизация технологических процессов и машин в строительстве : учеб.пособие / А. Ф. Тихонов. — М.: Изд-во АСВ, 2005. — 464 с.
188. ТСН 23-334-02 Ямало-Ненецкого АО. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по энергосберегающей теплозащите [Электронный ресурс] / Департамент строительства и архитектуры, Администрация Ямало-Ненецкого автономного округа. — Электрон.дан. — [Б. м.] : ГОСТы и СНиПы, 2012–2014. — Режим доступа : http://gostisnip.ru/dokumenty/territorialnye_stroitelnye_normy_tsn/tsn_23-334-2002_yanao/. — Загл. с экрана.

189. Указ Президента РФ от 30 марта 2002 года № Пр-578 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации".
190. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями на 16 декабря 2015 года).
191. Файст, В. Основные положения по проектированию пассивных домов / Вольфганг Файст.—М.: Изд-во АСВ, 2008. — 144 с.
192. Федосенко, В. Б. Теоретические и экспериментальные исследования эффективности строительного производства в условиях Крайнего Севера : диссертация ... доктора технических наук : 05.23.08 / Федосенко Валерий Борисович; [Место защиты: Московский государственный строительный университет]. — Москва, 2005. — 352 с.
193. Цайзер, О. В. Архитектурно-пространственная организация трансформируемых спортивных сооружений: диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.21 / Цайзер Олеся Владимировна; [Место защиты: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет]. — Санкт-Петербург, 2015. — 332 с.
194. Шагина, Е. С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного производства / Е. С. Шагина // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — №6 (21). — С. 128–147.
195. Шерешевский, И. А. Жилые здания. Конструктивные системы и элементы для индустриального строительства : учеб.пособие / И. А. Шерешевский. — М.: Архитектура-С, 2014. — 124 с.
196. Эксплуатационная надежность металлических конструкций и сооружений производственных зданий в экстремальных условиях Севера / В. В. Филиппов, Т. А. Корнилов, Ф. Ф. Посельский [и др.] ; под ред. В. В. Филиппова. — М. :Физматлит, 2012. — 434 с.

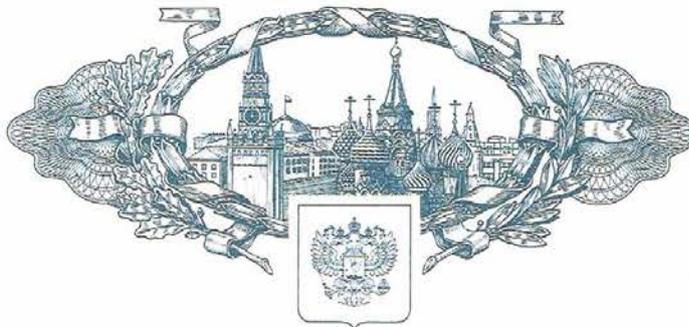
197. Adam, M. *Modulare Raumsysteme als moderne Form des Bauens/ Michael Adam.* — Berlin, 2001. — 54 s.
198. Anderson, M. *Prefab prototypes: Site-specific design for offsite construction/ M. Anderson, P. Anderson.* — New York : Princeton Architectural Press, 2007. — 123 p.
199. Badjin, G. M. *Improving the technology of construction of prefabricated buildings in the North / G. M. Badjin, S. A. Sychev // News of Science and Education.* — 2014. — № 13. — P. 86–94.
200. Badjin, G. M. *The analysis of comparative efficiency various variants of casing on the basic of a matrix of optimization / G. M. Badjin, S. A. Sychev // Geotechnical Aspects of Natural and Man-Made Disasters : The Proceedings of the International Geotechnical Symposium.* — Astana : Geotechnical Society, 2005. — P. 38–40.
201. Blomberg, K. *Distinct Ambiguity Graft / K. Blomberg.* — Frankfurt-am-Main: Gestalten Verlag, 2009. — 208 c.
202. CN102444206, *Inter-connectably assembled pre-fabricated modular building, HUANG XU-HUA, E04B-001/343; E04H-001/04, 05.09.2012.*
203. CN103015714, *Method that constructs housing fast, MA CHAOYANG, E04B-001/343; E04B-001/38; E04G-021/00, 04.03.2013.*
204. CN104060695, *Modular building and construction method thereof, YAO GU; ZHAO JIANGANG; CHEN CHENGGUANG, E04B-001/348, 09.24.2014.*
205. *Container Atlas. Handbuch der Container Architektur / J. Bergmann, H. Slawik, M. Buchmeier, S. Tinney.* — Frankfurt-am-Main: Gestalten Verlag, 2010. — 256 p.
206. Day, A. *When modern buildings are built offsite / A. Day // Building engineer.* — 2011. — № 86(6). — P. 18–19.
207. DE202014009016, *Prefabricated Element for the Training of an Annexe, HWR SYSTEM E02D-029/12; E04B-001/348, 01.08.2015.*
208. DE202014100903 *Prefabricated Building with modular Structure, BORGWARDT GISELLE E04B-001/348; E04H-001/00 , 05.22.2014.*

209. Ehmann, S. Learnfor Life / S. Ehmann, S. Borges, R. Klanten. — Frankfurt-am-Main: Gestalten Verlag, 2012. — 288 p.
210. ES2369947, Modular construction system, ELIPE MAICAS JOSÉ CARLOS, E04B-001/348, 12.09.2011.
211. Feireiss, L. Build-On. Converted Architecture and Transformed Buildings / L. Feireiss, R. Klanten. — Frankfurt-am-Main : Gestalten Verlag, 2011. — 240 p.
212. Fudge, J. Prefabricated modular concrete construction / J. Fudge, S. Brown // Building engineer. — 2011. — № 86(6). — P. 20–21.
213. Knaack, U. Prefabricated systems: Principles of construction / U. Knaack, Sh. Chung-Klatte, R. Hasselbach. — Berlin : De Gruyter, 2012. — 133 p.
214. KR20140046322, Building and fabrication method using the module house, LEE CHANG JU, E04B-001/348; E04B-001/35, 04.18.2014.
215. Lawson, R. M. Modular design for high-rise buildings / R. M. Lawson, J. Richards // Proceedings of the ICE — Structures and Buildings. — 2010. — № 163(3). — P. 151–164.
216. Nadim, W. Offsite production in the UK: The Way forward? A UK construction industry perspective / W. Nadim, J. S. Goulding // Construction Innovation: Information, Process, Management. — 2010. — № 10(2). — P. 181–202.
217. Staib, G. Components and systems : Modular construction : Design, structure, new technologies / G. Staib, A. Dörrhöfer, M. Rosenthal ; Institut für international Architektur-Dokumentation. — München, 2008. — 34 p.
218. Sychev, S. A. Energy-efficient technologies prefabricated buildings from the combined elements of full factory readiness / S. A. Sychev // Science and Education : VII International Conference, Munich, Germany, October 29–30, 2014. — Munich, 2014. — P. 239–241.
219. Sychev, S. A. Interactive construction project of manufacture of works based on BIM technology at high speed work of buildings of modular systems / S. A.

- Sychev, G. M. Badjin // *Architecture and Engineering*. — 2016. — № 4. — P. 39–48.
220. Sychev, S. A. Optimization of design — design solutions of energy-efficient buildings / S. A. Sychev // VIII International Conference on European Science and Technology, Munich, Germany, October 16–17, 2014. — Munich, 2014. — P. 425–427.
221. Sychev, S. A. Technologies for fast economical construction of residential buildings / S. A. Sychev // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. — 2015. — Vol. 10, № 17. — P. 7502–7506.
222. Sychev, S. A. Unit-attic speed construction / S. A. Sychev // *Global Science and Innovation : International Conference*. — Chicago, 2014. — P. 375–378.
223. Sychev, S. Improving Technology of Constructing Pre-Fabricated Buildings in the Conditions of Northern Regions / G. Badjin, S. Sychev, Y. Kazakov, A. Judina // *Applied Mechanics and Materials*. — 2015. — Vols. 725-726. — P. 100-104. — DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.100.
224. Sychev, S.A. Energy-economic house: Energy-Efficient construction technologies / G. M. Badjin, S. A. Sychev, N. A. Pavlova // *Transmit World*. — 2013. — Vol. 2, № 1. — Mode of access : <https://transmitworld.wordpress.com/archives/>.
225. Sychev, S.A. Monitoring and Logistics of Erection of Prefabricated Modular Buildings / S. A. Sychev, D. Sharipova // *Indian Journal of Science and Technology*. — 2015. — Vol. 8(29). — P. 1–6. — DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i1/84114.
226. US8499504, Prefabricated building and method for constructing a building, SHERBAKOV DENNIS; BLIUM LEV, E04B-001/348; E04H-001/00, 08.06.2013.
227. WO2012120162, Modular construction, AMOR CABADO GUSTAVO, E04B-001/24; E04B-001/343; E04B-001/58; E04B-002/58, 09.13.2012.
228. WO201522444, Modular building system, PEDRAZA PARIS, José Francisco E04B-001/348, 02.19.2015.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2589886

УСТРОЙСТВО ЗОНДИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015132541

Приоритет изобретения 04 августа 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 14 июня 2016 г.

Срок действия патента истекает 04 августа 2035 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.И. Изrael



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2317380

СБОРНАЯ КРЫША МАНСАРДНОГО ТИПА

Патентообладатель(ли): **ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)**

Автор(ы): **Бадьин Геннадий Михайлович (RU), Сычев Сергей Анатольевич (RU)**

Заявка № 2006118094

Приоритет изобретения 25 мая 2006 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 февраля 2008 г.

Срок действия патента истекает 25 мая 2026 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2368747

**СПОСОБ ВОЗВЕДЕНИЯ СБОРНОЙ КРЫШИ
МАНСАРДНОГО ТИПА**

Патентообладатель(ли): *ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-строительный университет"*
(RU)

Автор(ы): *Бадьин Геннадий Михайлович (RU), Сычев Сергей
Анатольевич (RU)*

Заявка № 2007126882

Приоритет изобретения **13 июля 2007 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **27 сентября 2009 г.**

Срок действия патента истекает **13 июля 2027 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2398943

**СПОСОБ УСКОРЕННОГО МОНТАЖА МАНСАРД ИЗ
УНИФИЦИРОВАННЫХ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ**

Патентообладатель(ли): *ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-строительный университет"*
(RU)

Автор(ы): *Бадьин Геннадий Михайлович (RU), Сычев Сергей
Анатольевич (RU)*

Заявка № 2008131743

Приоритет изобретения 31 июля 2008 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 10 сентября 2010 г.

Срок действия патента истекает 31 июля 2028 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2615025

**КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "СПбГАСУ") (RU)*

Авторы: *Сычев Сергей Анатольевич (RU),
Дикарев Виктор Иванович (RU)*

Заявка № 2016110345

Приоритет изобретения 21 марта 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 03 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 марта 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ ЗАЯВКИ

08.04.2016	021378	2016113628
<i>Дата поступления</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ оригиналов документов заявки ПОЛУЧЕНО 08 АПР 2016		(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №	ВХОДЯЩИЙ №
(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу			
№ заявки <input type="checkbox"/> (86) <small>(регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленные получающим ведомством)</small> <input type="checkbox"/> (87) <small>(номер и дата международной публикации международной заявки)</small>		АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ <small>(полный почтовый адрес, если для предоставления услуг)</small> 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4 ФГБОУ ВПО «СПбГАСУ» Служба интеллектуальной собственности управления научно-технических услуг Телефон: (812) 316-56-92 Факс: Е-mail:	
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента Российской Федерации на изобретение		В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Бережковская наб., 30, корп.1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995	
(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ			
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ <small>(Указывается полное имя или наименование (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, включая название страны и полный почтовый адрес)</small> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВПО «СПбГАСУ») 190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4		ОГРН 1027810225310 КОД страны по стандарту ВОИС СТ. 3 <small>(если он установлен)</small> RU	
Указанное лицо является <input type="checkbox"/> государственным заказчиком <input type="checkbox"/> муниципальным заказчиком, исполнитель работ _____ <small>(указать наименование)</small> <input type="checkbox"/> исполнителем работ по <input type="checkbox"/> государственному <input type="checkbox"/> муниципальному контракту, заказчик работ _____ <small>(указать наименование)</small> Контракт от _____ № _____			
(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ Указанное(ые) ниже лицо(а) назначено(назначены) заявителем(завязителем) для ведения дела по получению патента от его(их) имени в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Фамилия, имя, отчество (если оно имеется) Адрес:		Является <input type="checkbox"/> Патентным(и) поверенным(и) <input type="checkbox"/> Иным представителем Телефон: Факс: Е-mail:	
Срок представительства <small>(указывается в случае назначения иного представителя без предоставления доверенности)</small>		Регистрационный (е) номер (и) патентной(их) поверенности(их)	

ОТД №17
11-2 АПР 2016
2406015
[Подпись]

Количество листов	29	Фамилия лица, принявшего документы
Количество документов, подтверждающих уплату пошлины	0	Сергеева Н.Н.
Количество изображений	0	

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2619200

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗА ТРАНСПОРТИРОВКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "СПбГАСУ") (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2016110344

Приоритет изобретения 21 марта 2016 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 12 мая 2017 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 21 марта 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2621484

СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОЛНОСБОРНЫХ ЗДАНИЙ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "СПбГАСУ") (RU)*

Авторы: *Сычев Сергей Анатольевич (RU),
Дикарев Виктор Иванович (RU)*

Заявка № 2016110373

Приоритет изобретения 21 марта 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 06 июня 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 марта 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2616306

**СПОСОБ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОЭТАЖНЫХ
ЗДАНИЙ ИЗ ОБЪЕМНЫХ БЛОКОВ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "СПбГАСУ") (RU)*

Автор: *Сычев Сергей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2016114357

Приоритет изобретения **13 апреля 2016 г.**

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **14 апреля 2017 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **13 апреля 2036 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Измаилов



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)

2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, 190005. Тел: (812) 400-06-67. Факс: (812) 316-58-72. E-mail: rector @ spbgasu.ru
 ИНН 7809011023 / КПП 783901001, ОКПО 02068580, ОКВЭД 80.30.1

№ _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР, д.пед.н., профессор

И.Р. Луговская

«07» апреля 2016 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Учебно-методических разработок к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева С.А. в учебном процессе ФГБОУ ВПО СПбГАСУ

Настоящим подтверждаем, что в период 2012 по 2016 гг. были использованы и внедрены учебно-методические разработки и практические рекомендации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева Сергея Анатольевича при подготовке и реализации учебного процесса бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов и повышению квалификации специалистов занятых в строительстве:

