

На правах рукописи



СЫЧЕВ Сергей Анатольевич

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

Специальность 05.23.08 – «Технология и организация строительства»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена на кафедре технологии строительного производства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный консультант: **Казakov Юрий Николаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Лapidус Азарий Абрамович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет", заведующий кафедрой "Технологии и организации строительного производства"

Николаев Станислав Васильевич
доктор технических наук, профессор, АО "ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий", научный руководитель, г. Москва

Байбурин Альберт Халитович
доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (национальный исследовательский университет), кафедра "Строительное производство и теория сооружений", профессор, г. Челябинск

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**

Защита диссертации состоится 26 декабря 2017 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д **212.223.01** по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, ауд. 219 (зал заседаний диссертационного совета).

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/sychyov-sergey-anatolevich>

Тел./факс: (812) 316-58-72, E-mail: rector@spbgasu.ru
Автореферат разослан 03 октября 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук



Конюшков Владимир Викторович

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 F.-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, высокоэффективных конструктивно-технологических и организационно-технологических решений 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 этапам технологического цикла от завода до объекта строительства с учётом минимизации времени и трудозатрат, сокращения 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 полносбор-

ных 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 индустриальных 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 сходимости 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 полносборного строительства, в 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; в структурно-функциональном моделировании многоуровневых и многокритериальных связей прогнозных высокотехнологичных процессов и многофакторном анализе динамичной высокотехнологичной системы монтажа укрупненных трансформируемых матриц повышенной заводской готовности, в теоретико-игровом подходе к проектированию скоростного высокотехнологичного монтажа зданий в условиях неопределенности; в квалификационно-матричной системе ранжирования высокотехнологичных строительных систем с учетом близости к рациональному варианту инженерно-технологических решений; в интерактивной скоростной сборке зданий и эффективной транспортно-технологической системы в условиях Крайнего Севера.

Положения, выносимые на защиту:

- научно-практические основы высокотехнологичного монтажа быстро-возводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера;
- концептуальные решения модернизации изготовления и сборки быстро-возводимых 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 (проект производства работ) 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 Санкт-Петербургский филиал АНО ДПО «Техническая академия Росатома» (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, 10 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.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенных исследований.

В первой главе *«Системный анализ технологий возведения индустриальных зданий в России и за рубежом»* проведены системный анализ существующих систем и обобщение производственного опыта в области интенсификации монтажных работ в суровых условиях строительства, предложена новая классификация строительных систем, сформулированы принципы высокотехнологичного монтажа многоуровневых зданий и концепция модернизации производства и возведения индустриальных зданий, приведены принципы устройства фундаментов на Крайнем Севере, разработана блок-схема хода исследований.

Во второй главе *«Научно-практические основы высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера»* исследованы условия повышения уровня индустриализации системы модульного строительства, предложен метод многоступенчатого анализа поливариантного проектирования технологии возведения зданий из модулей, метод выбора высокотехнологичных и энергоэффективных схем монтажа в условиях Крайнего Севера, метод сравнительной оценки дифференцированного возведения зданий из модульных систем с учетом корреляционной связи технико-экономических и технологических параметров монтажа. Структурно-функционально смоделированы многоуровневые и многокритериальные связи прогнозных технологических процессов и обратный многофакторный анализ динамичной технологической системы монтажа укрупненных трансформируемых элементов повышенной заводской готовности в условиях Крайнего Севера, на основе чего предложен теоретико-игровой подход к проектированию высокотехнологичного монтажа полносборных зданий в условиях неопределенности. Разработана квалификационно-матричная система ранжирования строительных систем с учетом близости к рациональному варианту инженерно-технологических решений.

В третьей главе *«Транспортно-монтажный процесс и контроль качества сборки высокотехнологичных строительных систем в условиях Крайнего Севера»* изложены новые запатентованные автором средства и методы обеспечения точности скоростного высокотехнологичного монтажа зданий и сооружений из модулей повышенной заводской готовности, представлен комплектно-блочный монтаж зданий из высокотехнологичных модулей, системно-функционально смоделирована энергоэффективная технология монтажа и выверки зданий из высокотехнологичных модулей. Произведен детерминированный факторный анализ дефектов монтажа и эксплуатации модульных и полносборных зданий. Предложена и запатентована целевая методика формирования эффективной транспортно-технологической системы в условиях Крайнего Севера.

В четвертой главе *«Технология скоростного монтажа универсальной высокотехнологичной строительной системы полносборных зданий в условиях*

Крайнего Севера» разработаны и запатентованы автором новая универсальная высокотехнологичная строительная система, способы интенсивного, автоматизированного и роботизированного скоростного возведения полносборных зданий в условиях Севера, а также способ визуально-информационного монтажа зданий в условиях Крайнего Севера и функциональные аспекты высокотехнологичного визуально-информационного монтажа полносборных зданий. Сформулированы рекомендации по проектированию системы УВСС.

В пятой главе *«Анализ технико-экономической эффективности высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Севера»* исследован процесс скоростного монтажа из строительных систем УВСС по нормативно-технологическому обеспечению и технологичности, приведены результаты внедрения элементов разработанной технологии и визуально-информационного монтажа в практику строительства на Крайнем Севере, произведены оценка эффективности при обратном факторном анализе, а также практические рекомендации повышения эффективности и прогноз развития скоростного возведения зданий из высокотехнологичных строительных систем в условиях Крайнего Севера.

В заключении подведены итоги исследования, сформулированы *основные выводы и рекомендации* для научно-практического применения и дальнейшего развития результатов работы.

Работа выполнена в соответствии с указом Президента РФ «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, и перечня критических технологий», распоряжением Правительства РФ «Об утверждении Стратегии инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации на период до 2030 года» и планом приоритетных направлений развития прикладных наук и поисковых исследований РААСН.

II. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

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.

Автором обоснованы научно-практические методы новой технологии высокотехнологичного монтажа, рационализированные по критериям: производительность, трудоемкость, степень заводской готовности, масса и площадь монтируемого элемента, скорость сборки быстровозводимых трансформируемых зданий прогрессивными способами (раскладка, развертывание, поворот, раздвижные шарнирно-соединенные элементы, надстройка, встройка – присоединение объемно-блочных секций, переставных модулей).

В работе представлено использование: прогрессивной механизации и робототехники, малолюдных технологий; системы скоростного монтажа и демонтажа зданий; прогрессивных технологических процессов применения несъемной опалубки в производственных условиях, высокопроизводительного монтажного оборудования и унифицированных быстросборных многоэтажных зданий из

типовых трансформирующихся матриц-перекрытий (модулей); перспективных решений автоматического соединения модулей; роботизации и автоматизации монтажно-конвейерных линий на строительной площадке; визуально-информационного монтажа зданий на основе 6D иППР; оперативного автоматизированного контроля точности и качества монтажа. Предложенные решения защищены 10 патентами РФ (рис. 1).

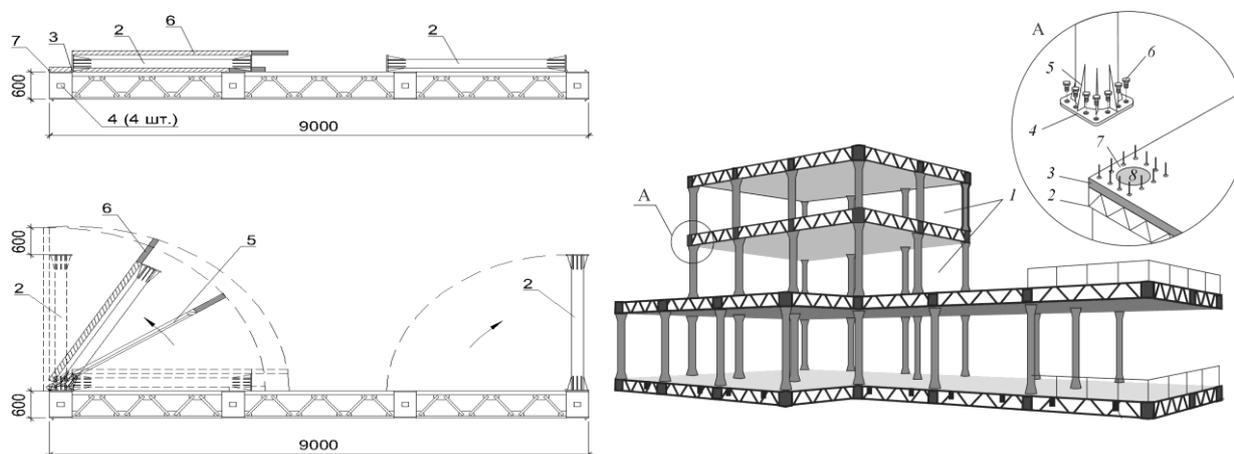


Рис. 1. Общий вид типового модуля УВСС в транспортном (слева) и собранном виде (справа):
 1 – модуль перекрытия; 2 – колонна; 3 – разъемные петли трансформируемой колонны;
 4 – дополнительные крепежи для наружных стеновых ограждений; 5 – трехкамерный стеклопакет; 6 – простенки с солнечными батареями; 7 – поворотные петли стенового ограждения; 2А-стальной нижний пояс; 3А-ж/б верхний пояс; 4А-планка; 5А-ребра жесткости; 6А-болтовые соединения; 7А-направляющие; 8А-трубобетон

Разработанные в процессе многофункциональной рационализации и представленные на рис. 1 строительные матрицы-перекрытий (модули) УВСС поставляются в сложенном виде, состоящие из матрицы пола и потолка с комплектующими, инженерными сетями и финишной отделкой, выполненной в заводских условиях, трансформируемых несущих сталежелезобетонных колонн и ограждающих стеклопакетов. Одновременно могут быть перевезены два комплекта модулей, что обуславливает снижение транспортных издержек. Предлагаемое решение модуля по сравнению с аналогами обеспечивает оперативность монтажа, снижение трудоемкости изготовления и монтажа модулей, повышение точности изготовления и монтажа (Заявка на изобретение № 2016113628 «Строительный модуль для строительства зданий»).

Индустриальное изготовление может быть организовано, как на отдаленных региональных заводах, так и на ближайших промышленных базах с учетом затрат на транспортирование изделий к месту строительства. Индустриальность может проявляться в тиражировании универсальных модулей и монтаже зданий «с колес» с использованием саморазгружающих роботизированных монтажных средств для монтажа матриц-перекрытий (модулей) УВСС.

С учетом конструктивно-технологических особенностей перспективной высокотехнологичной строительной системы разработаны и оценены состав и последовательность совершенствования технологических операций и процес-

сов 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.

Экспериментальными исследованиями методом хронометража на моделях определены параметры технологических операций процесса монтажа УВСС, использованные для разработки производственных норм.

В результате анализа рациональных решений монтажа для данной строительной системы разработаны и запатентованы принципиально новые методы и способы высокоэффективного, автоматизированного и роботизированного возведения полносборных зданий из строительных высокотехнологичных модульных систем с автоматическим позиционированием модулей при монтаже с использованием роботизированных телескопических монтажных платформ (Пат. 2616306 «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков»).

Автором разработан принципиально новый метод интерактивной скоростной сборки зданий с использованием интерактивных проектов производства работ (иППР) на основе технико-информационных моделей, технологических карт и макетов строительных объектов в системе 6D (координаты, время, стоимость, движение). Представлены принципы скоростного монтажа модульных матриц-перекрытий УВСС с использованием комплексно-интерактивного проектирования с автоматическим контролем процесса монтажа модулей (Пат. 2615025 «Компьютерная система управления строительным комплексом», 2619200 «Система дистанционного контроля за транспортировкой высокотехнологичных строительных систем», 2589886 «Устройство зондирования строительных конструкций», 2621484 «Силоизмерительное устройство контроля качества соединения высокотехнологичных модульных систем полносборных зданий»).

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

Суть предложенных концептуальных решений: проблема скоростного строительства решается за счёт применения модернизированных строительных комплексов – быстровозводимых полносборных зданий, которые представляют новую систему зданий, подсистем прогрессивных высокоэффективных технологий, технического обеспечения и инженерных сетей, объединенных в единую функциональную систему. Модернизация должна идти по всем направлениям с ориентацией на конечную цель – повышение скорости строительства, сниже-

ние трудоемкости и энергоемкости, монтаж с колес, создание региональных производственных баз для разработанной строительной системы УВСС.

Для чего предложена и научно обоснована комбинация следующих 10 технологических принципов скоростного строительства: 1 – высокоэффективная механизация, автоматизация и роботизация монтажа; 2 – максимально высокая степень заводской готовности модулей здания; 3 – встроенное энергоэффективное инженерное оборудование; 4 – автоматизация внутриплощадочного и внешнего транспортирования; 5 – новые типы несущих конструкций (быстрособираемые, шарнирно-сочленённые); 6 – встроенные системы обеспечения точности монтажа; 7 – применение композитов; 8 – новые типы стыков (замковые, безвыверочные); 9 – новые монтажные механизмы (транс-монтажные, телескопические подъемники, монтажные платформы кругового действия); 10 – дублирование противоаварийными системами в условиях Крайнего Севера.

Построение интервальных оценок позволило определить границы скорости возведения существующих и перспективных строительных систем, что позволило определить область высокотехнологичных строительных систем максимальной заводской готовности не менее 0,95. Для этого сроки сокращения подготовки производства и строительства прежде всего должны решаться в заводских условиях на конвейерных линиях, оборудованных роботами, что позволяет распределить трудозатраты в соотношении 5 % – на монтаже, 95 % – на заводе. Автоматизированная и роботизированная сборка зданий являются главными элементами скоростного строительства полносборных зданий из модульных трансформируемых систем.

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

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

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; $Q(Z_c)$ и $T(Z_c)$ – трудоемкость и продолжительность возведения полносборного здания с учётом норм Крайнего Севера.

Оценкой эффективности разрабатываемой индустриальной технологии монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий принят комплексный показатель затрат (Z_c), как сумма затрат на изготовление ($Z_{и}$), транспортирование ($Z_{тр}$) и монтаж сборных модулей ($Z_{м}$). Эффективность строительного производства в условиях Крайнего Севера будет определяться качеством организационно-технологических решений.

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

Для анализа и прогнозирования перспективного развития модульного строительства, комплексной оценки и выбора технологичных ресурсосберегающих вариантов разработаны новые многоцелевые и многофункциональные методические схемы развития, в основе которых лежит системный анализ технологических решений механизированных, автоматизированных и роботизированных монтажных работ и многоуровневая рационализация конструктивно-технологических решений (рис. 2).

Между элементами определены связи, потоки, коммуникации, по которым перемещаются материалы, ресурсные и экономические (стоимостные) связи. Комплексная система работает, если конечная цель – быстрая сдача объекта и не работает, если развивается один какой-то элемент строительной системы. Сравнительный анализ существующих способов возведения зданий показал, что объемно-модульный способ характеризуется высокими показателями эффективности, производительности и энергоемкости монтажа.

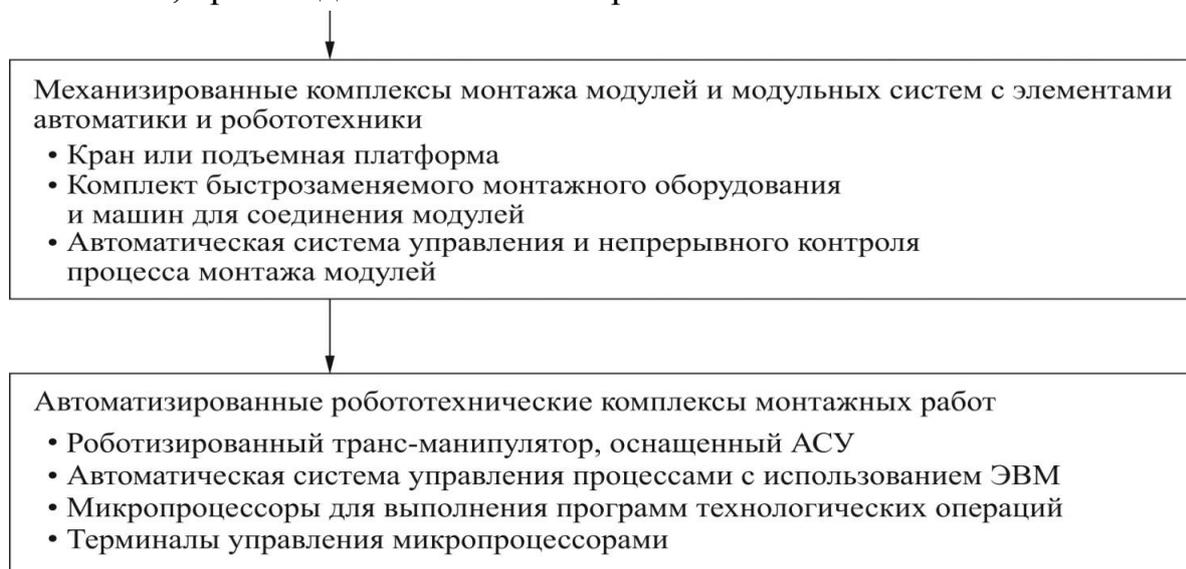


Рис. 2. Фрагмент схемы развития комплексной механизации, автоматизации и роботизации скоростного возведения модульных зданий

На схеме видно, что для достижения скоростного монтажа перспективные машинные комплексы должны быть оснащены средствами автоматизации, роботизации монтажа и контроля качества монтажа в условиях Крайнего Севера.

С целью многоуровневой рационализации проведены ряд хронометражных исследований с целью получения перспективных временных норм элементов разрабатываемой технологии. Для исследования с коэффициентами их значимости, выраженные продолжительностью операций способов выверки модулей в минутах, построен граф «дерево целей» (табл. 1).

Установлено, что манипуляции, осуществляемые групповыми роботизированными телескопическими платформами, позволяют обеспечить максимальную мощность, принудительные способы фиксации и высокую производитель-

ность, являются наиболее эффективными из существующих способов выверки и монтажа. Проведено энергетическое моделирование монтажа модулей УВСС. Предложенный метод позволяет определить перспективную энергоэффективность разрабатываемых монтажных средств.

Таблица 1

Сводная таблица результатов хронометражных измерений способов монтажа модулей УВСС

	Способ монтажа или монтажное оснащение, реализующее рассматриваемый способ	Номер ветви	Коэффициент значимости	Способы монтажа полносборных зданий					Операции	
				Выверка верха монтируемого модуля	Выверка низа монтируемого модуля	Наведение монтируемого модуля	Выверка монтажного оснащения	Установка монтажного оснащения		
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		2,29
		угловые	7	21,75	0,62					
		поворотные	8	20,81	0,08					
		клиновые	9	21,88	0,12					
		угловые	10	21,83	0,07					
		поворотные, $r = 100$ мм	11	21,87	0,11					
	с фиксатором в двух уровнях	поворотные, $r = 100$ мм	12	21,9	0,14	3,22	14,13			
		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	3,11				
		поворотными и клиновыми, на весу	17	6,07	0,67					
		поворотными	18	11,96	6,56					
Роботизированная телескопическая монтажная платформа УВСС		19	2,03	0,75	0,48	0,14	0,66			

Автором предложен принцип модульной разбивки структуры монтажных работ упрощает проектно-технологическую подготовку строительства, устанавливает взаимосвязь элементов и особенности технологии, позволяет прогнозировать формирование новых структур ТБ более совершенных технологий.