1. *Регулирование технической деятельности участников строительства (учебное пособие). Верстов В.В., Бадьин Г.М., Федоров С.В., Сычев С.А. СПб: издательство СПбГАСУ, 2012. – 123 с.*
2. *Программированные контрольные курсы по дисциплине «Технология строительного производства, земляные работы (методическое пособие). /Сычев С. А. // СПб: Издательство СПбГАСУ, 2012. – 28 с.*
3. *Программированные материалы для оперативного контроля знаний по технологии строительного производства, монтажные работы (методическое пособие). /Сычев С. А. // СПб: Издательство СПбГАСУ, 2012. – 28 с.*
4. *Программированные материалы для оперативного контроля знаний по технологии строительного производства, каменные работы (методическое пособие). /Сычев С. А. // СПб: Издательство СПбГАСУ, 2012. – 28 с.*
5. *Программированные материалы для оперативного контроля знаний по технологии строительного производства, бетонные и железобетонные работы (методическое пособие). /Бадьин Г.М., Сычев С.А. // СПб: Издательство СПбГАСУ, 2012.– 28 с.*
6. *Методика оперативного контроля знаний студентов и бакалавров по технологии строительного производства с использованием программированных материалов и устройств (методическое пособие). /Сычев С. А. // СПб: Издательство СПбГАСУ, 2012. – 12 с.*

Методические пособия могут быть использованы преподавателями для оперативного контроля усвоения учебного материала по разделам: «Бетонные и железобетонные работы»,

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(СПбГАСУ)

2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, 190005. Тел: (812) 400-06-67. Факс: (812) 316-58-72. E-mail: rector@spbgasu.ru
ИНН 7809011023 / КПП 783901001, ОКПО 02068580, ОКВЭД 80.30.1

№ _____

На № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР, д.пед.н., профессор

И.Р. Луговская

« 29 » сентября 2016 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Учебно-методических разработок к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева С.А. в учебном процессе ФГБОУ ВПО СПбГАСУ

Настоящим подтверждаем, что в период 2015 по 2016 гг. были использованы и внедрены учебно-методические разработки и практические рекомендации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева Сергея Анатольевича при подготовке и реализации учебного процесса бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов и специалистов, занятых в строительстве по повышению квалификации:

1. *Основы строительного производства и технические инновации (учебное пособие) /Сычев С. А., Хорошенькая Е. В. // СПб: Издательство СПбГАСУ, 2015. – 147 с.;*
2. *Строительное производство и технические инновации (учебное пособие) /Сычев С. А., Хорошенькая Е. В.// СПб: Издательство СПбГАСУ, 2015. – 427 с.*

В учебных пособиях раскрыто содержание современных технологий возведения зданий, как совокупность взаимосвязанных элементов инженерной системы, объединенных единым конструктивно-технологическим решением, направленным на повышение качества, надежности, долговечности, скорости возведения и эффективности строительства.

Данные пособия предназначены показать практически используемые технологии, направленные на повышение энергоэффективности процессов строительства зданий и сооружений, скорости монтажа, уровня технологичности различных технологий, а также рассказать студентам о возможностях модернизации традиционных строительных технологий.

Учебные пособия написаны для бакалавров, магистров и аспирантов, а также специалистов, проходящих повышение квалификации в строительной сфере. Данные пособия можно рекомендовать и для обучающихся по основным и дополнительным образовательным программам.

Заведующая кафедрой СП СПбГАСУ,
д.т.н., профессор

А.Ф. Юдина

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АТОМНЫЙ ЭНЕРГОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

**Негосударственное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»
(НОУ ДПО «ЦИПК Росатома»)**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ФИЛИАЛ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор-директор

Санкт-Петербургского филиала

НОУ ДПО «ЦИПК Росатома»



Т.Н.Таиров

2016г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

*Учебно-методических разработок к.т.н., доцента, докторанта кафедры СП СПбГАСУ
Сычева С.А. в учебном процессе НОУ ДПО «ЦИПК Росатома»*

Настоящим подтверждаем, что в период 2011/2016 г. были использованы и внедрены учебно-методические разработки и практические рекомендации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева Сергея Анатольевича при подготовке и реализации учебного процесса по повышению квалификации технических специалистов Корпорации «РОСАТОМ» занятых в строительстве технически сложных и ответственных объектов.

Методическое пособие «*Основные положения регулирования технической деятельности участников строительства*» Верстов В.В., Бадьин Г.М., Федоров С.В., Сычев С.А. г.Обнинск: издательство НОУ ДПО «ЦИПК», 2011 является обобщением практического опыта организаций-субъектов строительной деятельности при осуществлении инвестиционно-строительного проекта. Много внимания уделено функциям заказчика-застройщика, генподрядчика, подрядных организаций и всех участников строительства. Учебный материал хорошо иллюстрирован, систематизирован, изложен ясно и доходчиво.

В пособии раскрывается по следующим направлениям деятельность Заказчика, Застройщика, Генпроектировщика и Генподрядчика: сметно-договорная работа, организационно-техническая подготовка производства, обеспечение безопасности СМР, охраны труда, имущества, территории; материально-техническое обеспечение, контроль качества СМР (инспекционный, приемочный и др. виды контроля), сдача и приемка работ. Рассмотрены взаимоотношения генподрядчика с участниками строительства в рамках договоров строительного подряда.

Проанализированы основные функции и задачи технического надзора и авторского надзора. Особое внимание уделено органам государственного контроля и надзора за строительством. Пособие дает возможность ориентироваться в большом объеме литературы, СП, СНиП, ГОСТ и основных законодательных актов.

Пособие написано специально для инженеров-технологов, проходящих повышения квалификации в строительной сфере. Но данное пособие можно рекомендовать аспирантам, магистрам и бакалаврам, обучающимся по иным основным и дополнительным образовательным программам по направлению «Строительство».

Директор Центра компетенций по строительству
объектов использования атомной энергии

Федоров С.В.

Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой
ГУС, а/я 968,
ЗАО «Ленуренгойстрой», тел. 949-328
факс - 949-328
№ _____

ИНН 8904003810, р/сч.40702810800000000904
Филиал АБ «Газпромбанк»(ОАО) в г.Н.Уренгой
БИК 047195753, К/сч.30101810700000000753

от « 12 » _____ 2015 г.

Утверждаю:
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»

Лазарев В.А.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева С.А. при строительстве зданий, по адресу: Тюменская область, ЯНАО, г. Новый Уренгой, поз. 6А, в III квартале МЭЗ.

Настоящим подтверждаем, что в период 2006/2009 гг. в г. Новый Уренгой при строительстве 4-х этажного жилого здания с мансардой были использованы и внедрены научно-технические разработки и практические рекомендации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева Сергея Анатольевича, по скоростному возведению каркасных конструкций при надстройке этажей из высокотехнологичных строительных систем.

Технологический эффект применения новых технологических решений достигнут за счет сокращения трудозатрат и продолжительности технологических операций монтажа при переходе на использование разработанных решений и элементов высокотехнологической строительной системы повышенной заводской готовности, существенного сокращения сроков строительства за счет заводской высокой готовности монтируемых конструкций.

Общая экономия применения модульной системы и переноса на завод производства отдельных видов работ при возведении и надстройке этажей из модулей заводского изготовления составило около 13,5% от сметной стоимости общестроительных, отделочных и специальных работ строительства здания. Экономический эффект при устройстве каркаса здания составил более 3 100,0 тыс. рублей.

В перспективе на основе данных разработок возможно комплексное устройство каркаса зданий.

Начальник ПТО

Н.Ю.Пятых

Исполнитель: Пятых Н.Ю.
т.8 9026259694

Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой
ГУС, а/я 968,
ЗАО «Ленуренгойстрой», тел. 949-328
факс - 949-328
№ _____

ИНН 8904003810, р/сч.40702810800000000904
Филиал АБ «Газпромбанк»(ОАО) в г.Н.Уренгой
БИК 047195753, К/сч.30101810700000000753

от « 16 » июля 2015г.

Утверждаю:
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»

Лазарев В.А.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева С.А. при строительстве здания оружейного магазина "Медведь", по адресу: Тюменская область, ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул Глухарина дом 4.

Настоящим подтверждаем, что 2013/2015 г. в г. Новый Уренгой, были использованы и внедрены научно-технические разработки и практические рекомендации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева Сергея Анатольевича, по использовании технологических и энергоэффективных решений высокотехнологичного возведения многоцелевых полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем при проектировании и строительстве здания торгового комплекса.

Эффективность применения новых технологических решений достигнута за счет сокращения стоимости строительства, трудозатрат и продолжительности технологических операций всего монтажного цикла при переходе на использование предложенных энергоэффективных решений, использование модулей высокотехнологической строительной системы выполненных в заводских условиях, новые методы оптимизации конструктивно-технологических решений, в результате чего достигнута более высокая категория энергетической эффективности здания. В целях экономии тепла и электроэнергии в проекте приняты следующие мероприятия: нагревательные приборы систем водяного отопления полностью или частично отключаются, отключение и регулировка производится терморегуляторами; ограждающие конструкции выполнены с учетом энергосберегающих мероприятий; вентиляционные агрегаты установлены с секцией рекуперации тепла, что значительно позволяет уменьшить потребление энергоресурсов.

Общая экономия применения модульной системы и переноса на производство отдельных видов работ составило около 15% от сметной стоимости общестроительных, отделочных и специальных работ строительства зданий.

Экономический эффект при высокотехнологичном возведении модульного здания составил более 1 400,0 тыс. рублей. При этом ежегодные эксплуатационные расходы на отопление снижены на 150 тыс. руб./год.

Начальник ПТО

Н.Ю.Пятых

Исполнитель: Пятых Н.Ю.
т.8 9026259694

Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой
ГУС, а/я 968,
ЗАО «Ленуренгойстрой», тел. 949-328
факс - 949-328
№ _____

ИНН 8904003810, р/сч.40702810800000000904
Филиал АБ «Газпромбанк»(ОАО) в г.Н.Уренгой
БИК 047195753, К/сч.30101810700000000753

от « 29 » апреля 2016г.

Утверждаю:
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»



Лазарев В.А.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

научных разработок к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева С.А. при строительстве зданий, по адресу: Тюменская область, ЯНАО, г. Новый Уренгой, жилые дома № 5.1, 5.2 и 6, микрорайон «Дружба».

Настоящим подтверждаем, что в 2011/2016 гг. в г. Новый Уренгой, жилой дом №6, микрорайон «Дружба» при проектировании и строительстве 9-и этажного панельного жилого дома были использованы и внедрены научно-технические разработки и практические рекомендации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ Сычева С.А., по модернизации технологии возведения многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем.

Технологический эффект применения новых технологических решений виртуального ППР достигнут за счет сокращения трудозатрат и продолжительности технологических операций возведения полносборных зданий всего производственного цикла при использовании предлагаемой программной системы являющейся безбумажной документацией и виртуальным воплощением информационной модели полносборного здания.

Экономический эффект выражается в сокращении стоимости строительства объекта и выражается в следующем:

1. Внедрение новых проектных и технологических решений Сычева С.А. при устройстве отдельных элементов дома экономический эффект составило 3 490,3 тыс. рублей или 18,5 % от сметной стоимости рассмотренных элементов строительства дома.

2. Доказано, что при производстве всех подготовительных работ начиная с устройства котлована даст возможность: а) скоростной визуальной сборки полносборных зданий с детализацией устраиваемых конструкций, в том числе инженерных сетей. б) главное преимущество заключается в способности осветить проблемные области монтажа и возможности разрешения конфликтов в совместимости структурных и технологических систем. в) упрощение монтажа конструкций за счет изучения проектного ППР в безбумажном исполнении, использования оперативного контроля качества и визуального представления смонтированных в проектное положение элементов объекта в целом.

Начальник ПТО

Н.Ю.Пятых

ООО "МастерСтройКомпания"

ИНН 7820024241
Адрес: 196620, г.СПб.,
г.Павловск, Медвежий пер, д.7
Р.сч.40702810255120143186
Северо-Западный банк
ПАО Сбербанк
Кор.сч.30101810500000000653
БИК 044030653 КПП 782001001
ОКПО 50854032, ОКВЭД 45.21, 45.22..
Телефакс: 452-34-60
2016г.

№

СПРАВКА

Научных разработок и рекомендаций к.т.н., доцента, докторанта каф. Строительного производства
СПбГАСУ Сычева С.А. при строительстве зданий.

Настоящим подтверждаем, что в период 2009/2016 гг. при строительстве и последующей эксплуатации построенных зданий:

- г.Павловск, СПб, Медвежий пер., д.5 и д.7, 4-х этажные кирпичные дома по новой технологии с облегченными теплыми стенами;
- г.Павловск, СПб, ул. Зеленовой, д.24 кирп. 6-квартирный дом, ул.
- г.Павловск, СПб, Лебединая, д.11 корпуса 1,2,3 по такой же технологии - 3-х этажные коттеджи;
- г.Павловск, СПб, ул. Зверининская, д.40 - коттедж 3-х этажные;
- г.Пушкин, СПб, Павловское шоссе, д. 61,63,65 Кирпич. 3-х этажные дома по новой технологии;
- г.Пушкин, СПб, ул. Новодеревенская, д.19 корп.1 - реконструкция 2-х этажные здания на территории "АВТОДОР";

, Сычев Сергей Анатольевич, принимал активное участие, а также были использованы научно-технические разработки и практические рекомендации в области контроля качества СМР и состояния сборных и монолитных конструкций высокотехнологичными оперативными методами контроля качества.



Генеральный директор
Макаридзе Г.Д.

СОГЛАСОВАНО:

Генеральный директор
ЗАО «АСЭРП»

Мазуркевич Ю.И.

« ____ » _____ 2016 г.



УТВЕРЖДАЮ:

Президент
ООО ФПГ «РОССТРО»

Макаров А.А.

« ____ » _____ 2016 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок и расчетов к.т.н., доцента, докторанта кафедры
Строительного Производства СПбГАСУ Сычева С.А. при строительстве
высокотехнологичных энергоэффективных зданий

Материалы диссертации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ
Сычева Сергея Анатольевича, разработки, расчеты и экономический эффект
применения и внедрения высокотехнологичных и энергоэффективных решений
получили своё полное подтверждение при строительстве 9-ти этажного
многоквартирного жилого дома по адресу: Ленинградская область, г.Кингисепп,
Крикковское шоссе, д.16. Застройщик ЗАО «АСЭРП».

Первоначально проект предполагал строительство кирпично-монолитного
жилого дома общей площадью 11 280 кв.м. За счёт применения
высокотехнологичных и энергоэффективных решений, технологии «ROSSTRO-
VELOX», оперативного контроля качества, изделий повышенной заводской
готовности, продаваемая площадь увеличилась на 353,7 кв. м. Продажная
стоимость дополнительной жилой площади в доме при цене 1 кв. м 47 000 руб.
составила более 16 млн. руб. При равном количестве ИТР и рабочих, занятых в
строительстве, сроки строительства и трудоёмкость сократились в 1.5 раза по
сравнению с технологией кирпично-монолитного строительства.