Технологический блок (ТБ) возведения полносборных зданий из модулей предложено понимать по новому, как имеющий максимально адекватную, сложную структуру, состоящую из следующих взаимосвязанных модулей:

$$ТБ = \{|\Phi_y|, |K_m|, |T_p|, |O_{тп}|, |P_p|, |M_c|, |Y_k|, |\mathcal{E}_т|, |A_p|, |P_k|\}, \quad (2)$$

где Φ_y – функциональный; K_m – конструктивный; T_p – технологический; $O_{тп}$ – организационный; P_p – производственный; M_c – механизированный; Y_k – управление; $\mathcal{E}_т$ – экономический; A_p – автоматизированный; P_k – контролирующий.

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, рисков и т. д.) в достижении цели V_{ij} .

Применяя данную теоретико-игровую модель проектировщика «проигрывают» на компьютерных программах различные варианты технологических решений с учетом заданных целей и ограничений, вероятностных значений элементов системы, имитируя внешние воздействия и изменения, которые могут возникнуть в реальной ситуации при строительстве зданий из модулей.

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 зданий.

Разработан метод интерактивного монтажа зданий и поливариантного проектирования ППР и ПОС на основе BIM технологий проектировщик и монтажник многократно проигрывает альтернативные варианты монтажа. Новый иППР в системе 6D (координаты, время, стоимость, движение по объекту) учитывает изменения в динамике, где высокая скорость строительства обеспечивается автоматическим и оперативным контролем точности монтажа модулей УВСС (Пат. 2619200 «Система дистанционного контроля за транспортировкой высокотехнологичных строительных систем») и визуально-информационного выполнения СМР (рис. 3).

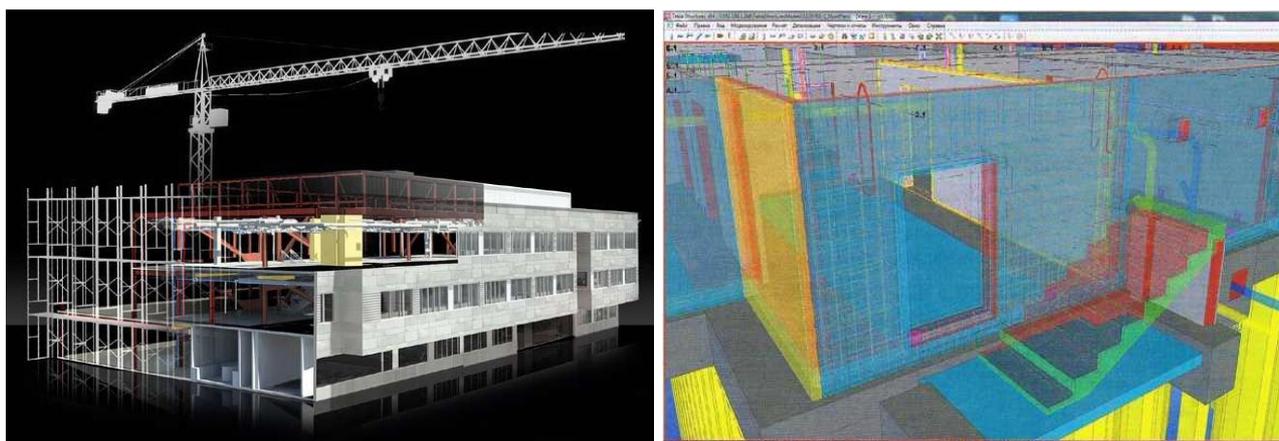


Рис. 3. Элементы интерактивного проекта производства монтажных работ (иППР)

Главное преимущество иППР в скоростной визуальной сборке систем УВСС с детализацией элементов модулей и здания (Пат. 2615025 «Компьютерная система управления строительным комплексом»). Задача состоит в выборе наиболее эффективного режима монтажа полносборных зданий в условиях Крайнего Севера, при которой достигается наибольшая производительность процесса монтажа и обеспечивается бездефектность технологии. Сначала составляется исходная матрица, затем, избавляясь от полидименсии, переходим к нормализованной матрице, далее к расчетной; вводим показатель значимости или весомости каждого показателя и находим оптимальное решение (max, min).

В результате решения многокритериальной задачи выбора рациональных конструктивно-технологических вариантов строительства по наиболее значимым технико-экономическим показателям (критериям трудозатрат, продолжительности работ, точности монтажа, энергоемкости, расходам ресурсов) наиболее оптимальной технологией оказалась разработанная система УВСС (табл. 2).

Таблица 2

Технико-экономические показатели различных монтируемых элементов

Технико-экономические показатели	Варианты монтируемых элементов			Весомость $q (\Sigma=1)$
	I	II	III	
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, \$/м ² (2016 г.)	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 зданий из высокотехнологичных модулей УВСС.

Предложенный метод поливариантного проектирования использован при выборе рационального варианта возведения полносборных зданий в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Тюменской областях по критериям: трудоемкость, сроки возведения, степень заводской готовности, масса элемента, площадь монтируемого элемента и т. д. Расчет вариантного проектирования монтажа полносборных зданий приведен в табл. 3.

Таблица 3

Фрагмент исходной матрицы показателей

Технико-экономические показатели	Технологические схемы монтажа				
	Поэлементный		Высокотехнологичный	Объемно-блочный	Весомость $q (\Sigma=1)$
	деревяно	стальной каркас			
Трудозатраты монтажа, чел.ч./м ²	1,4	2,5	0,2	0,8	0,152
Перекрываемый пролет, м	8	12	12	6	0,034
Кол-во рабочих (100 м ²), чел.	6	8	2	9	0,024
Этажность здания, этаж	2	35	1-35	16	0,0333
Качество технологии, балл	6	9	9	7	0,150
Себестоимость, \$/м ² (2016 г.)	300	550	350	300	0,148
Вес 1 м ² покрытия, кг/м ²	200	600	400	1400	0,0233
Транспортные затраты, балл	5	2	1	8	0,052
Время монтажа (100 м ²), дн.	12	9	1	5	0,1506

В результате комплексного анализа выявлено, что модули высокотехнологичной системы возведения полносборных зданий имеют существенные преимущества при сравнении даже с крупнопанельными и объемно-блочными системами, являясь наиболее рациональным решением, с учетом выявленных показателей. Весомость факторов научно-обоснована и является базой для совершенствования технических решений.

Результаты выбора рационального варианта с использованием компьютерной программы на основе полученных матриц представлен ниже (табл. 4). Следовательно, рациональным является четвертый вариант: поэлементная < высокотехнологичная (УВСС).

Таблица 4

Результаты оптимизационного анализа технологий

	Поэлементный на деревянном каркасе	Объемно-блочный	Поэлементный на стальном каркасе	Высокотехнологичный монтаж
Σ	0,387	0,434	0,487	0,657

По результатам многокритериальной рационализации технологических решений на 51,4 % наиболее рациональными для условий Крайнего Севера являются модульные трансформируемые конструкции системы УВСС.

В сравнении с традиционными технологиями преимущества использования УВСС в условиях Крайнего Севера состоят в следующем: за счет оптимизации модуля снижен расход материалов на 45,2 %; за счет оптимизации логистики расходы сокращены на 50 %; устранены «мокрые» процессы и сварка; круглогодичное проведение монтажных работ; полезный объем модуля увеличен на 42,9 %; многократно снижена трудоемкость монтажа; не требует высококвалифицированных специалистов, достаточно 3-2 разряда; трансформируемые (шарнирно-сочлененные) модули применимы к любым типам зданий.

Алгоритм выбора рационального варианта технологии модульного строительства по критериям трудоемкости, условий строительства, размеров принятых модулей и т. д., определяет последовательное выполнение операций (рис. 4).

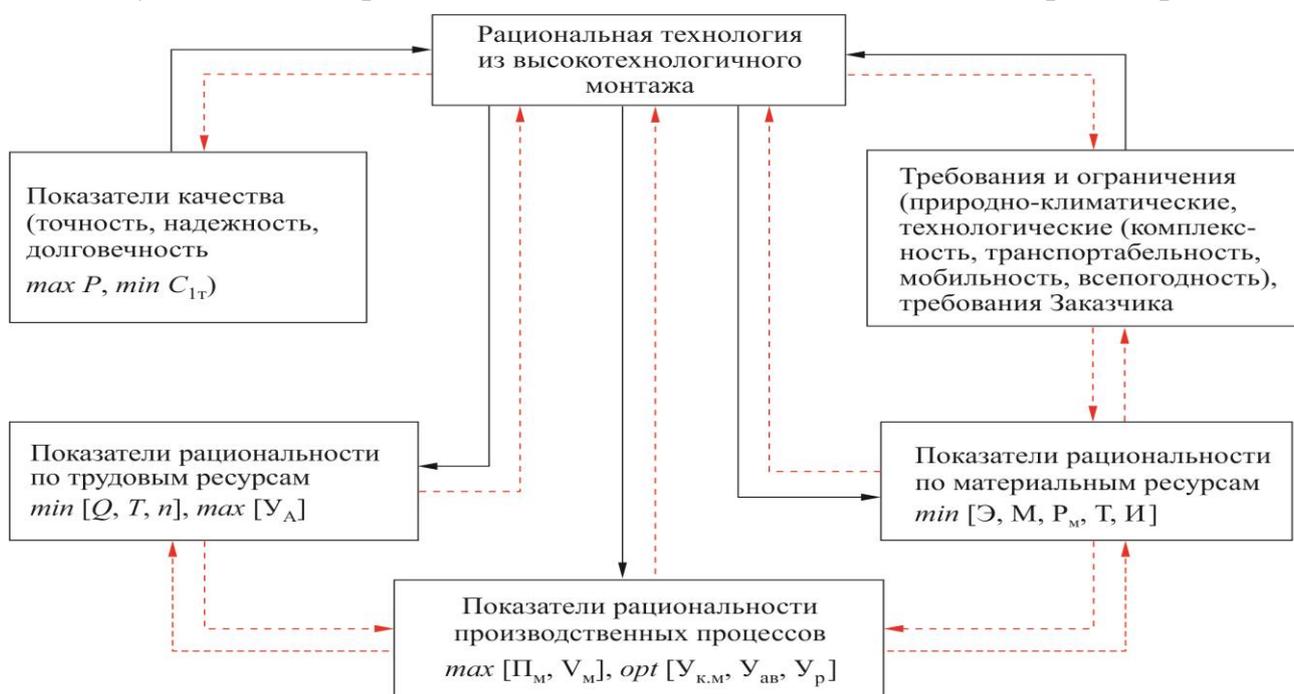


Рис. 4. Схема формирования рационального технологии модульного строительства

На основе многочисленных исследований установлены:

а) взаимосвязь функции, назначения и работы конструкции полносборных модульных зданий с природно-климатическими условиями (перепады °С, снег,

обледенение, скорость и порывы ветра) и производственными условиями строительства;

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

При этом общая трудоемкость совокупности практических решений технологии монтажных работ (см. модель ф-ла 1, стр.12):

$$Q = Q_z + Q_{тр} + Q_{об}, \quad (3)$$

где Q_z – затраты труда на заводе (индустриальность, сборность, быстровозводимость, трансформируемость конструкций, оптимизация размеров, применение роботов); $Q_{тр}$ – трудозатраты при транспортировке модулей (выбор оптимальных схем и видов комплексной перевозки раскладных форм-объектов в пределах габаритов дорог и грузоподъемности вертолетов, обоснования комплектации, упаковки, загрузки и разгрузки модулей); $Q_{об}$ – трудоемкость сборочных работ на объекте (многокритериальная рационализация технологических решений с учетом программного учета неблагоприятных северных условий, расчет манипуляторов, транс-роботов, подъемников, обоснование малолюдной технологии при внедрении роботизированных средств).

Экспериментальными исследованиями методом хронометража на моделях определены временные параметры технологических операций монтажа УВСС, использованные для разработки производственных норм. Сборочные площадки объектов строительства находятся вблизи Полярного круга (г. Новый Уренгой). При этом предполагается выполнять малолюдную технологию работ с использованием роботов и автоматических устройств (по аналогии со сборкой автомобилей из готовых частей).

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.

Разработаны и запатентованы новые методы оперативного обеспечения качества и точности технологических процессов: метод 1 дистанционного контроля качества строительных конструкций и модулей УВСС (Пат. 2589886 «Устройство зондирования строительных конструкций») и метод 2 дистанционного контроля качества и соединения модулей УВСС (Пат. 2621484 «Силоизмерительное устройство контроля качества соединения высокотехнологичных модульных систем полносборных зданий»).

Разработанный метод 3 анализа энергетических моделей выверки и монтажа позволил сравнить элементы монтажа полносборных зданий с позиций минимизации энергозатрат, фрагмент анализа представлен в табл. 5.

Из таблицы видно, что при предложенном внецентренном роботизированном монтаже, достигаются наилучшие показатели продолжительности, трудоемкости, точности, при минимальных значениях энергозатрат, в точности сборки в 8,3 раза, стоимости в 4,5 раз.

Фрагмент сравнения методов монтажа полносборных модульных зданий

Технико-экономические показатели	Способы монтажа модулей УВСС				
	Свободный	Ограниченно-свободный	Полупри-нудный	Полуавто-матизиро-ванный	Роботизи-рованный
Фиксация элементов	Без ограничений	С ограниче-телями связи	Кондук-тор фер-ма-шаблон	Объемно-групповой кондуктор	Телескопи-ческая мон-тажная плат-ма
Трудоемкость, %	100	76	61	40	5
Продолжительность, %	100	60	50	20	5
Технологическая оснастка	Гибкие стропы	Траверсы с гибкой свя-зью	Траверсы 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

Автором предложены метод 4 и алгоритм математического моделирования эффективной логистической системы для повышения эффективности организационно-технологические мероприятия логистической системы в условиях Крайнем Севере (Пат. 2619200 «Система дистанционного контроля за транспорировкой высокотехнологичных строительных систем»). Математическое моделирование показывает, что при объединении трех монтажных потоков в единую систему, занятость монтажных бригад и транспорта увеличивается. Производительность каждого транспорта, занятого перевозкой модулей, за счет ускорения разгрузки и применения трансформируемых несущих элементов модулей, может быть увеличена на 50 %, что позволяет обойтись меньшим количеством трейлеров.

Расчеты по выбору рационального технологического процесса при доставке УВСС показали, что при расчетах совместной работы роботизированного погрузочно-разгрузочного оборудования и транспортных средств возможно сокращение простоев строительных бригад на 100 %, а общих транспортных расходов на 51,4 %.

6. Разработаны новые способы использования 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.

На основе разработанной принципиально новой строительной системы УВСС (Заявка на изобретение № 2016113628 «Строительный модуль для строительства зданий») предлагаются четыре способа, которые обеспечивают повышение оперативности и производительности монтажа, а также минимизируют строительные процессы, трудоемкость и затраты при возведении зданий (Пат. 2616306 «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков»).

Например, способ 1, в качестве высокоэффективных средств механизации автором предложены к использованию маневренные телескопические подъемники типа «ричстакер», в качестве автоматизированного способа 2 разработан

трехплатформенный подъемник с телескопической монтажной платформой на базе модернизированных башенных кранов (рис. 5), а также разработано новое решение комплексного роботизированного монтажа зданий способ 3. Из циклического монтажный процесс превращается в непрерывно-циклический при подаче модулей УВСС. Наличие трех перемещающихся монтажных платформ с жестким захватом способствует повышению производительности, сокращая сроки монтажа в 6 раз. При разработке ППР на монтаж разработанных модулей УВСС рекомендуется использовать алгоритм ритмичного монтажа.

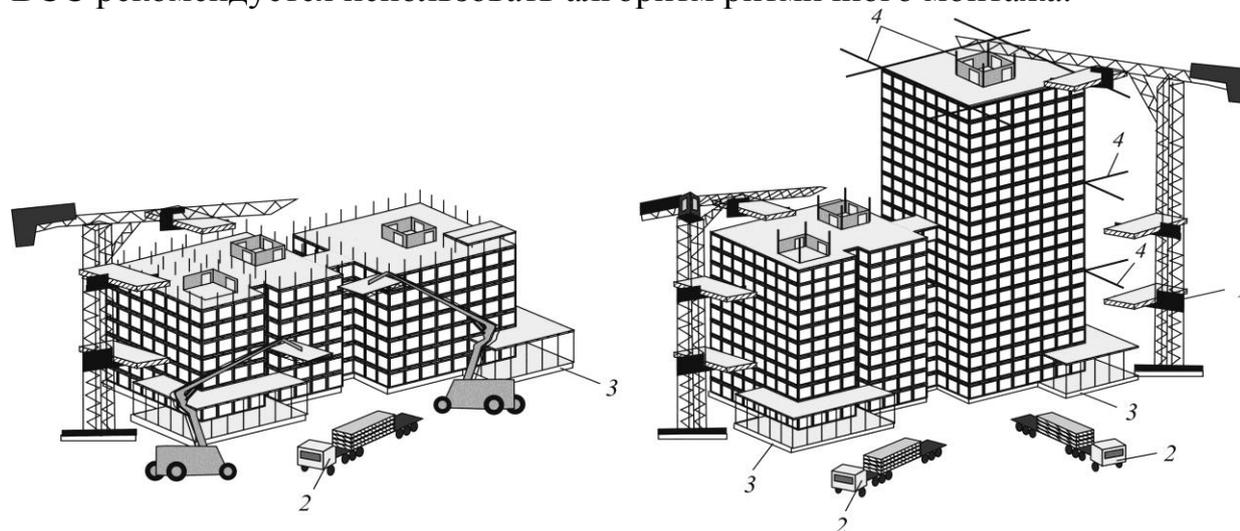


Рис. 5. Высокотехнологичный монтаж модулей УВСС подъемниками на базе модернизированных башенных кранов с телескопическими монтажными платформами:

1 – автоматизированный стреловой подъемник-манипулятор с тремя монтажными телескопическими платформами; 2 – трейлер; 3 – базовые модули; 4 – преднапряжённые канаты

Предложенный автором способ 2 автоматизированный стреловой подъемник-манипулятор выполнен на базе модернизированного башенного крана с несколькими специальными телескопическими монтажными платформами, которые представляют собой грузовые самоходные тележки с телескопическим жестким 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 (см. рис. 5). Для реализации принятого ранее в концептуальных решениях высокотехнологичного монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий принципа роботизации автором предложена новая пооперационная схема управления системой «роботизированный подъемник – монтажная телескопическая платформа», структурно-функциональная схема способа 3 роботизации монтажа полносборных зданий, блок-схема пооперационной работы роботизированной системы монтажа без ручной коррекции положения УВСС в монтажном пространстве (рис. 6).

Монтажный транс-робот с помощью телескопической платформы обеспечивает приемку, подачу, наведение и установку модуля в проектное положение. Телескопические монтажные платформы оснащаются камерами «технического зрения» и датчиками ориентации в пространстве (Пат. РФ 2616306 «Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков», 2368747 и 2398943 «Способ возведения сборной крыши мансардного типа».