Экономический эффект составил 21 348 423 руб.

Вице-президент
ООО ФПГ «РОССТРО»

Антонович А.А.

СОГЛАСОВАНО:

Генеральный директор
ЗАО «АСЭРП»

Мазуркевич Ю.И.

« ____ » _____ 2016 г.



УТВЕРЖДАЮ:

Президент
ООО ФПГ «РОССТРО»

Макаров А.А.

« ____ » _____ 2016г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок и расчетов к.т.н., доцента, докторанта кафедры
Строительного Производства СПбГАСУ Сычева С.А. при строительстве
высокотехнологичных энергоэффективных зданий

Материалы диссертации к.т.н., доцента, докторанта каф. СП СПбГАСУ
Сычева Сергея Анатольевича, разработки, расчеты и экономический эффект
применения и внедрения высокотехнологичных и энергоэффективных решений
получили своё полное подтверждение при строительстве 9-ти этажного
многоквартирного жилого дома по адресу: Ленинградская область, г.Кингисепп,
Крикковское шоссе, д.16. Застройщик ЗАО «АСЭРП».

Первоначально проект предполагал строительство кирпично-монолитного
жилого дома общей площадью 11 280 кв.м. За счёт применения
высокотехнологичных и энергоэффективных решений, технологии «ROSSTRO-
VELOX», оперативного контроля качества, изделий повышенной заводской
готовности, продаваемая площадь увеличилась на 353,7 кв. м. Продажная
стоимость дополнительной жилой площади в доме при цене 1 кв. м 47 000 руб.
составила более 16 млн. руб. При равном количестве ИТР и рабочих, занятых в
строительстве, сроки строительства и трудоёмкость сократились в 1.5 раза по
сравнению с технологией кирпично-монолитного строительства.

Экономический эффект составил 21 348 423 руб.

Вице-президент
ООО ФПГ «РОССТРО»

Антонович А.А.

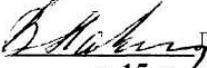
Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, г. Новый Уренгой
ЯНАО, ФГУП, тел. 949-328

ИНН 8904003810, п/с 40702810400190000773,
в ФАКБ Новоуренгойском Запсибкомбанке
ОАО, БИК 047195793
К/с 30101810100000000793

№ _____
от « _____ » _____ 2007г.

Утверждаю :
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»

 Лазарев В.А.
« 15 » января 2007г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок инженера Сычева С.А. при строительстве жилого дома в городе Новый Уренгой, поз. 6А в III квартале МЭЗ .

Настоящим подтверждаем, что в 2006/2007 г.г. в г. Новый Уренгой , поз.6А в III квартале МЭЗ при строительстве 4-х этажного жилого дома с мансардой были использованы и внедрены научно-технические разработки и практические рекомендации инженера Сычева С.А., по новой технологии возведения мансардных этажей из унифицированных легких панелей заводской готовности.

Экономический эффект применения новой технологии достигнут за счет сокращения стоимости строительства , сокращения трудозатрат и продолжительности технологических операций всего производственного цикла при использовании элементов конструкции мансарды .

Общая экономия составляет 5 % от сметной стоимости общестроительных работ строительства мансарды.

Экономический эффект при устройстве каркаса и кровли мансарды составил более 250,0 тыс. рублей..

В перспективе на основе данных разработок возможно устройство мансардных этажей при строительстве следующих жилых домов.

Технический директор



С.В.Тележенко

ООО « Межрегионжилстрой »

143966, г. Реутов, Московская область, пр-т Мира, д. 4
т/ф (095) 178-43-01, 179-49-29
ИНН 5041023366 р/с 40702810800020000001 в АКБ «БИН», г. Москва, ул. Гродненская, д. 5а К/с
30101810200000000205 БИК 044525205

Утверждаю :



Генеральный директор
ООО «Межрегионжилстрой»

Петросян Г.И.

« 29 » августа 2006г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок инженера Сычева С.А. при строительстве жилых домов в городе Солнечногорске, Московской области.

Настоящим подтверждаем, что в 2006/2007 г.г. в г. Солнечногорске Московской области при строительстве многоэтажных домов с мансардой были использованы и внедрены научно-технические разработки и практические рекомендации инженера Сычева С.А., по новой технологии возведения мансардных этажей из унифицированных сэндвич панелей заводской готовности.

Экономический эффект применения новой технологии достигнут за счет сокращения стоимости строительства, сокращения трудозатрат и продолжительности технологических операций всего производственного цикла при использовании элементов конструкции мансарды.

Общая экономия составляет 6 % от сметной стоимости общестроительных работ строительства мансарды.

Экономический эффект при устройстве каркаса и кровли мансарды составил более 400,0 тыс. рублей..

В перспективе на основе данных разработок возможно устройство мансардных этажей при малоэтажном строительстве коттеджных поселков.

Технический директор

Handwritten signature of I.A. Khmelnytsky in blue ink.

И.А.Хмельницкий



ООО «ИНТАРСИЯ»

Юр. 197046, СПб, ул. Куйбышева, д. 34, лит. А
Факт. 197046, СПб, ул. Куйбышева, д. 34, лит. А
тел.: 380-70-44
тел./факс: 380-70-38
E-mail: office@intarsia.sp.ru

ИНН 7801020442
Р/с. 40702810600000005806
ОАО "МБСП"
БИК 044030760
К/с. 30101810600000000760
ОКПО 31007510 КПП 783601001
ОКОНХ 61125 КОПФ 48



Заместитель генерального директора

Горянский Д. В.

2008 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Научных разработок и практических рекомендаций инженера Сычева Сергея Анатольевича при проектировании и реконструкции объекта под бизнес-центра класса «А» по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Чайковского д.29, лит.А

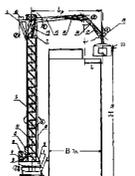
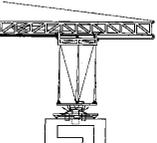
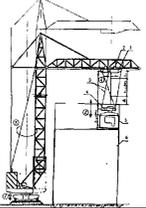
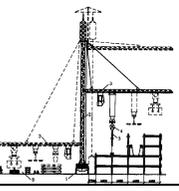
Настоящим подтверждаем, что в 2008 году в г. Санкт-Петербурге при получении проектирования и реконструкции объекта под бизнес-центра класса «А» с надстройкой этажа + мансарды были использованы научно-технические разработки и практические рекомендации руководителя проекта Сычева Сергея Анатольевича при составлении технических заданий на проектирование, составлении ПОС, ППР, согласовании и государственной экспертизе проектно-сметной документации, а также реконструкции.

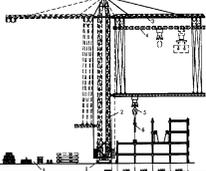
Эффект достигнут за счет сокращения стоимости и сроков получения исходно-разрешительной документации, проектирования и реконструкции, сокращения трудозатрат, продолжительности согласований и технологических операций всего производственного цикла при надстройке этажа и мансарды.

Практическое внедрение выразилось в выпуске разделов проекта, согласовании и государственной экспертизе проектно-сметной документации, выполнении технологических карт.

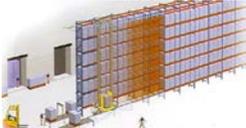
Руководитель Службы Заказчика

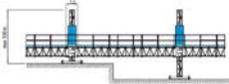
Современные технические решения строительных роботов на 2016 год рекомендуемые автором

№ п/п	Наименование	Назначение	Разработчик	Страна	Год	Особенности
1.	Башенный кран-манипулятор с рабочим оборудованием "стрела-рукоять" с жестким захватом: 	Возведение сборных зданий	МГСУ	Япония	-	1 - платформа; 2 - ходовая тележка; 3 - поворотная матформа; 4 - противовес устойчивости; 5 - башня; 6 - обойма; 7 - опора качения; 8 - грузовая лебедка; 10 - трос; 11 - трос противовеса; 12 - противовес рабочего оборудования и половины массы груза; 13 - корневая часть стрелы; 14 - рукоять; 15, 16 - гидроцилиндры стрелы и рукояти; 17 - гидроцилиндр поворота рабочего органа; 8 - привод гидроцилиндров; 19 - рабочий орган; 20 - монтируемая конструкция; Lp - вылет рабочего органа; L - вылет рукояти; Вi.a, Нi.a - ширина и высота здания
2.	Кран-автомат на базе башенного крана БКСМ-5-5А 	Возведение сборных зданий	МГСУ	Россия	2000	В данном случае достигнута низкая точность позиционирования (± 20 см), что не позволяет использовать кран в строительстве.
3.	Башенный кран-манипулятор 	Возведение сборных зданий	МГСУ	Россия	2014	1 - грузовая тележка; 2 - опоры качения; 3 - тросовая подвеска; 4 - рабочий орган захватно-манипуляторной траверсы; 5 - монтируемая конструкция; 6 - здание Принципиальным отличием, является наличие пространственной тросовой подвески.
4.	Кран-манипулятор 	Монтаж конструкций многоэтажного здания	МГСУ	Россия	2000	краном с двумя вертикально перемещающимися по башне стрелами: 1 - ходовая часть; 2 - башня; 3 - вертикально-перемещаемые стрелы; 4 - захватное устройство; 5 - монтируемая конструкция; 6 - зона складирования
5.	Кран-манипулятор с подвижным подстрелком	монтажа конструкций многоэтажного	МГСУ	Россия	2000	подвешенный к основной стреле при помощи трех пар тросов, разнесенных в плане под углом 120° и

		каркасно- панельного здания				наклоненных друг к другу под углом 6-8°. По подстрелку перемещается самоходная грузовая тележка с ориентирующим грузозахватом.
6.	Подвесные гондолы серии VMU 	предназначены для обслуживания, текущему ремонту и клинингу фасадов высотных зданий.	CABR Construction Machinery Co., Ltd	США	-	В зависимости от конфигурации здания гондолы могут быть стационарными либо передвижными , так же гондолы имеют различную грузоподъемность.
7.	Электроадгезионный строительный робот	Эффект сцепления различных тел при воздействии на систему внешнего электростатического поля (электроадгезия).	-	США	-	Принцип «приклеивания» к вертикальным поверхностям заимствован у пчелы, передвигаться по вертикальным стенам, изготовленным из любого материала.
8.	Робот-строитель «Большая Крона»	Самоподъемная строительная платформа с 4-мя гидродомкратами	Mori	Япония	2015	Используется при строительстве небесного города Sky City 100
9.	Гигантский компьютеризированный лифт-кран	Считывающий специальный штрих-код на блоках и сам монтирующий их на нужное место согласно чертежам		Корея		Предполагается, что благодаря роботам на треть сократятся трудозатраты
10.	Строительный робот HyDRAS-Ascent 	Созданная машина способна взбираться на строительные леса и конструкции.	лабораторией Virginia Tech	США	2014	Модель цепляется за опоры и балки, обвиваясь вокруг них своим телом. Робот оснащен электроприводами, которые облегчают его вес, а также встроенными сенсорами и камерами. Змеевидному роботу примерно трех футов в длину могут быть поручены опасные работы.
11.	Робот Brokk 800 	Демонтажные работы	Brokk	Швеция	2013	Brokk 800, весом в 11,3 т., эквивалентен 20-25-тонному экскаватору по мощности навесного инструмента.

12.	<p>Робот-экскаватор Husqvarna DXR 310</p> 	<p>Предназначен для среднетяжелых операций, работы внутри помещений, а также для использования в высокочувствительной окружающей среде</p>	<p>Husqvarna Construction Products</p>	<p>Швеция</p>	<p>2010</p>	
13.	<p>Строительный 3D принтер</p> 	<p>Строительство монолитных зданий, принцип работы машины позаимствован у струйных принтеров.</p>	<p>Университет Южной Калифорнии, Университет Лафборо</p>	<p>США Великобритания</p>	<p>2015</p>	<p>В США стоимость такого механизма оценивается в 1,5-2 млн долларов. Разработчики утверждают, что их робот способен самостоятельно за 24 ч возвести каркас 2-этажного здания площадью 186 м², который будет оснащен арками и каминами</p>
14.	<p>Гибкий роботизированный технологический комплекс CO-300.Ц7</p>	<p>Многоцелевое назначение: выполнение малярных, обойных и других отделочных работ.</p>	<p>Полтавском инженерно-строительном институте</p>	<p>Украина</p>		<p>Грузоподъемность машины до 300 кг, расчетная производительность до 200 м² в смену; величина хода исполнительных механизмов: длина 1500 мм, ширина 300 мм, высота 3500 мм; габариты в исходном положении: длина 1000 мм, ширина 600 мм, высота 1800 мм; масса 380 кг.</p>
15.	<p>Робот строитель «воздушный кран» R/O/B</p> 	<p>Монтаж отдельных кирпичей</p>	<p>ETH Zurich roboticist Raffaello, Gramazio & Koller</p>	<p>Швейцария</p>	<p>2008</p>	<p>Специалисты компании и архитекторы Фабио Грамазио и Матиас Келлер создали макет небоскреба «Воздушная деревня» в масштабе 1:100 Строительство идет со скоростью 100 «кирпичей» в час.</p>
16.	<p>РОБОТ F 16</p>	<p>Демонтажные работы</p>	<p>Stanley Hydraulic Tools</p>	<p>США</p>		<p>Робот строитель может сравнительно быстро сломать кирпичные стены в любые арматурно-бетонные конструкции малой формы.</p>
17.	<p>робот Hadrian</p> 	<p>Полностью автоматизированный процесс укладки кирпичей</p>	<p>Fastbrick Robotics</p>	<p>Австралия</p>	<p>2015</p>	<p>1000 кирпичей в час. Робот оснащён 28-метровым краном с рукой роботом. Hadrian использует 3D-системы автоматизированного проектирования (для более эффективной работы Марк выбрал CAD/CAM). Местоположение каждого кирпича рассчитывается отдельно, после чего машина самостоятельно укладывает кирпичи в заданном положении</p>

18.	<p>Ричстакеры Koncranes SMV 4545 TBX5</p> 	Подъемно-транспортные машины	Koncranes	Финляндия	2014	Грузоподъемность до 45 тонн. Ричстакер оснащается гибридным дизель-электрическим двигателем, электрической подъемной гидравликой и конденсатором высокой емкости.
19.	<p>Автоматизированные системы складских транс-роботов компаний Koncranes</p> 	Подъемно-транспортные машины	Koncranes	Финляндия	2008	
20.	<p>Роботизированный сваебой СП 49Д</p> 	Бурение и забивка свай	ЧелТракСнаб	Россия, Челябинск		Представляет собой мобильную установку с дизельным молотом и манипулятором для подъема свай на гусеничной базе. Используется для погружения вертикальных и наклонных свай
21.	<p>Plaster Machine Robots INTONAX 3</p> <p><small>AZ Italia S.p.A. — EdilRobotica</small></p>  <p><small>Intomax 2002 xp</small></p>	Выполняет гипсовую штукатурку стен, выравнивая, разглаживая и затирая поверхность стены с идеальным результатом.	EdilRobotica	Италия	2011	Кроме штукатурки робот способен выполнять покрасочные работы, поскольку оснащён покрасочным манипулятором.
22.	<p>Автономные самосвалы Komatsu HD605-7</p> 	Рассчитаны на перевозку 290 тонн полезного груза.	Komatsu	Япония	2015	Работа самосвалов подчинена компьютеру в диспетчерском центре, то есть включает человеческий фактор. Но в будущем ученые обещают достигнуть полной автоматизации передвижения и управления машиной.