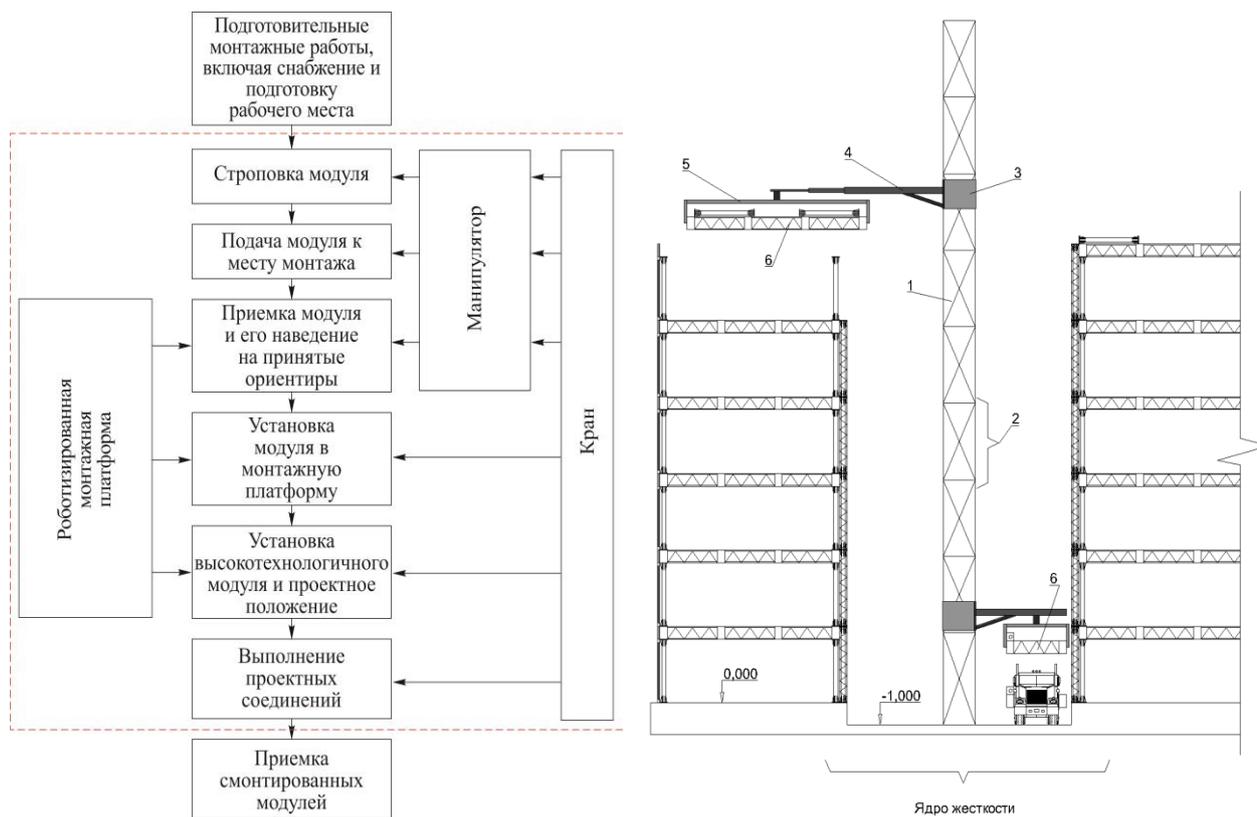


Рис. 6. Структурно-функциональная схема роботизированной монтажной платформы при возведении зданий:

1 – мачтовый монтажный робот; 2 – секция мачты; 3 – передвижная тележка; 4 – телескопическая платформа; 5 – захват; 6 – модуль УВСС

Способ 4 разработан и внедрен в условиях Крайнего Севера элементы 6D (координаты, время, стоимость, движение) интерактивного строительного проекта производства работ по скоростной сборке полносборных зданий из высокотехнологичных систем на основе объемных моделей строительных объектов и технологических схем: представлены принципы ускоренной сборки модулей УВСС. Предложенный 6D интерактивный ППР оказался надежным способом выявления технологических недостатков на стадии проектирования и строительства, способным осветить проблемные области совместимости структурных и технологических систем. Визуальное проектирование на основе иППР повышает качество ПОС и ППР на 50–55 %, дает экономию: при монтаже до 15 % от стоимости работ; времени монтажа модулей до 20 %; до 30 % от фонда оплаты труда; на оборудовании и материалах до 20 %; на времени и стоимости проектирования до 30 %.

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 работе автором исследованы важнейшие признаки, характеризующие монтажную технологичность разработанных сборных модульных полносбор-

ных зданий, при этом стоимость укрупнения монтируемых элементов полно-
сборных зданий на заводе ($C_{y.з.}$) ниже чем при монтаже ($C_{y.м.}$):

$$C_{y.з.} = 0,25 C_{y.м.}, \quad (4)$$

Данные хронометражной проверки существующих норм времени при вы-
сокотехнологичном монтаже УВСС представлены в табл. 6–8.

Таблица 6

Расчетная и нормативная трудоемкость монтажа модулей УВСС

Q, т	Мансардные модули УВСС					Типового этажа модули УВСС									
	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

По результатам хронометражных наблюдений расчетно-эмпирическим ме-
тодом фиксировались: время, количество рабочих и выполненный объем рабо-
ты при высокотехнологичном монтаже УВСС зданий проводился на объектах:
ЗАО «Ленуренгойстрой», г.Новый Уренгой, Тюменская область; автоматизиро-
ванный завод «Volkswagen», г. Вольфсбург, Германия; автоматизированный
склад Fastener Shanghai, Китай; моделирование отдельных операций.

Таблица 7

Нормы затрат труда операций на возведение здания из модулей УВСС (расчетно-
аналитический метод)

Наименование операций	Нормы затрат труда рабочих	
	ручные, Q, чел.-ч	механизированные, Пн, маш.-ч
Возведение здания из модулей УВСС		
Подъем модулей УВСС (3,0×9,0 м)	7,6	1,1
Установка модулей УВСС в проектное полож.		
Закрепление модулей УВСС (12 болтов/соед.)	11,5	–
Заделка стыков между модулями УВСС	3,84	–
Устройство ограждающих панелей УВСС	16,46	1,5
Установка 4 несущих колонн УВСС	12,0	2,4

Показав тем самым, что фактические нормы $N_{вр}^ф$ ниже нормативных
($N_{вр}^ф < N_{вр}^н$) при нормах выработки $N_{выр}^ф$ выше нормативных ($N_{выр}^ф > N_{выр}^н$).
Результаты, полученные расчетно-эмпирическим методом, приведены в табл. 9.

В результате проведенного многофакторного сравнительного анализа па-
раметров возведения полносборных зданий, определены удельные трудозатра-
ты и установлены зависимости трудоемкости монтажа зданий из унифициро-
ванных модулей от укрупненности блока и применяемых монтажных средств,
ошибка в нашем случае составила $\varepsilon_1 = 0 \%$ и $\varepsilon_2 = 96,34 \%$ (рис. 7).

Таблица 8

Хронометражные данные высокотехнологичного монтажа (ВМ)

Наименование	Рабочие операции	Продолжительность хронометражных наблюдений, мин		Количество наблюдений	Среднее значение, мин	
		min	max		расч.	факт.
Монтаж модулей УВСС типового этажа полносборного здания	Подъем модулей	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 наружных панелей УВСС	7,1	7,5	10	7,3	7
	Заделка стыков между модулями УВСС	4,9	5,3	10	5,1	5

Таблица 9

Результаты фактических норм затрат труда операций при ВМ 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	—

Полученные расчетом высокие значения коэффициента корреляции $\varepsilon_1 = 0$ % и низкие при применении монтажного робота $\varepsilon_2 = 96,98$ % говорят о том, что зависимость с существующими T_2 , полученная эмпирическим путем, плохо согласуется с нормативными данными, что свидетельствует о высокой эффективности разработанных решений с применением роботизированного монтажного комплекса в условиях Крайнего Севера и об отсутствии для него норм.

Согласно зависимостям трудоемкости и технологичности монтажа, были определены области высокотехнологичного, среднетехнологичного и слаботехнологичного монтажа модулей полносборных зданий (рис. 8).

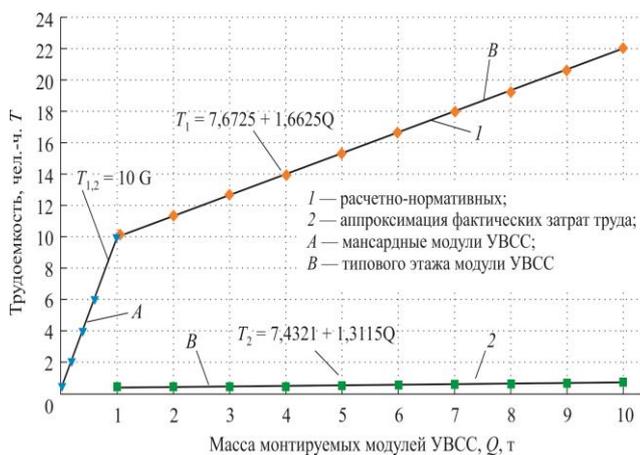


Рис. 7. Зависимость трудоемкости высокотехнологического монтажа трансформируемых модулей УВСС от их массы

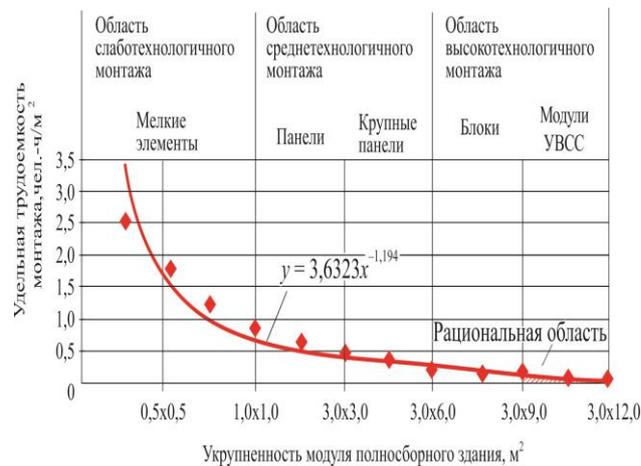


Рис. 8. Зависимость трудоемкости монтажа от площади монтируемого модуля УВСС

С учетом дифференциальных показателей предложена взаимосвязанная комплексная система показателей технологичности на различных этапах производственного цикла скоростного возведения модульных зданий (табл. 10).

Таблица 10

Показатели монтажной технологичности системы УВСС (фрагмент)

Показатели	Расчетная формула	Результат
Уровень заводской готовности модуля УВСС	$k_{\Gamma} = \frac{\theta_3}{\theta_3 + \theta_{\Gamma} + \theta_{\text{М}}}$ совокупная трудоемкость – θ_3 ; изготовления – $\theta_{\text{М}}$; монтажа; θ_{Γ} – транспортирования	0,95
Коэффициент технологичности: модулей УВСС	(технологичность сравниваемого варианта $k_{\text{тп}} = 0,15$)	0,85
Коэффициент блочности	$k_{\text{б}} = m_{\text{б}} / m_{\text{к}} \leq 1$ модули укрупненные $m_{\text{б}}$, общая масса монтируемых элементов $m_{\text{к}}$	0,93
Коэффициент технологичности установки конструкций	$k_{\text{ту}} = \frac{T_{\text{вз}}}{T_{\text{вз}} + T_{\text{в}} + T_{\text{с}} + T_{\text{з}}}$ $T_{\text{вз}}$ – продолжительность временного закрепления; $T_{\text{в}}$ – выверки конструкции; $T_{\text{с}}$ – сболчивания; $T_{\text{з}}$ – заделки стыка	0,71
Коэффициент дробности сооружения	$k_{\text{р}} = N_{\text{у}} / N_{\text{о}} < 1$ где $N_{\text{у}}$ – количество укрупненных монтажных элементов; $N_{\text{о}}$ – общее количество	0,5

Данная система позволяет оптимизировать организационно-технологические решения: снижение трудоемкости от повышения массы, размеров модулей, степени заводской готовности и площади зданий (рис. 9–14).

Применение высокотехнологичных строительных систем зданий из индустриальных модулей УВСС и роботизированный монтаж 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 (Пат. РФ 2317380 «Сборная крыша мансардного типа»). Оценка вариантов показала, что монтажная технологичность предложенных решений влияет на колебания трудоемкости от 21,4 до 133,3% и производительности монтажа на 44 %.

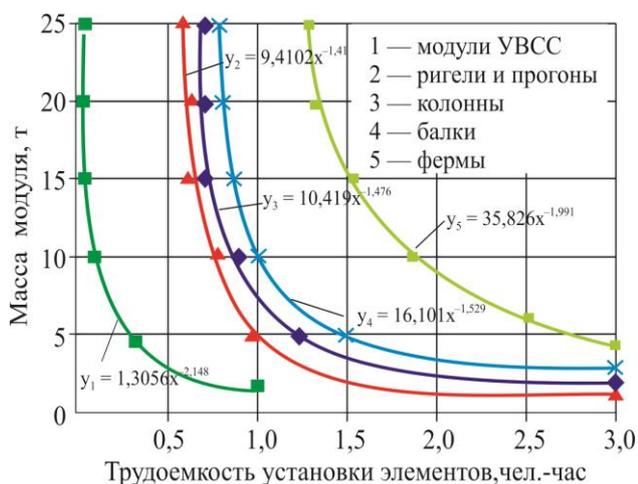


Рис. 9. Зависимость трудоемкости монтажа элементов здания от массы монтируемого укрупненного модуля УВСС

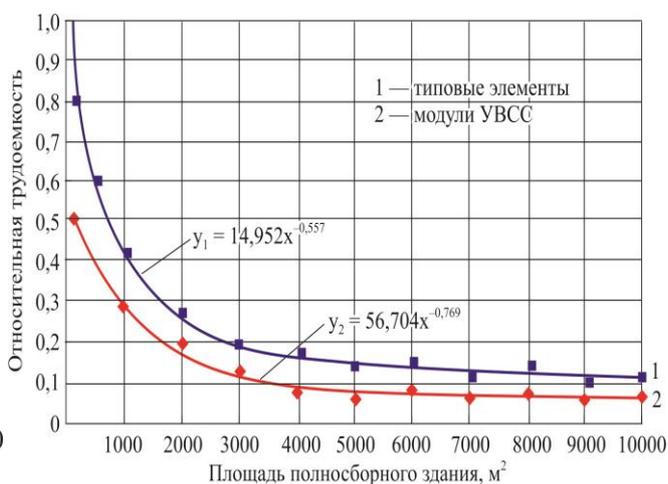


Рис. 10. Зависимость относительной трудоемкости от площади возводимого здания из модулей УВСС

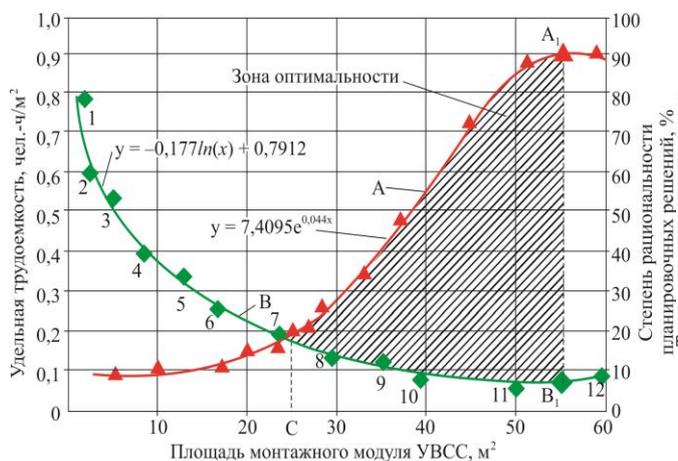


Рис. 11. Зависимость удельной трудоемкости возведения зданий от площади применяемых модулей УВСС: 1–5 – мелкие элементы; 6–8 – средние элементы (модули); 9–12 – крупные модули; А, В – зависимость рациональности объемно-планировочных решений зданий и трудоемкости монтажа от площади модулей; А₁, В₁ – значения оптимальности; С – оптимальная площадь модуля УВСС – 27–39,6 м²

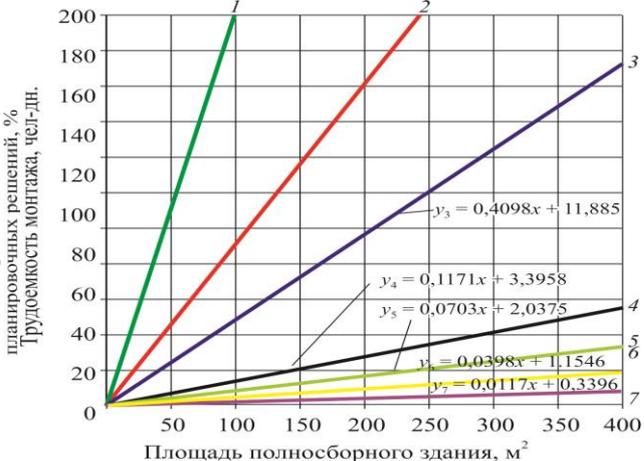


Рис. 12. Зависимость снижения трудоемкости возведения зданий от совместного использования оптимальных модулей УВСС и соединения узлов: 7 – разработанная УВСС технология; 6 – средние сэндвич-панели; 5 – мелкие сэндвич-панели; 4 – каркасно-обшивные технологии; 3 – крупнопанельные железобетонные технологии; 2 – кирпичные технологии; 1 – монолитные технологии

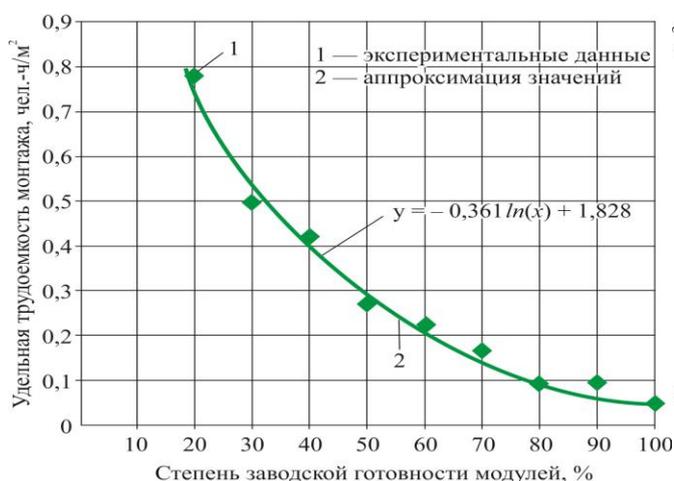


Рис. 13. Зависимость снижения трудоемкости монтажа полносборных зданий из модулей от степени заводской готовности модулей УВСС