23.	<p>Грузовые подъемники</p> 	Перевозка груза	MABER			Платформы могут перевозить груз до 4000 кг, со скоростью подъема 23 м/мин до 100 м/мин. и полной безопасностью, так как оснащены аварийным механическим тормозным устройством. Максимальная высота подъема может достигать 300 м
24.	<p>Многофункциональный робот Mesa Robotics Acer</p> 	Планировка территории, погрузо-разгрузочные работы	Mesa Robotics	США	2015	Робота можно использовать не только в военных целях, но и в строительстве. Робот с лёгкостью расчищает территорию для строительства, а также служит для погрузки материалов, оборудования и буксировки транспортных средств.
25.	<p>Кран – манипулятор FASSI F1950RA.2.28</p> 	Перевозка груза и погрузо-разгрузочные работы, манипуляции	FASSI	Италия	-	<p>Грузовой момент до 137,5 тм.</p> <p>Максимальный вылет стрелы до 31,00 м (с учетом гуська)</p> <p>Крюк на 30 т</p>
26.	<p>KUKA KR 1300, Fanuc M-2000iA/2300, Kawasaki MG15HL</p> 	Манипулятор	<p>Kuka</p> <p>Fanuc</p> <p>Kawasaki</p>	<p>Германия</p> <p>Япония</p> <p>Япония</p>	2007	<p>Число степеней свободы: 5, Дотягаемость: 3200 мм, Грузоподъемность: 1300 кг, Точность \ повторяемость: 0.2 мм, Вес манипулятора: 4690 кг</p> <p>Число степеней свободы: 6, Дотягаемость: 3734 мм, Грузоподъемность: 2300 кг, Точность \ повторяемость: 0.3 мм, Вес манипулятора: 11000 кг</p>
27.	<p>Роботизированная установка Nautilus</p> 	Горнодобывающая машина	Nautilus Minerals.	Канада	2016	Первые в своем роде роботизированные машины для морской добычи

Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой
ГУС, д/я 968,
ЗАО «Ленуренгойстрой», тел. 949-328
факс - 949-328
№ _____

ИНН 8904003810, р/сч.40702810800000000904
Филиал АБ «Газпромбанк»(ОАО) в г.Н.Уренгой
БИК 047195753, К/сч.30101810700000000753

от « 12 » февраля 2011г.

Утверждаю :
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»

Лазарев В.А.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на использование интерактивного ППР при скоростном возведении
многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

to
Лазарев

Казakov Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

Сычев

Сычев С. А.



Утверждаю:
Генеральный директор
ООО "АРХИТЕКТУРНАЯ МАСТЕРСКАЯ ПОЛТОРАЦКОГО"



И.В. Шумов
Шумов И.В.
«17» марта 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на использование интерактивного ППР при скоростном
возведении многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Ю.Н. Казаков

Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

С.А. Сычев

Сычев С. А.

Общество с ограниченной ответственностью

«ГРАДСОВЕТ»

692500, Приморский край, г. Уссурийск,
ул. Чичерина, 91а. Оф. 612
тел. 8 (4234) 31-92-60
email: gradsovet.su@gmail.com

ИНН/КПП 2511088270/251101001
р/сч 40702810814540008236
в филиале №2754 ВТБ 24 (ПАО) г. Хабаровск,
к/сч 30101810300000000827
БИК 040813827

Утверждаю :

Генеральный директор ООО «ГрадСовет»



Серебrenникова О.Г.

«10» апреля 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на использование интерактивного ППР при скоростном возведении
многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ



Сычев С. А.

ООО «МАСТЕРСТРОЙКОМПАНИЯ»

Утверждаю:
Генеральный директор
ООО «МАСТЕРСТРОЙКОМПАНИЯ»



Макаридзе Г.Д.
«17» апреля 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на использование интерактивного ППР при скоростном возведении
многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

Сычев С. А.

Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой
ГУС, а/я 968,
ЗАО «Ленуренгойстрой», тел. 949-328
факс - 949-328
№ _____

ИНН 8904003810, р/сч.40702810800000000904
Филиал АБ «Газпромбанк»(ОАО) в г.Н.Уренгой
БИК 047195753, К/сч.30101810700000000753

от « 27 » апреля 2013г.

Утверждаю :
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»

Лазарев В.А.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на скоростное возведение многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Казаков Ю. Н.

Сычев С. А.

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
«УРЕНГОЙСТРОЙПРОЕКТ»**

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул. Набережная, д. 52 «в» ИНН 8904041887 КПП 890401001 ОКПО 15383739
р/с 40702810600040000027 Филиал ОАО «ЮНИКОРБАНК» г. Новый Уренгой, к/с 30101810300000000603, БИК 047195603.

Утверждаю :
директор
ООО ПКТИ

«УРЕНГОЙСТРОЙПРОЕКТ»



Исаев А.Н.

« 15 » апреля 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

**на скоростное возведение многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем**

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Казakov Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

Сычев С. А.



Утверждаю:
Генеральный директор
ООО "АРХИТЕКТУРНАЯ МАСТЕРСКАЯ ПОЛТОРАЦКОГО"



И.В. Шумов Шумов И.В.
« 27 » марта 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на скоростное возведение многофункциональных
полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Ю.Н. Казаков

Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

С.А. Сычев

Сычев С. А.

ООО «МАСТЕРСТРОЙКОМПАНИЯ»

Утверждаю:
Генеральный директор
ООО «МАСТЕРСТРОЙКОМПАНИЯ»



Макардзе Г.Д.
17 » апреля 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

**на скоростное возведение многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем**

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Sychov S. A.

Сычев С. А.

Общество с ограниченной ответственностью

«ГРАДСОВЕТ»

692500, Приморский край, г. Уссурийск,
ул. Чернышова, 91а, Оф. 612
тел. 8 (4234) 31-92-60
email: gradsovet-su@gmail.com

ИНН/КПП 2511088270/251101001
р/сч 40702810814540008236
в филиале №2754 ВТБ 24 (НАО) г. Хабаровск,
к/сч 30101810300000000827
БИК 040813827

Утверждаю :
Генеральный директор ООО «ГрадСовет»



Серебrenникова О.Г.

«10» апреля 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на скоростное возведение многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент, докторант СПбГАСУ

С. Сычев

Сычев С. А.



Утверждаю:
Генеральный директор
ООО "АРХИТЕКТУРНАЯ МАСТЕРСКАЯ ПОЛТОРАЦКОГО"

И.И. Шумов
Шумов И.И.
« 27 » марта 2016 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на скоростное возведение мансардных этажей
многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Ю.Н. Казаков
Казаков Ю. Н.

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент СПбГАСУ

С.А. Сычев
Сычев С. А.

Российская Федерация
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий автономный округ,
Закрытое акционерное общество
«Ленуренгойстрой»

629300, ЯНАО, г. Новый Уренгой
ГУС, а/я 968,
ЗАО «Ленуренгойстрой», тел. 949-328
факс - 949-328
№ _____

ИНН 8904003810, р/сч.40702810800000000904
Филиал АБ «Газпромбанк»(ОАО) в г.Н.Уренгой
БИК 047195753, К/сч.30101810700000000753

от «13» апреля 2009г.

Утверждаю:
Генеральный директор
ЗАО «Ленуренгойстрой»

Газарев В.А.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на скоростное возведение мансардных этажей
многофункциональных полносборных зданий
из высокотехнологичных строительных систем

Проректор по научной работе
доктор экономических наук,
профессор СПбГАСУ

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор СПбГАСУ

Ответственный исполнитель
кандидат технических наук,
доцент СПбГАСУ



Смирнов Е. Б.

Казаков Ю. Н.

Сычев С. А.

Исследование теплозащитных свойств ограждающих модулей высокотехнологичной строительной системы в условиях Севера

Данное исследование направлено на исследование теплозащитных свойств разработанных модулей УВСС полносборного модульного здания для высокотехнологичного монтажа.

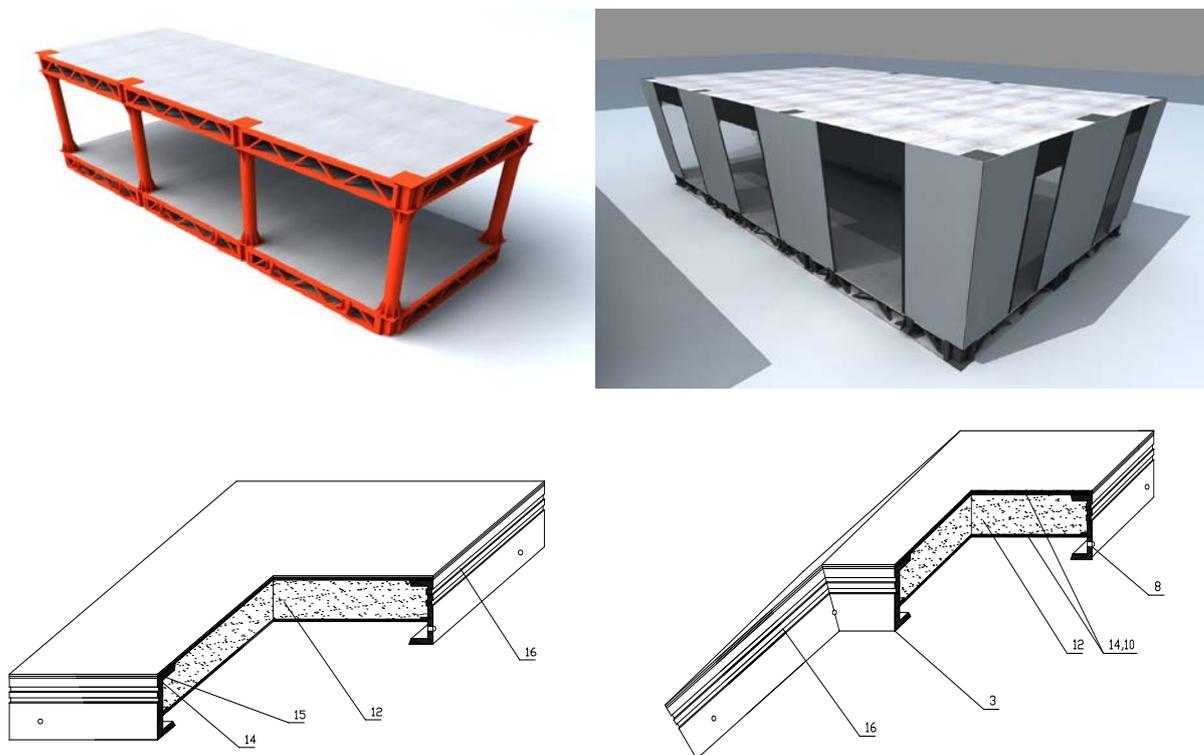


Рис. 1. Конструктивные решения модулей ВСС

Предлагаемая конструкция модуля типового и мансардного этажа ВСС — наиболее рациональная, и имеет преимущества по сравнению с наиболее часто используемыми панельными и каркасно-панельными системами:

- вес модулей УВСС мансардного до 100 кг и типового этажа до 9,5 тонн;
- размер 900×900×250 мм и 9000×3000×500...950 мм с целью унификации кратен модулю 3М;
- высокое качество СМР из заводских модулей;
- снижение трудоемкости СМР максимально упрощается монтаж;
- высокоэффективный контроль качества.

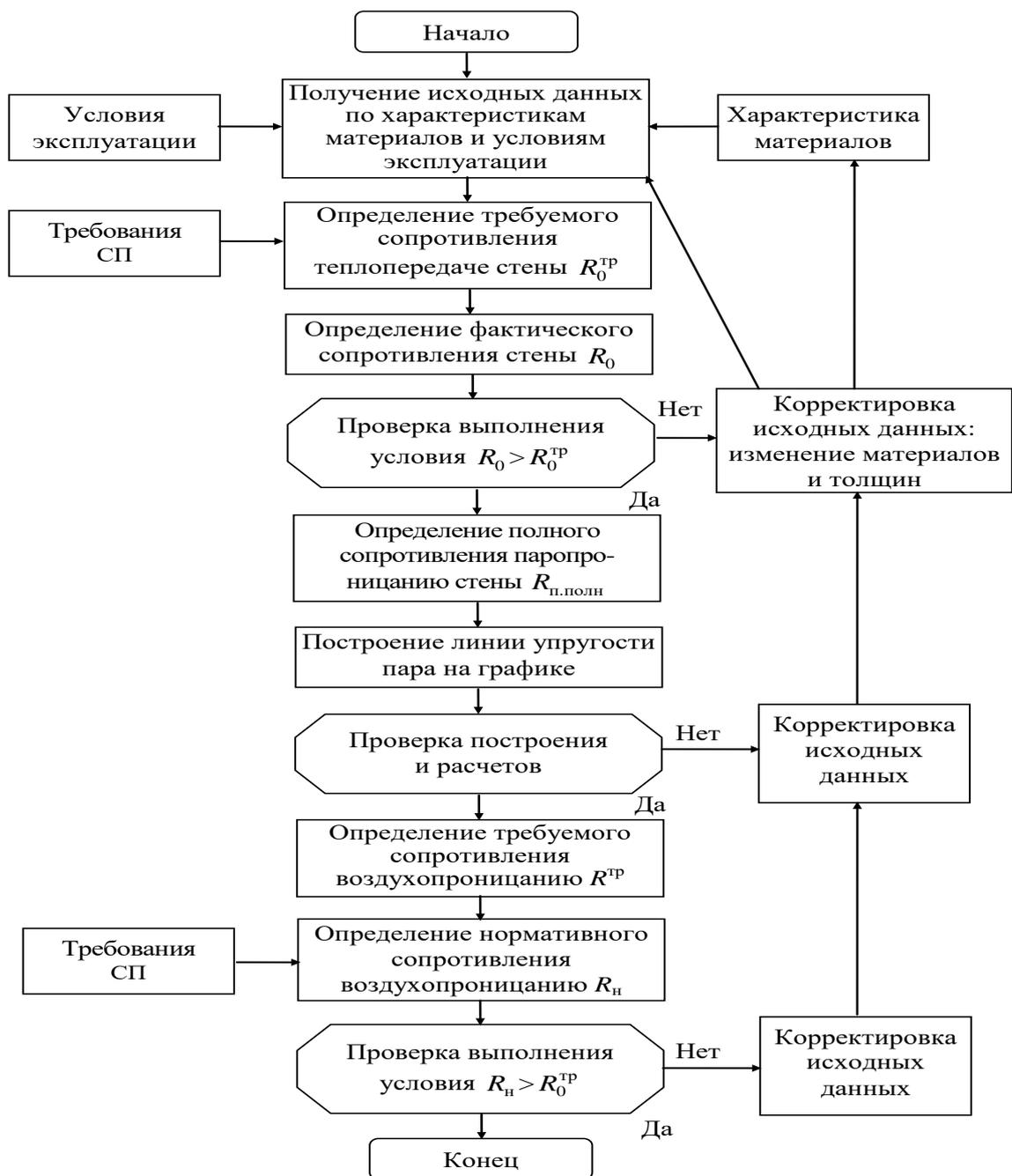


Рис. 2. Алгоритм исследования теплозащитных свойств предлагаемой конструкции полносборного модульного здания.