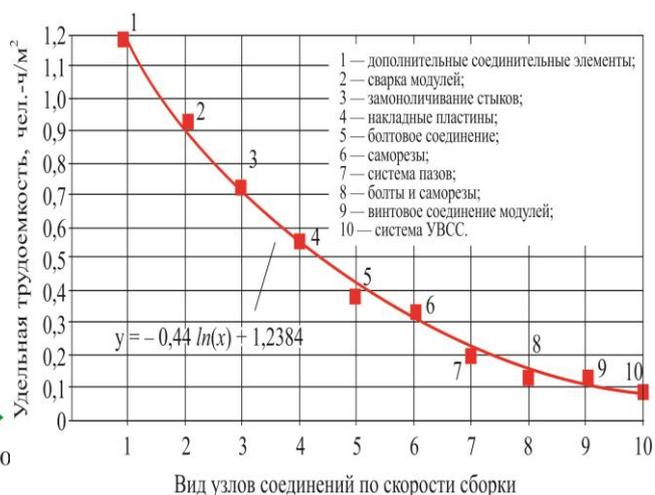


Рис. 14. Зависимость снижения удельной трудоемкости возведения зданий от узлов соединений модулей УВСС между собой

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

В оценке эффективности скоростного возведения зданий из УВСС систем доминирующим критерием эффективности является экономия времени возведения зданий в сравнении с КПД и ОБД, а мерой получаемых эффектов служит рентабельность производства и производительность труда. Оценки высокотехнологичного монтажа показывают экономию затрат от 0,8 % до 51,4 % по сравнению с КПД (крупнопанельное домостроение) за счет сокращения общестроительных работ, встроенных сетей, отделки, использования сталежелезобетона, трансформируемых элементов, отсутствия сварочных и «мокрых» процессов ускорения ввода в эксплуатацию. Модульное проектирование предполагает конструктивную, функциональную и технологическую завершенность, взаимозаменяемость и универсальность элементов.

В табл. 11 приведен пример выбора наилучшего варианта на этапе ТЭО в виде сводной матрицы технико-экономических оценок строительства зданий различными способами в относительных единицах. В ней рассмотрено 19 технологий и дана оценка каждой технологии по 13 технико-экономическим показателям – критериям эффективности.

В таблице даны следующие обозначения: y_i – способы строительства полносборных зданий; y_1 – система «Модуль»; y_2 – универсальная высокотехнологичная строительная система (УВСС); y_3 – система УГТ; 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 Nirron Kokan; y_{17} – кирпично-монолитное; y_{18} – крупноблочное; y_{19} – кирпичное.

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 – приве-

денные 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, балл.

Таблица 11

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

Результаты компьютерного расчета матрицы [19×13] указывают, что наиболее эффективной технологией является технология скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем УВСС – y_2 , которая имеет наилучшие показатели по совокупности критериев эффективности.

Теоретические и экспериментальные данные автора, выполненные на объектах внедрения, дали следующие результаты по системе УВСС (табл. 12).

Система УВСС позволяет эксплуатацию зданий в климатических условиях Крайнего Севера с диапазоном температур от –70 до +45 °С; она спроектирована в транспортных габаритах; из транспортного состояния трансформируется в объемный модуль в течение нескольких минут бригадой из 2-х человек; многоэтажное здание многофункционального назначения можно построить в сжатые сроки при роботизации монтажа.

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-сталежелезобетон	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 + лестничный марш, внедрение новых соединений	–
Применение разработанного типа внецентренного монтажа	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 трансформируемых 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 оперативный контроль 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

Для прогнозирования перспективного развития разработанной системы УВСС разработана диаграмма, в основе которой лежит системный анализ статистических данных существующих конструктивно-технологических решений (рис.15). На полученном графике видно, что разработанная система УВСС постепенно вытеснит существующую объемно-блочную систему, как трудоемкую, затратную и энергоемкую.

К наиболее эффективным средствам достижения прогнозируемых целей применения скоростного строительства полносборных зданий из модульных систем относятся основные пять процессов (табл. 13 фрагмент матрицы).

В пределах долгосрочного прогноза развития строительных систем (25 лет) комплектация модулей УВСС будет обеспечена системами активного энерго-

обеспечения и сборными инженерными сетями; снижение веса складной секции с 7,5 т до 2,2 т за счет применения композитов и стеклопластиков; полный переход на огнестойкие и легкие композиты. Повышение срока службы системы УВСС до 150-200 лет; повышение степени огнестойкости.

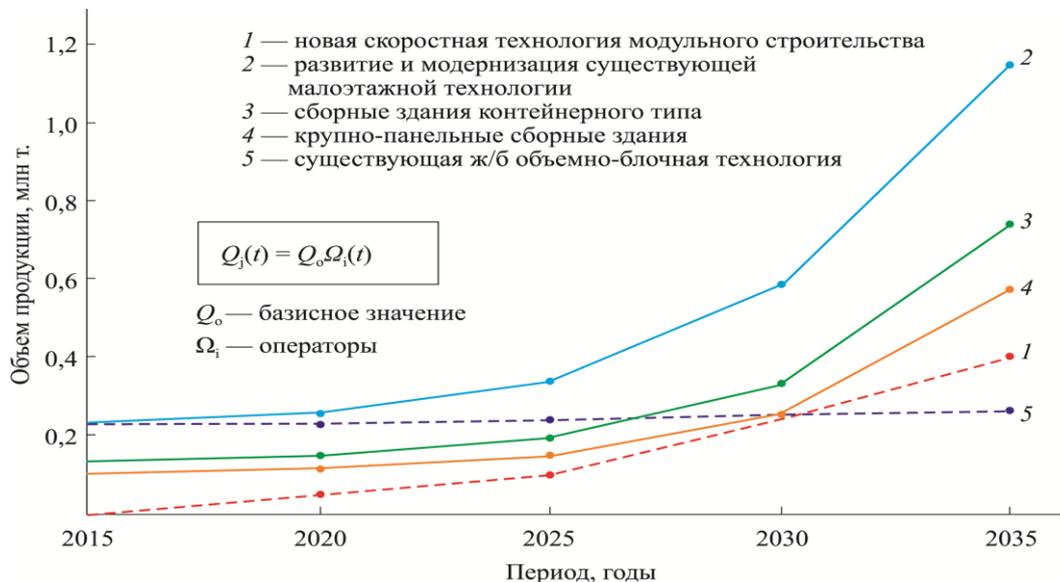


Рис. 15. Прогноз развития полносборного строительства зданий

Таблица 13

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 трудоемкости 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	Увеличение степени заводской готовности	0,1498	1	1	8	1	5	9	8	12	45
3	Использование встроенного инженерного оборудования	0,1495	2	2	9	4	10	7	6	7	47
4	Снижение габаритов и веса монтируемых элементов	0,1001	6	6	1	5	1	5	12	16	52
5	Трансформируемость несущих конструкций	0,0493	10	10	4	6	2	8	7	8	55

Осуществлено внедрение разработанной технологии в практику строительства (рис. 16) полносборных зданий из модулей в 2007–2016 гг. в ООО «Ямал-ЖилСтрой» и ЗАО «Ленуренгойстрой».

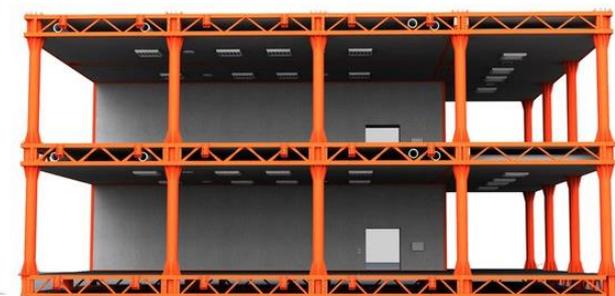


Рис. 16. Моделирование и строительство типового образца модуля УВСС технологии скоростного монтажа полносборных зданий

Себестоимость работ сократилась на 8 %, трудозатраты – на 30 %, а продолжительность – на 45 %. 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. Новый Уренгой, Тюменская область. Разработаны, утверждены и внедрены три новых руководящих технических материала «Технологические регламенты скоростного возведения полносборных зданий» при строительстве зданий в г. Новый Уренгой, Тюменской области.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс (5 монографий, 12 учебных пособий) ряда строительных вузов и институтов повышения квалификации при подготовке и переподготовке инженерно-строительных кадров.

III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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 этапам технологического цикла от завода до объекта строительства с учётом минимизации времени и трудозатрат, сокращения производственных циклов, максимизации скорости и производительности работ, а именно: несъемной опалубки в производственных условиях, новых типов трансформируемых модулей и 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 Крайне-

го 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 работе роботизированного погрузочно-разгрузочного оборудования и транспортных средств, показывают, что возможно сокращение на 51,4 %. Объединение в трех роботизированных монтажных потоков в 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 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_6 (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 промышленных 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 промышленных 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.

IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ОПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Монографии:

1. **Сычев, С. А.** Технология ускоренного монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей/ С.А. Сычев.– СПб.:Изд-во СПбГПУ, 2010.–180 с.(10 п. л.)
2. **Сычев, С. А.** Технология ускоренного возведения мансард. Высокотехнологичный способ надстройки зданий и сооружений / С. А. Сычев. – Saarbrücken, Germany : Lap Lambertar GmbH&Co. KG, 2011. – 151 p. (8,39 п. л.)
3. **Сычев, С. А.** Современные технологии строительства и реконструкции зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев.– СПб.: БХВ-Петербург, 2013.– 288 с.(16/8 п. л.)
4. **Сычев, С. А.** Справочник строителя / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. – М.: АСВ, 2016. – 432 с. (24/12 п. л.)
5. **Сычев, С. А.** Теория и практика промышленной технологии монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера/ С. А. Сычев.– СПб.: СПбГАСУ, 2016. – 284 с. (15,8 п. л.)
6. **Сычев, С. А. Сычев, С. А.** Технологии строительства и реконструкции энергоэффективных зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев, Г. Д. Макаридзе. – СПб.: БХВ, 2017.– 464 с. (29/14,5 п. л.)
7. **Сычев, С. А.** Математические методы и модели в строительстве из высокотехнологичных систем / О. А. Малафеев, С. А. Сычев. – СПб.: СПбГАСУ, 2017.– 138 с. (8,62/4,31 п. л.)