Расчет выполнен, в соответствии с СП 50.13330.2012 (рис. 2), при этом влажностный режим помещения подразделяется на нормальный и влажный:

- а) в жилых $\varphi_{в} = 50\text{--}60\%$ – нормальным;
- б) в технических $\varphi_{в} = 60\text{--}75\%$ – влажным.

Величина тепловой инерции ограждающего объемного модуля рассчитывается по формуле:

$$D = R_1s_1 + R_2s_2 + R_3s_3, \dots, \quad (1)$$

Для данной многослойной конструкции ЛМК-модуля термосопротивление R , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ рассчитывается:

$$R = \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (2)$$

Расчетные коэффициенты теплопроводности и термического сопротивления можно рассчитать следующим образом для слоев модуля:

- стальной лист плотностью $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_1 = 1,5 \text{ мм}$: $\lambda_1 = 60 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; $R_1 = 0,0015 / 60 = 0,000025 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- вата плотностью $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$ и $\delta_2 = 200 \text{ мм}$: $\lambda_2 = 0,040 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; $R_2 = 0,20 / 0,040 = 5,000 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- пароизоляция $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$, $\delta_2 = 1 \text{ мм}$, следовательно $\lambda_2 = 0,20 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; $R_3 = 0,001 / 0,20 = 0,005 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- перфорированный стальной лист (внутренний) $\rho = 670 \text{ кг/м}^3$, $\delta_1 = 1,5 \text{ мм}$, следовательно $\lambda_1 = 60 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; $R_4 = 0,0015 / 60 = 0,000025 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- гипсокартонный лист плотностью $\rho = 1180 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_2 = 10 \text{ мм}$: $\lambda_2 = 0,36 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; $R_5 = 0,01 / 0,36 = 0,027 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- полимерная штукатурка плотностью $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_2 = 5 \text{ мм}$: $\lambda_2 = 0,70 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; $R_6 = 0,005 / 0,70 = 0,007 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

Для расчетных коэффициентов теплоусвоения следующие значения:

1. металлический лист: $S_1 = 126,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
2. минеральная вата: $S_2 = 0,42 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
3. пароизоляция: $S_3 = 8,56 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
4. металлический лист: $S_4 = 126,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
5. гипсокартонный лист: $S_5 = 3,66 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
6. полимерная штукатурка: $S_6 = 11,09 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Тепловая инерция:

$$D = 0,000025 \cdot 126,5 + 6,000 \cdot 0,70 + 0,005 \cdot 8,56 + 0,000025 \cdot 126,5 + 0,027 \cdot 3,66 + 0,007 \cdot 11,09 = 4,48.$$

Термическое сопротивление R_k , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ всего модуля:

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 = 0,000025 + 5,000 + 0,005 + 0,000025 + 0,027 + 0,007 = 5,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$ – термическое сопротивление каждого отдельного слоя модуля, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Получаемое расчетное сопротивление теплопередаче:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 5,04 + \frac{1}{23} = 5,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

При этом требуемое сопротивление теплопередаче:

$$R_0^{\text{тp}} = \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \alpha_{\text{в}}}, \quad (3)$$

Таким образом, согласно справочным данным СП 50.13330.2012 и ГОСТ 12.1.005–88, требуемое сопротивление теплопередаче рассчитывается как:

$$R_0^{\text{тp}} = \frac{1 \cdot (18 - (-26))}{3 \cdot 8,7} = 2,925 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Полученное в результате расчета сопротивление теплопередаче $R_0 = 5,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} > R_0^{\text{тp}} = 2,925 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. (для Санкт-Петербурга).

Нормируемое сопротивление теплопередаче конструкции - $R_{\text{req}} = 4,81(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$. (для района ЯНАО).

При этом требуемое из условий энергосбережения сопротивление теплопередаче

$$R_0^{\text{тp}} = 1,4 + 0,00035 \text{ ГСОП} = 1,4 + 0,00035 \cdot 10\,465 = 3,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

$$R_0 = 5,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} < R^{\text{тp}}_0 = 4,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} < R^{\text{тp}}_0 = 2,925 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Требуемое сопротивление теплопередаче предлагаемых оконных систем типа Велюкс определяется по табл. 9 СП 50.13330.2012:

$$R_0^{\text{тp}} = 0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Для двух однокамерных стеклопакетов с покрытием ПВХ с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_0 = 0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

С учетом требований паропроницаемости конструкции $R_{\text{п}} = \frac{\delta}{\mu}$; для стальных листов $R_{\text{п}} = 0$, следовательно, модуль является паронепроницаемым.

Расчет температуры на выпадение росы:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0 \alpha_{\text{в}}} = 18 - \frac{1 \cdot (18 - (-26))}{3,2 \cdot 8,7} = 16,42 \text{ °C} \quad (4)$$

Сравнив полученное значение с точкой росы $t_{\text{р}}$, можно сделать вывод, что условие не выпадения россы на поверхности модуля выполнено.

Разработанная конструкция отвечает современным требованиям предъявляемым к ограждающим конструкциям СП 50.13330.2012.

Полученные результаты позволили разработать оптимальные конструктивные решения ограждающих конструкций предлагаемых сборных модулей и откорректировать их архитектурно-планировочные особенности.

Текст программы, используемой в работе и реализующей алгоритм Флойда

```

#include <iostream.h>
#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define MaxNodes 5 //Количество вершин.
//Описание типа узла стека.
typedef struct Zveno *svqz;
typedef struct Zveno
{
    int Element;
    svqz Sled;
};
class Spisok
{
private:
    int Mas[MaxNodes][MaxNodes]; //Матрица весов дуг.
    int DD[MaxNodes][MaxNodes]; //Матрица расстояний.
    int SS[MaxNodes][MaxNodes]; //Матрица последовательных узлов.
    svqz Stack; //Указатель на рабочий стек.
    void UDALENIE (svqz *, int *);
    void W_S (svqz *, int);
    void Small_Put (int,int);
public:
    Spisok() {Stack = NULL;}
    void Vvod_Ves();
    void Reshenie ();
};
void main()
{
    Spisok A;
    A.Vvod_Ves();
    A.Reshenie();
}
void Spisok::Small_Put (int one, int two)
//Нахождение кратчайшего пути.
{
    svqz St=NULL; //Указатель на вспомогательный стек.
    svqz UkZv;
    int Flag=FALSE; //Флаг построения кратчайшего пути.
    int elem1,elem2,k;
    //Помещение в стек конечной и начальной вершин.
    W_S (&Stack,two);
    W_S (&Stack,one);
    while (!Flag)
    {
        //Извлекли верхних два элемента.
        UDALENIE(&Stack,&elem1);
        UDALENIE(&Stack,&elem2);
        if (SS[elem1][elem2]==elem2) //Если есть путь...
            if (elem2==two) //и это конечный узел...
            {
                Flag = TRUE; //то кратчайший путь найден.
                W_S (&St,elem1);
                W_S (&St,elem2);
            }
            else //и это не конечный узел...

```

```

    {
        W_S (&St,elem1); //В вспомогательный стек.
        W_S (&Stack,elem2); //Обратно в рабочий стек.
    }
else //Если пути нет.
{
    W_S (&Stack,elem2); //Обратно в рабочий стек.
    k = SS[elem1][elem2];
    W_S (&Stack,k); //Запомнить промежуточную вершину.
    W_S (&Stack,elem1); //Обратно в рабочий стек.
}
}
UkZv = St;
while ( UkZv != NULL )
{ cout << (UkZv->Element+1) << " ";
  UkZv = UkZv->Sled; }
cout << endl;
}
void Spisok::W_S (svqz *stk, int Elem)
//Помещение Elem в стек stk.
{
    svqz q=new (Zveno);
    (*q).Element = Elem;
    (*q).Sled = *stk; *stk = q;
}
void Spisok::UDALENIE (svqz *stk, int *Klad)
//Удаление звена из стека, заданного указателем *stk.
//Значение информационного поля удаляемого звена сохраня-
//ется в параметре Klad.
{
    svqz q;

    if (*stk==NULL) cout<<"Попытка выбора из пустого стека!\n";
    else
        { *Klad = (**stk).Element;
          q = *stk; *stk = (**stk).Sled; delete q; }
}
void Spisok::Vvod_Ves()
//Ввод матрицы весов дуг заданного графа.
{
    cout << "Вводите элементы матрицы весов дуг по строкам:\n";
    for (int i=0;i<MaxNodes;i++)
        for (int j=0;j<MaxNodes;j++)
            {
                cout << "Введите Mas[" << (i+1) << ", " << (j+1) << "]: ";
                cin >> Mas[i][j];
            }
}
void Spisok::Reshenie()
{
    int one,two;
    int i,j;

    //Инициализация.
    for (i=0;i<MaxNodes;i++)
        for (j=0;j<MaxNodes;j++)
            {
                if (Mas[i][j]>0) SS[i][j]=j;
                else SS[i][j]=0;
            }
}

```

```

DD[i][j]=Mas[i][j];
}
cout << "\n Начальная вершина: ";
cin >> one; one--;
cout << "Конечная вершина: ";
cin >> two; two--;

int ved=0;
while (ved<MaxNodes)
{
for (i=0;i<MaxNodes;i++)
for (j=0;j<MaxNodes;j++)
if (i!=j && i!=ved && j!=ved &&
DD[i][ved]>0 && DD[ved][j]>0)
if (DD[i][ved]+DD[ved][j]<DD[i][j] || DD[i][j]==0)
{
DD[i][j]=DD[i][ved]+DD[ved][j];
SS[i][j]=ved;
}
ved++;
}
i=one;
if (SS[i][two]!=two && SS[i][two]!=0)
while (SS[i][two]!=two)
{
j=SS[i][two];
while (SS[i][j]!=j) j=SS[i][j];
i=j;
}
cout << "\nКратчайший путь (в обратном порядке): ";
Small_Put (one, two);
cout << "Длина минимального пути между этими вершинами: " << DD[one][two];
}

```

Полученные таблицы имеют вид:
Матрица кратчайших путей:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		2	2	3	4	5	7	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	1		3	3	4	5	1	8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	2	2		4	4	5	2	2	9	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	3	3	3		5	5	3	3	3	10	5	6	7	8	9	10	11	12
5	4	4	4	4		6	4	4	4	4	11	6	7	8	9	10	11	12
6	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	12	7	8	9	10	11	12
7	1	1	2	3	4	5		8	9	10	5	6	13	8	9	10	11	12
8	2	2	2	3	4	5	7		9	10	5	6	7	14	9	10	11	12
9	3	3	3	3	4	5	3	8		10	5	6	7	8	15	10	11	12
10	4	4	4	4	4	5	4	4	9		11	6	7	8	9	16	11	12
11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10		12	7	8	9	10	17	12
12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	11		7	8	9	10	11	18
13	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12		14	9	10	11	12
14	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	13		15	10	11	12
15	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	14		16	11	12
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15		17	12
17	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	16		18
18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	

Матрица весов кратчайших путей для α_1 :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		1	2	3	4	5	2	3	4	5	6	7	4	5	6	7	8	9
2	1		1	2	3	4	3	2	3	4	5	6	5	4	5	6	7	8
3	1	2		1	2	3	4	3	2	3	4	5	6	5	4	5	6	7
4	3	2	1		1	2	3	4	3	2	3	4	7	6	5	4	5	6
5	4	3	2	1		1	6	5	4	3	2	3	8	7	6	5	4	5
6	5	4	3	2	1		7	6	5	4	3	2	9	8	7	6	5	4
7	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	2	3	4	5	6	7
8	3	2	3	4	5	6	1		1	2	3	4	3	2	3	4	5	6
9	4	3	2	3	4	5	2	1		1	2	3	4	3	2	3	4	5
10	5	4	3	2	3	4	3	2	1		1	2	5	4	3	2	3	4
11	6	5	4	3	2	3	4	3	2	1		1	6	5	4	3	2	3
12	7	6	5	4	3	2	5	4	3	2	1		7	6	5	4	3	2
13	4	5	6	7	8	9	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5
14	5	4	5	6	7	8	3	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4
15	6	6	5	5	6	7	4	3	2	3	4	5	2	1		1	2	3
16	7	6	5	4	5	6	5	4	3	2	3	4	3	2	1		1	2
17	8	7	6	5	4	5	6	5	4	3	2	3	4	3	2	1		1
18	9	7	6	5	4	7	6	5	4	3	2	2	5	4	3	2	1	

Матрица весов кратчайших путей для α_2, β_3 :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		2	4	6	8	10	1	3	5	7	9	11	2	4	6	8	10	12
2	2		2	4	6	8	3	1	3	5	7	9	11	2	4	6	8	10
3	4	2		2	4	6	5	3	1	3	5	7	6	4	2	4	6	8
4	6	4	2		2	4	7	5	3	1	3	5	8	6	4	2	4	6
5	8	6	4	2		2	9	7	5	3	1	3	10	8	6	4	2	4
6	10	8	6	4	2		11	9	7	5	3	1	3	10	8	6	4	2
7	1	3	5	7	9	11		2	4	6	8	3	1	3	5	7	9	11
8	3	1	3	5	7	9	2		2	4	6	8	3	1	3	5	7	9
9	5	3	1	3	5	7	4	2		2	4	6	5	3	1	3	5	7
10	7	5	3	1	3	5	6	4	2		2	4	7	5	3	1	3	5
11	9	7	5	3	1	3	8	6	4	2		2	9	7	5	3	1	3
12	11	9	7	5	3	1	10	8	6	4	2		11	9	7	5	3	1
13	2	4	6	8	10	12	1	3	5	7	9	11		2	4	6	8	10
14	4	2	4	6	8	10	3	1	3	5	7	4	2		2	4	6	8
15	6	4	2	4	6	8	5	3	1	3	5	6	4	2		2	4	6
16	8	6	4	2	4	6	7	5	3	1	3	5	6	4	2		2	4
17	10	8	6	4	2	4	9	7	5	3	1	3	8	6	4	2		2
18	12	10	8	6	4	2	11	9	7	5	3	1	10	8	6	4	2	