8. **Сычев, С. А.** Перспективные технологии строительства и реконструкции зданий / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 292 с. (18,2/9,1 п. л.)
9. **Сычев, С. А.** Высокотехнологичный монтаж быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера/ С. А. Сычев.– СПб.: СПбГАСУ, 2017. – 358 с. (22,38 п. л.)
- Публикации в научных изданиях по специальности 05.23.00, рекомендованные ВАК РФ:**
10. **Сычев, С. А.** Технология монтажа быстровозводимых конструкций / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – № 3(4). – С. 28–30 (0,22 п. л.).
11. **Сычев, С. А.** Исследование изменения трудозатрат монтажа скоростного объемно-модульного строительства / С. А. Сычев // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 11. – С. 67–70. (0,22 п. л.)
12. **Сычев, С. А.** Нормативно-технологическое обеспечение процесса монтажа быстровозводимых модульных зданий / С. А. Сычев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 3(24). – С. 49–55. (0,39 п.л.)
13. **Сычев, С. А.** Вопросы совершенствования комплексной системы управления качеством модульного строительства / С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 6(53). – С. 139–145. (0,39 п. л.)
14. **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. (0,17 п. л.)
15. **Сычев, С. А.** Методика выбора схем комплексной механизации модульного строительства // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №4(38). – С. 65. (0,7 п. л.)
16. **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. (0,33 п. л.)
17. **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. (0,39 п. л.)
18. **Сычев, С. А.** Системный анализ технологий высокоскоростного строительства в России и за рубежом / С. А. Сычев // Перспективы науки. – 2015. – № 9(72). – С. 126–132. (0,39 п. л.)
19. **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. (0,33 п. л.)
20. **Сычев, С. А.** Исследование факторов, влияющих на совершенствование технологий высокоскоростного модульного строительства / С. А. Сычев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство». – 2016.– Т. 16, № 1.– С. 35–40 (0,33 п. л.)
21. **Сычев, С. А.** Методы обеспечения точности монтажа зданий и сооружений из объемных модулей повышенной заводской готовности / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2015. – № 11. – С. 44–48. (0,28 п. л.)
22. **Сычев, С. А.** Выбор эффективных технологий при производстве опалубочных работ / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. – 2005. – № 4(5). – С. 85–87.
23. **Сычев, С. А.** Прогнозирование инновационных решений и технологий полносборного строительства / С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 1(54). – С. 97–102. (0,33 п. л.)
24. **Сычев, С. А.** Высокотехнологичная строительная система скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2016. – № 3. – С. 43–48. (0,33 п. л.)
25. **Сычев, С. А.** Анализ структуры и содержания технологических модулей монтажа укрупненных элементов / С. А. Сычев // Жилищное строительство. –2016. – № 1–2. – С. 36–40. (0,28 п. л.)

26. **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. (0,22 п. л.)
27. **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 (0,28 п. л.)
28. **Сычев, С. А.** Методика прогнозирования прогрессивной техники и технологии высокоскоростного монтажа модульного строительства / С. А. Сычев, Г. М. Баджин // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 10. – С. 22–25. (0,22/0,11 п. л.)
29. **Сычев, С. А.** Ускоренный монтаж мансард из унифицированных сэндвич-панелей / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2008. – № 6. – С. 6–8.
30. **Сычев, С. А.** Сетевые модели со сложными замкнутыми контурами, определение критического пути / С. А. Сычев, Д. Т. Курасова, С. А. Болотин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3(37). – С. 106. (0,9/0,3 п. л.)
31. **Сычев, С. А.** Теоретико-игровой подход к проектированию высокоскоростной технологии монтажа зданий / С. А. Сычев, Г. М. Баджин и др. // Жилищное строительство. – 2015. – № 12. – С. 9–12. (0,22/0,11 п. л.)
32. **Сычев, С. А.** Методика сравнительной оценки различных вариантов скоростного строительства из высокотехнологичных систем / С. А. Сычев и др. // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2 (55). – С. 114–120. (0,38/0,18 п. л.)
33. **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. 26–30. (0,28 п. л.)
34. **Сычев, С. А.** Оптимизация технологических решений строительства из быстро возводимых систем / С. А. Сычев, Ю. Н. Казаков // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 3(56). – С. 130–135. (0,33/0,17 п. л.)
35. **Сычев, С. А.** Автоматизированная система высокоскоростного монтажа зданий из модулей и модульных систем / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2016. – № 11. – С. 48–51. (0,22 п. л.)
36. **Сычев, С. А.** Многофункциональная оптимизация в технологии высокоскоростного модульного строительства / С. А. Сычев // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 4(57). – С. 99–104. (0,33 п. л.)
37. **Сычев, С. А.** Рассмотрение модернизации технологий полносборного строительства в магистерской диссертации по теме «технологии и организация строительства» / А. Ф. Юдина, С. А. Сычев // Строительство: наука и образование. – М.: МГСУ. – 2016. № 4. Ст. 4. DOI: 10.22227/2305-5502.2016.4.4 (0,22/0,11 п. л.)
38. **Сычев, С. А.** Технология скоростного монтажа полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2017. – № 1-2. – С. 42–46. (0,33 п. л.)
39. **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. (0,5/0,25 п. л.)
40. **Сычев, С. А.** Индустриальная технология монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / С. А. Сычев // Жилищное строительство. – 2017. – № 3. – С. 71–78. (0,28 п. л.)
- Публикации в других изданиях:**
41. **Sychev, S. A.** Energy-economic house: Energy-Efficient construction technologies / G. M. Badjin, S. A. Sychev // Transmit World. – 2013. – Vol. 2, № 1.–Mode of access: <https://transmitworld.wordpress.com/archives/> (Scopus Q3) (0,33/0,11 п. л.)
42. **Sychev, S. A.** Improving Technology of Constructing Pre-Fabricated Buildings in the Conditions of Northern Regions / G. Badjin, S. Sychev, Y. Kazakov, A. Judina // Applied Mechan-

ics and Materials. – 2015. – Vol. 725-726. – P. 100-104. – DOI: 10.4028/www.scientific.net /AMM.725-726.100 (*Scopus Q3*). (0,11/0,03 п. л.)

43. **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 (*Scopus Q3*). (0,28 п. л.)

44. **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 (*Scopus Q1*). (0,33/0,17 п. л.)

45. Пат. 2619200 РФ, МПК E07C 5/08 (2006.01). Система дистанционного контроля за транспортировкой высокотехнологичных строительных систем / **Сычев С. А.**, Казаков Ю. Н. и др. – № 2016110344 ; заявл. 21.03.16. (1/0,4 п. л.)

46. Пат. 2615025 РФ, МПК E08G 1/123 (2006.01). Компьютерная система управления строительным комплексом / **Сычев С. А.**, Дикарев В. И.; – № 2016110345; заявл. 21.03.16; опубл. 27.04.17, Бюл. № 4. (0,28/0,14 п. л.)

47. Пат. 2317380 РФ, МПК E04B 7/02 (2006.01). Сборная крыша мансардного типа / Бадьин Г. М., **Сычев С. А.**; – № 2006118094/03 ; заявл. 25.05.06; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5. (0,28/0,14 п. л.)

48. Пат. 2368747 РФ, МПК E04G 23/02 (2006.01). Способ возведения сборной крыши мансардного типа / Бадьин Г. М., **Сычев С. А.**; – № 2007126882/03 ; заявл. 13.07.07 ; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27. (0,28/0,14 п. л.)

49. Пат. 2398943 РФ, МПК E04G 23/02 (2006.01). Способ ускоренного монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей / Бадьин Г. М., **Сычев С. А.** – № 2008131743/03 ; заявл. 31.07.08 ; опубл. 10.09.10, Бюл. № 25. (0,28/0,14 п. л.)

50. Пат. 2589886 РФ, МПК G01S 13/88 (2017.01). Устройство зондирования строительных конструкций / **Сычев С. А.**, Дикарев В. И.; – № 2015132541/07 ; заявл. 04.08.15 ; опубл. 10.07.16, Бюл. № 19. (0,66/0,33 п. л.)

51. Пат. 2616306 РФ, МПК E04B 1/348 (2006.01). Способ строительства многоэтажных зданий из объемных блоков / **Сычев С. А.** – № 2016114357; заявл. 13.04.16. опубл. 20.05.17, Бюл. № 5. (0,57 п. л.)

52. Пат. 2621484 РФ, МПК G01L 1/00(2006.01).Силоизмерительное устройство контроля качества соединения высокотехнологичных модульных систем полносборных зданий/**Сычев С.А.** и др.– № 2016110373;заявл.21.03.16.(1/0,8 п. л.)

53. Заявка на изобретение № 2016113628 РФ, МПК E04B 1/348 (2006.01). Строительный модуль для строительства зданий / **Сычев С. А.** – № 2016113628 (021378); заявл. 08.04.16 (0,47 п. л.)

54. **Сычев, С. А.** Технология проектирования интерактивного проекта производства работ при возведении энергоэффективных зданий из модульных систем / С. А. Сычев, Г. М. Бадьин // сб. науч. тр. РААСН. – М.: РААСН, 2016. – С. 596–599. (0,22/0,11 п.л)

55. **Сычев, С. А.** Инновационная технология индустриального монтажа быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев // сб. науч. тр. РААСН. – М.: РААСН, 2017. – С. 76–84. (0,6/0,3 п.л).