Матрица весов кратчайших путей для β_1 :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7
2	1		1	2	3	4	2	1	2	3	4	5	3	2	3	4	5	6
3	2	1		1	2	3	3	2	1	2	3	4	4	3	2	3	4	5
4	3	2	1		1	2	4	3	2	1	2	3	5	4	3	2	3	4
5	4	3	2	1		1	5	4	3	2	1	2	6	5	4	3	2	3
6	5	4	3	2	1		6	5	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2
7	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
8	2	1	2	3	4	5	1		1	2	3	4	2	1	2	3	4	5
9	3	2	1	2	3	4	2	1		1	2	3	3	2	1	2	3	4

10	4	3	2	1	2	3	3	2	1		1	2	4	3	2	1	2	3
11	5	4	3	2	1	2	4	3	2	1		1	5	4	3	2	1	2
12	6	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		6	5	4	3	2	1
13	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5
14	3	2	3	4	5	6	2	1	2	3	4	5	1		1	2	3	4
15	4	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	2	1		1	2	3
16	5	4	3	2	3	4	4	3	2	1	2	3	3	2	1		1	2
17	6	5	4	3	2	3	5	4	3	2	1	2	4	3	2	1		1
18	7	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	

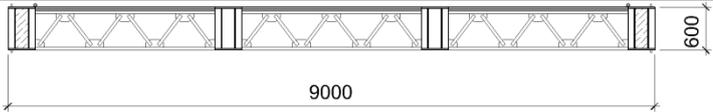
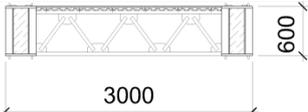
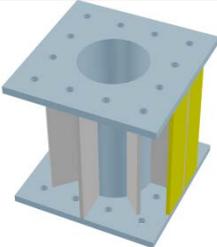
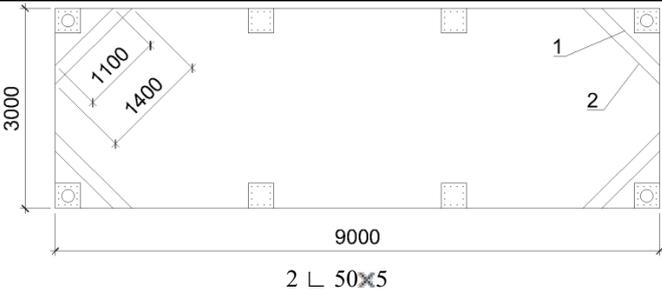
Матрица весов кратчайших путей для β_2 :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	12	4	6	8	10	12	14
2	2		2	4	6	8	4	2	4	6	8	10	6	4	6	8	10	12
3	4	2		2	4	6	6	4	2	4	6	8	8	6	4	6	8	10
4	6	4	2		2	4	8	6	4	2	4	6	10	8	6	4	6	8
5	8	6	4	2		2	10	8	6	4	2	4	12	10	8	6	4	6
6	10	8	6	4	2		12	10	8	6	4	2	14	12	10	8	6	4
7	2	4	6	8	10	12		2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	12
8	4	2	4	6	8	10	2		2	4	6	8	4	2	4	6	8	10
9	6	4	2	4	6	8	4	2		2	4	6	6	4	2	4	6	8
10	8	6	4	2	4	6	6	4	2		2	4	8	6	4	2	4	6
11	10	8	6	4	2	4	8	6	4	2		2	10	8	6	4	2	4
12	12	10	8	6	4	2	4	6	8	10	2		12	10	8	6	4	2
13	4	6	8	10	12	14	2	4	6	8	10	12		2	4	6	8	10
14	6	4	6	8	10	12	4	2	4	6	8	10	2		2	4	6	8
15	8	6	4	6	8	10	6	4	2	4	6	8	4	2		2	4	6
16	10	8	6	4	6	8	8	6	4	2	4	6	6	4	2		2	4
17	12	10	8	6	4	6	10	8	6	4	2	4	8	6	4	2		2
18	14	12	10	8	6	4	12	10	8	6	4	2	10	8	6	4	2	

Потребность материалов на один горизонтальный и вертикальный модуль разработанной строительной системы монтажа УВСС

Таблица 1

Потребность материалов на один горизонтальный модуль УВСС

№ п/п	Наименование	Эскиз, размеры	Ед. изм.	Кол-во	Вес, кг
Модуль перекрытия					
Сталь					
1	Продольный решетчатый ригель		шт	2	639,0
	Раскосы	2 L 50×5	шт	18	70,42
	Фасонки	Деталь (Лист t=8 мм, размеры 251×148 мм)	шт	18	38,16
	Верхний пояс	2 L 70×6	шт	2	105,44
	Нижний пояс	2 L 70×6	шт	2	105,44
2	Поперечный решетчатый ригель		шт	4	370,56
	Раскосы	2 L 50×5	шт	6	22,39
	Фасонки	Деталь (Лист t=8 мм, размеры 251×148 мм)	шт	6	12,73
	Верхний пояс	2 L 70×6	шт	2	28,76
	Нижний пояс	2 L 70×6	шт	2	28,76
3	Жесткий узел		шт	8	740,0
	Верхняя площадка для крепления	Деталь (Лист t=20 мм, размеры 375×375 мм)	шт	1	17,16
	Нижняя площадка для крепления	Деталь (Лист t=20 мм, размеры 375×375 мм)	шт	1	17,16
	Труба	Ø200, t=10 мм	шт	1	26,24
	Ребра жесткости	Деталь (Лист t=10 мм, размеры 87,5×560 мм)	шт	8	30,75
	Площадка для крепления по горизонтали	Деталь (Лист t=10 мм, размеры 175×560 мм)	шт	2	0,79
4	Раскосы (1, 2)		шт	8	39,09

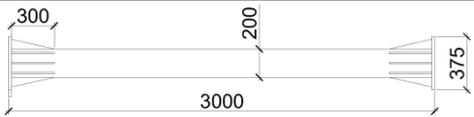
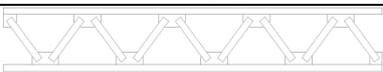
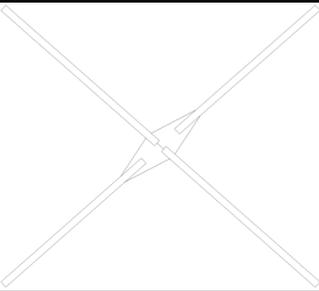
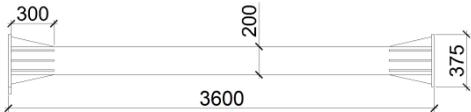
5	Гофрированный лист (несъемная опалубка)	Лист t=0,45 мм	м ²	27,0	145,04
6	Колонна		шт	2	257,76
	База	Деталь (Лист t=20 мм, размеры 375×375 мм)	шт	1	17,16
	Оголовок	Деталь (Лист t=20 мм, размеры 375×375 мм)	шт	1	17,16
	Труба	Ø150...200, t=10 мм	шт	1	105,42
	Косынки	 Деталь (Лист t=10 мм, размеры 67,55×300 мм)	шт	16	12,58
Итого сталь на один модуль:					2191,45
Бетон					
1	Монолитная ж/б плита на верхнем поясе модуля	Толщина 60 мм, В60...В80	м ³	1,89	4050,0
2	Заполнение колонны (трубобетон)	В60...В80, 2 шт.	м ³	0,039	198,9
3	Заполнение жесткого узла (трубобетон)	В60...В80, 4 шт.	м ³	0,008	79,6
Итого бетон на один модуль:					4328,5
Прочие материалы и конструкции					
1	Стекло	Трехкамерный стеклопакет 2325×2600 мм	шт	1	317,4
2	Стеновое ограждение	Сэндвич-панель с солнечными батареями	шт	1	190,0
3	Потолок	Цементно-стружечная плита	м ²	27,0	445,0
Всего материалов на один модуль:					7472,35

Таблица 2

Потребность материалов на один вертикальный модуль УВСС

№ п/п	Наименование	Эскиз, размеры	Ед. изм.	Количество	Вес, кг
Вертикальный модуль					
Сталь					
1	Решетки		п.м	24,28	362,0
	Раскосы	Л 40×6	шт	4	3,52
	Фасонки	Деталь (Лист t=8 мм, размеры 251×148 мм)	шт	4	3,14
	Верхний пояс	2 Л 50×5	шт	2	7,54
	Нижний пояс	2 Л 50×5	шт	2	7,54

2	Крестовая связь		шт	1	75,0
	Раскосы	2 L 60×6	шт	8	73,0
	Фасонка	Деталь (Лист t=8 мм, размеры 265×848 мм)	шт	1	2,0
3	Распорка	2 L 60×6	шт	1	70,0
4	Распорка	Труба Ø120, t=5 мм	шт	1	40,5
5	Колонна		шт	4	646,5
	База	Деталь (Лист t=20 мм, размеры 375×375 мм)	шт	1	17,16
	Оголовок	Деталь (Лист t=20 мм, размеры 375×375 мм)	шт	1	17,16
	Труба	Ø200, t=10 мм	шт	1	168,7
	Косынки	 Деталь (Лист t=10 мм, размеры 67,55×300 мм)	шт	16	12,58
Итого сталь на один модуль:					1409,9
Прочие материалы					
1	Бетон	заполнение колонны (трубобетон) на 4 колонны	м ³	0,091	915,6
2	Отделка	Цементно-стружечная плита	м ²	35,6	586,7
Всего материалов на один модуль:					2912,2

**Расчет оценки качества технологии скоростного возведения
полнооборных зданий из модулей с учетом критерия безопасности**

Для оценки качества определяют коэффициент соответствия проекту (нормам) K_c как отношение числа наблюдений, соответствующих нормам, к общему числу. Для количественных оценок качества СМР возведения зданий из полнооборных элементов индустриального изготовления рассчитывают уровень отсутствия брака и показатель точности процесса по формулам в табл. 1.

Уровень доверия α и значение квантиля t_α предлагается принимать в зависимости от класса ответственности ($t_\alpha = 2,58$ и $\alpha = 0,99$ для сооружений первого класса ответственности), значимости брака и вида показателя качества [8].

По отношению к систематическим K_x и случайным K_s погрешностям показатели стабильности технологических процессов предлагается рассчитывать исходя из отношения стабильных процессов к их общему числу.

Таблица 1

**Формулы для расчета уровня отсутствия брака и показателя точности
(индекс пригодности) процесса**

Вид распределения	Формулы	
	Отсутствие брака	Точности
Любое	$p = \int_a^b f(x) dx$	$K_T = \frac{\Delta X}{U_p - L_p}$
Логнормальное	$p = \Phi\left(\frac{(\ln b - \mu)}{\sigma}\right)$	$K_T = \frac{(\ln b - \mu)}{t_\alpha \cdot \sigma}$
Нормальное	$p = \Phi\left(\frac{X - a}{S_x}\right) + \Phi\left(\frac{b - X}{S_x}\right) - 1$	$K_T = \frac{\Delta X}{2 \cdot t_\alpha \cdot S_x}$

Примечание: μ и σ — параметры логнормального закона распределения; $f(x)$ — плотность распределения; ΔX — нормативный допуск; Φ — функция стандартного нормального закона распределения; U_p , L_p — процентиля распределения, например, 95% и 0,05%; t_α — квантиль распределения уровня α ; S_x — стандартное отклонение.

По результатам проведенных исследований рис. 3.3 и 3.4 приведем критерии оценки (табл. 2).

Допустимый уровень брака по сопротивлению материала R при $q = 1 - p$ для критических дефектов:

$$q = 1 - \Phi \left(z_n + \frac{\gamma_M + z_n V_R (1 - \gamma_M) - 1}{\gamma_M V_R} \right), \quad (1)$$

где γ_M — коэффициент надежности по материалу (нормативный); Φ — функция нормального стандартного распределения; z_n — квантиль запаса нормативного сопротивления; V_R — коэффициент вариации R .

Найденный q равен 0,25 %. Из принятого в статистическом контроле ряда 1, 5 и 10 % назначены нормы для малозначительных и значительных дефектов; K_c — обосновывались значениями по браковочным планам статистического приемочного контроля; $K_{т.к}$ — по требованиям стандартов; K_t — по расчетным зависимостям между уровнем отсутствия брака и показателем точности. Значения показателей стабильности K_s и K_x предложены с учетом обследования более 74 полносборных зданий.

Показатели оценки качества монтажных работ

Показатели качества процесса	Значение оценки			
	верхнее		нижнее	
	1-й этап	2-й этап	3-й	4-й этап
Обобщенный показатель отсутствия брака K_d	0,96	0,98	0,91	0,96
Уровень отсутствия брака:				
при значительном браке	0,96	0,985	0,90	0,96
при малозначительном браке	0,90	0,96	0,75	0,90
при средневзвешенном браке	0,97	0,99	0,92	0,97
критических	0,985	0,998	0,96	0,985
Показатель точности K_T	1,00	1,33	0,67	1,00
Показатели стабильности K_x и K_s	0,75	1,00	0,50	0,75
Показатель точности контроля $K_{т.к}$	0,2	0,1	0,3	0,2

Примечания. 1. 1-й этап — результаты до внедрения регулирования с учетом статистики; после внедрения — 2-й этап. 2. Нижние оценочные значения показателей соответствуют категории качества не оптимально, верхние значения — оптимально; K_d — обобщенный показатель отсутствия брака, учитывающий значимость брака; $K_{т.к}$ — показатель точности контроля (отношение предельной погрешности контрольных измерений по паспорту к допуску параметра).

Ошибки приближенных способов расчета надежности (метод моментов, статистических испытаний), где ошибка не превышает 5 %, будет не существенным, если использовать относительные показатели:

- конструктивная надежность (снижение):

$$K_p = P / P_0, \quad (2)$$

- вероятность отказа (увеличение):

$$K_q = \frac{Q}{Q_0} = \frac{1 - P}{1 - P_0}, \quad (3)$$

где P — фактическое значение надежности; P_0 — проектное значение;

- снижение индекса надежности:

$$K_z = z / z_0, \quad (4)$$

где z_0, z — проектное и фактическое значения индекса надежности.

Индекс надежности модуля с дефектами:

$$Z = \frac{K_R \bar{k}_0 - 1}{\sqrt{V_N^2 + (K_R \bar{k}_0)^2 V_R^2}}, \quad (5)$$

где \bar{K}_R — среднее значение снижения прочности из-за дефектов; \bar{k}_0 — значение запаса прочности; V_N, V_R — вариации нагрузки и прочности.

На основании предельных значений можно определить относительные показатели надежности полносборных элементов (модулей) при снижении прочности. При достижении предельных значений качество работ считается оптимальным (удовлетворительным).

Рассмотрим безремонтный срок при нормальной эксплуатации:

$$P_t = K_P P_0 \exp(-d\lambda t), \quad (6)$$

где K_P — показатель снижения надежности из-за брака; d — коэффициент увеличения интенсивности отказов λ ; P_t, P_0 — надежность при $t = 0$.

Комплексную оценку качества СМР рассчитаем следующим образом:

$$K_{\text{СМР}} = K_{\text{СК}}^a \cdot (K_{\text{д}} K_{\text{т}})^b \cdot (K_{\text{х}} K_{\text{с}})^c \cdot (K_{\text{Р}} K_{\text{Р}})^d, \quad (7)$$

$$K_P \geq [K_P], \quad K_R \geq [K_R],$$

где K_P, K_R — коэффициенты конструктивной надежности основания и возведенных конструкций и снижения несущей способности; $[K_R], [K_P]$ — предельные значения; $K_{\text{СМР}}$ — комплексный показатель качества монтажа; $K_{\text{с}}, K_{\text{х}}$ — показатели стабильности процессов по случайным и систематическим погрешностям; $K_{\text{т}}, K_{\text{д}}$ — показатели точности и отсутствия брака технологических процессов монтажа; $K_{\text{СК}}$ — уровень системы качества.

Методом парных сравнений можно получить коэффициенты весомости a, b, c и d . Установлено: $a = 0,19, b = 0,12, c = 0,025$ и $d = 0,26$.

Пример комплексной экспертной оценки качества возведения пяти полносборных зданий ЗАО «Ленуренгойстрой», г.Новый Уренгой.

1. Оценка качества возведения полносборных зданий.

Экспертная оценка системы качества (СК) строительства полносборных зданий приведены в табл. 3.

Таблица 3

Система оценки качества здания из модулей

Группа элементов	Элементы системы качества	Оценки экспертов					
		Э-1	Э-2	Э-3	Э-4	Э-5	Э _{min}
Качество СМР технической документации $K_4 = 0,70$	Полнота данных о качестве	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7
	Своевременное выполнение исполнительных документов	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5	0,4
	Наличие исполнительной документации	0,8	–	–	0,8	0,8	0,8
	Эффективность корректирующих воздействий	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	Полнота заполнения журналов работ	0,7	0,8	0,8	0,7	0,75	0,7
	Уровень качества СМР	0,75	0,7	0,7	0,75	0,7	0,7
Средства и методы контроля $K_3 = 0,84$	Обеспеченность оборудованием	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7
	Периодичность испытаний	1,0	–	–	1,0	1,0	1,0
	Поверка средств измерения	1,0	–	–	1,0	1,0	1,0
	Уровень контроля производства	0,85	1,0	1,0	0,85	0,7	0,7
Обеспеченность средствами контроля	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	
Нормативная база $K_2 = 0,68$	Соблюдение правил складирования модулей	0,7	0,9	0,9	0,7	0,8	0,7
	Уровень комплектации	0,7	0,9	0,9	0,7	0,8	0,7
	Обеспеченность механизмами, инструментом	0,5	0,5	0,5	0,5	0,65	0,5
	Качество поставляемых модулей и изделий	0,75	0,7	0,7	0,75	0,8	0,7
	Качество проектной документации	0,7	–	–	0,7	0,9	0,7
	Комплектность проектной документации	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
Организационная структура Групповая оценка $K_1 = 0,86$	Соответствие видов работ специальностям специалистов	0,95	1,0	1,0	0,9	1,0	0,95
	Соответствие видов работ специальностям рабочих	0,95	0,8	0,9	0,85	0,9	0,95
	Уровень геодезического обеспечения	0,85	0,9	0,9	0,85	0,9	0,85
	Квалификация рабочих	0,85	0,9	0,9	0,8	0,95	0,9
	Квалификация специалистов	0,85	0,8	0,9	0,8	0,85	0,75

Итоговая оценка строительной-монтажной компании (СК):

$$K_{co} = 0,25(0,86 + 0,68 + 0,84 + 0,70) = 0,77.$$

Количественная оценка генпроектировщика $K_{no} = 0,84$ и ДСК $K_{п} = 0,79$.

Общий показатель строительства полносборного здания № 2:

$$K_{СК} = 1 \cdot (0,77^{0,60} - 0,79^{0,25} - 0,84^{0,15}) = 0,77.$$

Оценки СК для зданий № 1–5: 0,74; 0,71; 0,68; 0,76; 0,77.

2. Статистическая оценка качества возведения полносборных зданий

Результаты контроля СМР одного из полносборных зданий представлены в табл. 4.

Таблица 4

Контролируемые параметры качества монтажа зданий

Параметры	Отклонения, мм	Допуск, мм
<i>Монтаж колонн полносборной системы:</i>		
опирание на колонну ригелей	7; 20; 10; -10; 20; 0; 0; -10; 5	10+10
высотные отметки колонн	Данные геодезической схемы	-2
разность отметок поверхностей колонн	11; 5; 10; 20; 15; 5; 7; 0; 0; 5; 5	10
<i>Монтаж полносборных элементов:</i>		
отклонение панелей от вертикали	То же	±4
толщина швов между панелями	1; 0; 0,5; 2; 1; 0,5; 2; 0,5; 0,5; 0,5; 1,5	2±1
отклонение от осей	Геодезическая схема	±2
<i>Устройство металлических связей:</i>		
длина шва связей модулей	-12; -10; -5; 0; 7; 5; 0; 21; -5	8
ширина шва связей модулей	2; 0; 2; 3; 1; 2; -1; 0; 5; 0; 2; 0; 2; 1	6
длина шва связей модулей стен	-12; -20; -10; 0; 34; 10; 15; -15; -10; 20; 40	8
<i>Положение изоляции наружных стыков</i>		
стыка уплотнителей	4; -6; -5; -6; -8; -8; -2; -10; -10	10
стыка воздухозащитной ленты	3; -10; -8; -4; -5; -8; -7; -4; -5; -10; -10	10

В качестве параметра X обозначим толщину швов между панелями (см. табл. 1), и покажем последовательность расчетов безразмерных показателей качества СМР при выборке $n = 11$.

Среднее значение:

$$X = (1,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 2,0 + 0,5 + 1 + 2,0 + 0,5 + 0 + 1)/11 = 0,91.$$

Систематическое отклонение: $\bar{\delta}X = 0,91 - 0 = 0,91$.

Стандартное отклонение:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (1,0 - 0,91)^2 + (0 - 0,91)^2 + \dots + (1,5 - 0,91)^2}{11 - 1}} = 0,66.$$

Квантиль t_α определяется в зависимости от степени свободы $\nu = n - 1$, уровня доверия α ($\alpha = 1 - \alpha_0/2 = 1 - 0,05/2 = 0,975$, где $\alpha_0 = 0,05$ – риск подрядчика (заказчика)). Квантиль t_α равен $t_{0,975(10)} = 2,228$.

Коэффициент значимости систематических отклонений:

$$t = (\bar{X} - X_n) \sqrt{n}/S_x = (0,91 - 0) \sqrt{11}/0,66 = 4,57.$$

Систематические отклонения являются значимыми на уровне доверия 0,05 (обеспеченность 0,95), так как $t > t_{\alpha(\nu)} = 2,228$.

Доверительный интервал выборочного среднего:

$$0,91 - \frac{2,228 \cdot 0,66}{\sqrt{11}} = 0,47 \leq \bar{X} \leq 0,91 + \frac{2,228 \cdot 0,66}{\sqrt{11}} = 1,35.$$

Квантили χ^2 определяются в зависимости от уровня доверия $\alpha_1 = 1 - \alpha_0/2$, $\alpha_2 = \alpha_0/2$ и степеней свободы $\nu = n - 1$. При ($\alpha_1 = 1 - 0,05/2 = 0,975$, $\alpha_2 = 0,05/2 = 0,025$, $\nu = 10$) квантили равны:

$$\chi_{0,975}^2 = (0,975 - 0,95) \left(\frac{2,16 - 1,83}{0,98 - 0,95} \right) + 1,83 = 2,07;$$

$$\chi_{0,025}^2 = (0,025 - 0,02) \left(\frac{0,4 - 0,306}{0,05 - 0,02} \right) + 0,306 = 1,173.$$

Коэффициент соответствия проекту (нормам):

$$K_c = (1 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0) / 11 = 0,727.$$

Коэффициент вариации:

$$V = 0,66/0,91 = 0,72.$$

Доверительный интервал стандартного отклонения:

$$0,66 \sqrt{\frac{11-1}{2,07}} = 1,451 \leq S_x \leq 0,66 \sqrt{\frac{11-1}{1,173}} = 1,927.$$

Уровень несоответствий (брак):

$$q = q_a + q_b = 0,0012 + 0,0017 = 0,0029.$$

$$q_a = 1 - \Phi \left(\frac{0,91 - (-10)}{0,66} \right) = 1 - \Phi(16,531) = 1 - 0,99878 = 0,0012;$$

$$q_b = 1 - \Phi\left(\frac{10 - 0,91}{0,66}\right) = 1 - \Phi(13,773) = 1 - 0,99834 = 0,0017;$$

При этом уровень отсутствия брака

$$p = 1 - 0,0029 = 0,9971.$$

При симметричном допуске $\Delta X = 2$ мм показатель точности монтажа процесса

$$K_T = \frac{2}{2 \cdot 2,228 \cdot 0,66} = 0,68;$$

коэффициент смещения:

$$K_{см} = (0,91 - 0) / 2 = 0,46;$$

коэффициент запаса точности:

$$K_{зт} = 0,5 - 0,46 - 0,5 / 0,68 = -0,695 < 0, \text{ т. е. запаса нет.}$$

Уровень дефектности коэффициента смещения $K_{см}$ и точности K_T :

$$q = 2 - 0(2 - 2,228 \cdot 0,68 \cdot (0,5 + 0,46)) - \Phi(2 - 2,228 \cdot 0,68 \cdot (0,5 - 0,46)) = \\ = 2 - \Phi(2,912) - \Phi(0,187) = 2 - 0,99824 - 0,55489 = 0,44687.$$

Показатель точности измерений толщины швов при помощи высокоточного нивелира с погрешностью измерений $\delta X_{мет} = 1$ мм:

$$K_{тк} = 1 / 20 = 0,05 < 0,2, \text{ т. е. условие точности соблюдено.}$$

Показатели стабильности на примере параметра «отклонение высотных отметок стен» полносборного здания приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты измерений опорных стен модулей

Статистические данные	Значение по длине полносборного здания		
	в начале	в конце	в середине
Отклонение, мм	2,678	2,713	3,168
Среднее значение, мм	-4,611	-3,208	-2,418
Количество измерений	48	47	48

Коэффициент стабильности монтажного процесса

$$F = 3,168^2 / 2,713^2 = 1,364.$$

При уровне доверия $\alpha = 1 - 0,05/2 = 0,975$ и степенях свободы $\nu_1 = 48 - 1 = 47$, $\nu_2 = 47 - 1 = 46$ наименьшее значение квантиля при $\nu_1 = \nu_2 = 60 - F_{0,975(60,60)} = 1,6668$.

Условие стабильности $F \leq F_{0,975(60,60)}$ и $F \geq 1/F_{0,975(60,60)}$ выполнено.

По отношению к систематическим погрешностям коэффициент стабильности процесса

$$t = (-3,208 - (-4,611)) / \sqrt{\frac{47 + 48}{47 \cdot 48} \cdot \frac{2,713^2(47 - 1) + 2,678^2(48 - 1)}{47 + 48 - 2}} = 2,53.$$

Для уровня доверия $\alpha = 1 - 0,05 / 2 = 0,975$ и степени свободы $\nu = 47 + 48 - 2 = 93$ квантиль t -распределения равен $t_{0,975(93)} = 1,99$.

При $t > t_{0,975(93)} = 1,99$ процесс считается нестабильным.

Результаты статистического контроля качества возведения здания из модулей приведены табл. 6.

Таблица 6

Результаты статистического контроля монтажа модулей

Отклонения	$x_n \pm \delta x_n$	n	X	S_x	K_c	P	K_T
Отклонение модулей от вертикали, мм	± 4	15	-0,46	3,14	1,00	1,00	1,14
		12	-0,22	2,47	0,90	0,88	0,78
Длина шва связей вертикального модуля, мм	20	12	76,82	19,26	0,59	0,43	0,34
		11	63,18	18,61	0,36	0,18	0,73
		10	82,50	22,39	0,60	0,54	0,51
		9	77,22	6,67	0,56	0,34	0,96
Разность отметок лицевых поверхностей модулей и смежных модулей, мм	10	17	10,06	9,78	0,67	0,50	0,79
		11	8,90	4,28	0,60	0,60	1,50
		14	8,44	4,17	0,72	0,65	1,53
		10	8,64	7,10	0,73	0,58	0,89
Толщина горизонтальных швов модулей полносборного здания, мм	2 ± 1	12	2,60	1,18	0,75	0,59	0,77
		13	2,69	1,73	0,77	0,51	0,43
		10	2,90	1,56	0,60	0,60	0,97
		11	2,09	0,64	0,73	0,55	0,68
Ширина шва связей модулей, мм	6	14	5,14	1,51	0,50	0,29	0,54
		10	5,90	0,99	0,70	0,46	0,76
		14	6,93	1,14	0,93	0,79	0,46
Отклонение высотных отметок полносборного здания, мм	-20	11	-15,7	3,94	0,93	0,86	1,29
		12	-20,5	10,70	0,51	0,45	0,47
		14	-8,95	2,53	1,00	1,00	1,94

Примечание. K_c — коэффициент соответствия нормам; n — объем выборки; x_n — нормативное значение; X — среднее значение; K_T — показатель точности процесса монтажа; S_x — стандартное отклонение; P — уровень отсутствия брака.

В табл. 7 приведены оценки показателей качества по зданиям.

Таблица 7

Значения отсутствия брака показателей качества

Показатели	Группа показателей	Значение для полносборных зданий				
		1	2	3	4	5
Потребительское качество	Геометрические параметры	0,51	0,60	0,65	0,58	0,68
	Параметры герметизации	–	0,40	0,35	0,10	0,25
Эксплуатационная пригодность и конструктивная надежность	Параметры: связей	0,55	0,64	0,49	0,37	0,57
	швов	0,54	0,59	0,51	0,67	0,45
	материала	0,78	0,52	0,97	0,73	0,88
	геометрические	0,62	0,44	0,65	0,41	0,76

Для полносборного здания № 1 рассчитаем средний уровень отсутствия брака:

$$K_d = 0,49 \cdot 0,78 + 0,07 \cdot 0,62 + 0,16 \cdot 0,54 + 0,25 \cdot 0,55 + 0,03 \cdot 0,51 = 0,665.$$

В табл. 8 представлены тесты стабильности технологических процессов.

Таблица 8

Расчет стабильности средних \bar{X}_1, \bar{X}_2 и стандартных отклонений S_1, S_2 по полносборному зданию

Контролируемые параметры	№ здания \bar{X}_1, \bar{X}_2	t	$p(t)$	№ здания S_1, S_2	F	$p(F)$
Разность отметок перекрытий	5	0,522	0,607*	5	4,630	0,029
Отклонение стен от вертикали	1	0,485	0,635*	1	1,685	0,473*
	3	0,811	0,560*			0,356*
Толщина постели перекрытий	4	0,338	0,560*	1	1,105	0,047
	2	0,581	0,568*			0,034
Отклонение отметок перекрытий	4	0,259	0,015	4	2,595	0
	1	0,578	0,565*			0,134*
Глубина опирания перекрытия	3	5,537	0	3	1,344	0,318*
	5	0,984	0,333*			0,006
	2	3,040	0,007			0,023

Примечания. 1. * случаи p , когда гипотезы о равенстве однородности стандартных и средних отклонений подтвердились на уровне значимости 0,05. 2. $p(F)$ – уровень значимости F ; F – расчетное значение квантиля; $p(t)$ –

уровень значимости t ; t – расчетное значение квантиля распределения Стьюдента.

Из систематических и случайных погрешностей по данным табл. 5 следует, что стабильность технологических процессов обеспечена наполовину. Коэффициент стабильности по случайным погрешностям — $10/11 = 0,91$, систематическим погрешностям — $9/11 = 0,81$.

Показатели качества для отдельных полносборных зданий приведены в табл. 9 (рис. 1).

Наибольшая оценка соответствует СМР по возведению полносборного здания № 2 (категория «оптимально» (более 0,76)).

Так, для полносборного здания № 3 получаем итоговую оценку:

$$K_{\text{СМР}} = 0,63^{0,19} \cdot (0,63 \cdot 0,28)^{0,12} \cdot (0,58 \cdot 0,77)^{0,025} \cdot (0,69 \cdot 0,981)^{0,26} = 0,620.$$

Преимущества показателя $K_{\text{СМР}}$ обусловлены его количественностью, комплексностью и чувствительностью к интегральному свойству модуля полносборной системы УВСС в виде надежности.

Таблица 9

Значения коэффициентов стабильности возведения полносборных зданий

№ дома	K_R	K_x	K_T	K_S	K_D	K_P	$K_{\text{СК}}$	$K_{\text{СМР}}$
1	0,74	0,61	0,43	0,59	0,67	0,947	0,71	0,774
2	0,952	0,73	0,68	0,67	0,53	0,962	0,77	0,813
3	0,69	0,58	0,28	0,77	0,63	0,981	0,63	0,620
4	0,96	0,61	0,65	0,60	0,43	0,978	0,57	0,761
5	0,86	0,54	0,23	0,57	0,47	0,958	0,69	0,682
Оценка О	0,95	0,75	1,00	0,75	0,90	0,998	0,75	0,909
Среднее	0,902	0,54	0,22	0,72	0,50	0,990	0,70	0,757
Оценка НО	0,90	0,50	0,67	0,50	0,75	0,994	0,50	0,674

Примечания. 1. Оценка НО – значения, ниже которых категория качества принята «не оптимально». Оценка О – значения, выше которых категория качества принята «оптимально».

2. Коэффициенты: K_P – снижения надежности; K_T – точности технологического процесса; K_D – средний уровень отсутствия брака; K_R – снижения прочности; K_x – стабильности по систематическим погрешностям;

K_c – соответствия; K_s – стабильности по случайным погрешностям; $K_{СК}$ – уровень качества системы; $K_{СМР}$ – комплексный показатель качества.

Предложенные инженерно-технологические решения контроля качества монтажа полносборного здания из модулей защищены заявкой на изобретение РФ № 2016139184 и патентом РФ № 2589886 [32, 74].

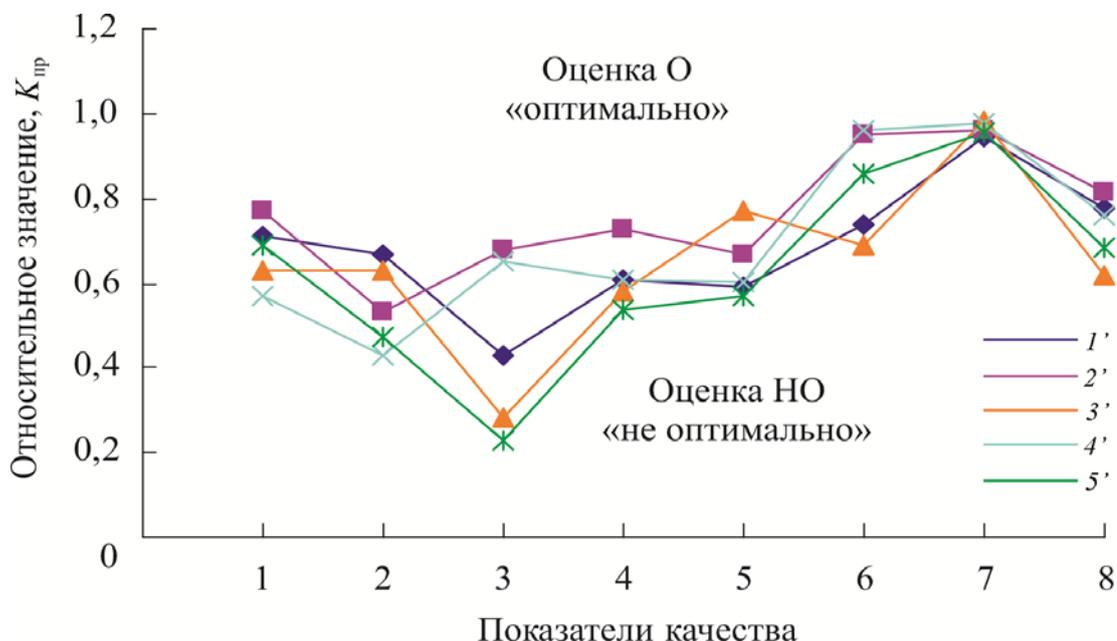


Рис. 1. Графики показателей (коэффициентов) качества монтажа модулей: 1'–5' – варианты модулей; 1 – система качества модулей; 2 – отсутствие брака; 3 – точность технологического процесса; 4 – снижение точности сборки; 5 – стабильность по погрешностям; 6 – деформация; 7 – снижение надежности; 8 – комплексный показатель качества

Предлагаемое устройство зондирования строительных модулей УВСС относится к устройствам определения расположения неоднородностей в строительных конструкциях (модулях), и может найти применение:

- зондирование строительных конструкций;
- определения скрытых дефектов в них.

Автоматическим определением глубины расположения подповерхностных объектов с использованием корреляционной функции $R(\tau)$ зондирующего и отраженного сигналов. Предлагаемые в работе замковые соединения требуют отбраковки на стадии изготовления и контроля качества на объекте.

Характеристики устойчивости экспертных оценок и хронометражных исследований

Таблица 1

Характеристики устойчивости экспертных оценок табл. 5.9

№ п/п	Факторы (показатели)	Экспертные оценки весомости факторов в условиях Крайнего Севера															K _y	t _{ср}	σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1.	Трудоемкость работ на строительной площадке	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	1,14	0,151	0,001
2.	Продолжительность выполнения технологических операций	0,11	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11	0,1	0,11	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,11	1,22	0,099	0,000893
3.	Себестоимость 1 м ² полносборных зданий	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	1,50	0,048	0,000573
4.	Приведенные затраты на 1 м ² полносборных зданий	0,12	0,11	0,13	0,13	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,13	0,11	0,12	0,11	0,11	1,18	0,117	0,000933
5.	Дополнительные трудозатраты на строительной площадке	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	1,50	0,052	0,000640
6.	Потребность в специальной технике, количество	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,09	1,28	0,082	0,00064
7.	Потребность в квалифицированных рабочих	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	1,50	0,031	0,000693
8.	Качество работ	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	1,40	0,056	0,000733
9.	Сборность (степень индустриальности)	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	1,33	0,072	0,00064
10.	Расход энергоресурсов (приведенной условной энергии)	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	3,00	0,022	0,00084
11.	Расход материалов (стоимость)	0,11	0,11	0,1	0,09	0,11	0,09	0,11	0,11	0,09	0,1	0,09	0,09	0,11	0,11	0,1	1,22	0,101	0,001173
12.	Зависимость от грунтовых условий	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	3,00	0,019	0,000773
13.	Влияние зимних условий на производство работ	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	1,14	0,150	0,0006
Итого:		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,41	1,00	0,010133

Таблица 2

Характеристики устойчивости хронометражных рядов табл. 5.4

№ п/п	Технологические процессы и операции	Продолжительность (мин.) технологических операций монтажа модулей УВСС типового этажа										K _y	t _{ср}	σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1.	Подъем модулей УВСС (3,0×9,0 м)	2,5	2,59	2,57	2,7	2,58	2,57	2,66	2,57	2,58	2,63	1,08	2,595	0,02785
2.	Установка модулей УВСС в проектное положение	2,05	2,07	2,11	2,2	2,16	2,17	2,26	2,07	2,25	2,15	1,21	2,138	0,04949
3.	Соединение модулей УВСС друг с другом	15,25	15,38	15,25	15,38	15,31	15,35	15,28	15,23	15,29	15,18	1,05	15,224	0,03920
4.	Установка трансформируемых несущих колонн УВСС	6,79	6,86	6,69	6,75	6,8	6,79	6,77	6,7	6,77	6,9	1,03	6,782	0,03696
5.	Установка трансформируемых ограждающих панелей УВСС	7,19	7,11	7,19	7,25	7,25	7,19	7,17	7,25	7,19	7,14	1,05	7,283	0,02001
6.	Заделка стыков между модулями УВСС	5,33	5,3	5,34	5,29	5,2	5,3	5,15	5,18	5,32	5,2	1,20	5,290	0,04469
Итого:		39,11	39,31	39,15	39,57	39,3	39,37	39,29	39	39,4	39,2	0,62	39,304	0,23760

Примечание:

1. K_y—величина коэффициента устойчивости экспертного и хронометражного ряда.
2. t_{ср}—средняя продолжительность выполнения операции.
3. σ—среднеквадратичное отклонение.

Таблица 3

Характеристики устойчивости экспертных оценок табл. 2.10-2.11

№ п/п	Факторы (показатели)	Экспертные оценки весомости факторов в условиях Крайнего Севера															K _y	t _{cp}	σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1.	Трудозатраты монтажа полносборного здания	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	1,14	0,150	0,00060
2.	Сроки монтажа по технологии (100м ²)	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	1,14	0,150	0,00110
3.	Долговечность возводимых зданий	0,15	0,14	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15	1,14	0,149	0,000493
4.	Требуемое количество рабочих (100м ²)	0,11	0,11	0,1	0,09	0,1	0,09	0,11	0,11	0,09	0,1	0,09	0,09	0,11	0,11	0,09	1,12	0,101	0,001173
5.	Удельный вес 1м ² монтажного элемента	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	1,50	0,052	0,00064
6.	Перекрываемый пролет здания	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	1,50	0,047	0,000573
7.	Количество подъемных механизмов	0,11	0,09	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,11	1,22	0,098	0,000893
8.	Вес 1м ² каркаса полносборного здания	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	1,50	0,031	0,000693
9.	Затраты по транспортировке	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08	1,33	0,071	0,00064
10.	Высота этажа полносборного здания	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	1,50	0,051	0,000733
11.	Стоимость 1 м ² построенного здания	0,1	0,11	0,09	0,12	0,09	0,1	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,09	0,1	0,1	0,09	1,33	0,103	0,00136
Итого:		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,42	1,003	0,008898

Таблица 4

Характеристики устойчивости экспертных оценок табл. 2.12

№ п/п	Факторы (показатели)	Экспертные оценки весомости факторов в условиях Крайнего Севера															K _y	t _{cp}	σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1.	Затраты труда на теплоизоляцию	0,15	0,15	0,16	0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	1,14	0,148	0,00064
2.	Паропроницаемость	0,11	0,11	0,1	0,09	0,1	0,09	0,11	0,11	0,09	0,1	0,11	0,09	0,11	0,11	0,09	1,12	0,101333	0,001173
3.	Водопоглощение	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	1,50	0,051333	0,000573
4.	Теплопроводность при (25 ± 5) °С	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	1,14	0,151333	0,000573
5.	Огнестойкость	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	1,50	0,048667	0,000573
6.	Прочность на сжатие	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	1,50	0,050667	0,000493
7.	Расчетное сопротивление теплопередаче	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	1,14	0,148	0,00064
8.	Стоимость 1 м ³	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	1,50	0,05	0,0006
9.	Плотность теплоизоляции	0,11	0,09	0,09	0,11	0,1	0,11	0,1	0,1	0,11	0,11	0,09	0,1	0,1	0,1	0,11	1,22	0,102	0,00084
10.	Толщина теплоизоляции	0,15	0,14	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,16	0,14	0,15	0,15	1,14	0,148667	0,000973
Итого:		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,90	1,00	0,225

Характеристики устойчивости экспертных оценок табл. 2.14

№ п/п	Факторы (показатели)	Экспертные оценки весомости факторов в условиях Крайнего Севера															K _y	t _{ср}	σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1.	Формообразование	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	1,50	0,024	0,00036
2.	Простота монтажа	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	1,50	0,0333	0,000733
3.	Рабочий разряд	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,50	0,0213	0,000173
4.	Транспортные затраты	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	1,50	0,052	0,00064
5.	Долговечность	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	1,50	0,0426	0,000293
6.	Подъемные механизмы	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,50	0,014	0,00036
7.	Вес покрытия	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	1,50	0,0233	0,000333
8.	Антисептики	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	1,50	0,0133	0,000333
9.	Вес каркаса	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	1,50	0,012	0,00024
10.	Перекрываемый пролет	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	1,50	0,034	0,00036
11.	Огнестойкость	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	1,50	0,0133	0,000333
12.	Контроль качества	0,16	0,14	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15	1,14	0,15	0,001
13.	Обучаемость технологии	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	1,50	0,0306	0,000693
14.	Этажность здания	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	1,50	0,0333	0,000733
15.	Максимальная высота этажа	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	1,50	0,014	0,00036
16.	Количество рабочих (100 м ²)	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	1,50	0,024	0,00036
17.	Время монтажа (100 м ²)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	1,14	0,1506	0,000493
18.	Огнестойкость	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	1,50	0,014	0,00036
19.	Трудозатраты по монтажу	0,14	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	1,14	0,148	0,00064
20.	Стоимость 1 м ² здания	0,16	0,15	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	1,14	0,152	0,00064
Итого:		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,000	0,009440