

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора

Корсуна Владимира Ивановича

на диссертационную работу **КАЛДАР-ООЛ Анай-Хаак Бугалдаевны** на тему:

«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРОБОВЫХ СВОДОВ В ЗДАНИЯХ-ПАМЯТНИКАХ АРХИТЕКТУРЫ – ОБЪЕКТАХ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Официальному оппоненту для подготовки отзыва были представлены: диссертация на 192 страницах машинописного текста, включающая введение, четыре главы с общими выводами, список использованной литературы из 180 наименований работ отечественных и зарубежных авторов, иллюстрации в форме 40 таблиц и в виде 106 рисунков, 10 приложений, 2 акта о внедрении, автореферат диссертации на 25 страницах, копии 10 статей соискателя, опубликованных им лично и в соавторстве, в том числе в рецензируемых изданиях.

На основании рассмотрения представленных материалов формулируется заключение о том, что диссертация **КАЛДАР-ООЛ А-Х Б** на тему: **«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРОБОВЫХ СВОДОВ В ЗДАНИЯХ-ПАМЯТНИКАХ АРХИТЕКТУРЫ – ОБЪЕКТАХ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ»** содержит признаки научно-квалификационной работы, соответствующие паспорту специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения», и отвечает областям исследования, предусмотренным п.3 паспорта: «Создание и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований вновь возводимых, восстанавливаемых и усиливаемых строительных конструкций, наиболее полно учитывающих специфику воздействий на них, свойства материалов, специфику конструктивных решений и другие особенности».

Актуальность избранной темы

Рецензируемая диссертационная работа **КАЛДАР-ООЛ А-Х. Б.** посвящена решению важной научно-технической задачи сохранения конструкций памятников архитектуры на основе результатов специальных исследований, направленных на изучение напряженно-деформированного состояния и несущей способности конструкций сводчатого типа. Главные трудности при определении несущей

способности кирпичных сводов коробового очертания связаны как с недостаточным развитием инженерных методов их расчета, так и со способами определения характеристик физико-механических свойств кирпичной кладки.

В действующих нормах проектирования каменных и армокаменных конструкций, помимо физико-механических свойств материалов, расчетов стен, простенков и столбов, приводятся методы расчета только тонкостенных сводов двойкой кривизны. Нормативы для криволинейных перекрытий из кирпичной кладки, в частности, для коробовых сводов, фактически отсутствуют.

Достоверная количественная оценка несущей способности конструкций возможна только при учете в исходных данных действительных прочностных характеристик материалов, фактического технического состояния и особенностей работы конструкций.

Создание приближенной методики расчета коробовых сводов применительно к зданиям исторической застройки с учетом анизотропии упругопластических свойств каменной кладки, как двухкомпонентного материала, является *актуальной* задачей.

Анализ и оценка содержания диссертации

Во введении изложены актуальность темы исследования, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, представлены положения, выносимые на защиту, дано обоснование достоверности результатов работы, указаны примеры реализации и апробации работы.

В первой главе диссертации приведены примеры применения сводов в строительных конструкциях прошлых веков (конец XVIII – начало XIX вв.), описана история развития методов их расчета. Рассмотрены графоаналитические схемы построения геометрической оси коробовых сводов, ее очертания, приведено описание материалов, применявшихся для возведения сводов.

Подробно в исторической перспективе рассмотрены методы расчета конструкций сводов, дан анализ их достоинств и недостатков, показана нерациональность применения графоаналитического метода расчета, определены направления исследований, обоснованы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлены методика построения геометрического очертания оси свода по фактическим параметрам его пролета L и стрелы подъема f , а также результаты натурного обследования надподвального сводчатого

перекрытия здания Этнографического музея города Санкт-Петербурга. Показано хорошее соответствие расчетных значений геометрических характеристик оси свода значениям, полученным в результате натурных обмеров конструкций.

Разработана методика построения трехцентровых коробовых кривых в среде Mathcad.

Полученное аналитическое описание оси свода позволяет более точно определять величины действующих нагрузок на свод: собственный вес свода $q_{с.в.}$; вес забутки $q_з$; равномерно-распределенную нагрузку поверх забутки $q_{р.н}$; различные виды временных нагрузок F .

Представлены результаты поверочного расчета кирпичного свода на действие уточненных по результатам натурных исследований нагрузок и характеристик механических свойств материалов. Автором применен экспериментально-теоретический способ получения характеристик свойств каменной кладки, в котором характеристики прочности кирпича и раствора определяются экспериментальными методами неразрушающего контроля, а прочность каменной кладки – по расчетной методике СП 15.13330.2012.

В диссертации коробовый свод рассматривается как ортотропное тело с цилиндрической анизотропией. Для сводов, как криволинейных конструкций, состоящих из кирпичей и растворных швов, автором предложены выражения для упругих постоянных на основе соотношений теории упругости анизотропных тел.

Учитывается работа кирпичной кладки в сложном напряженном состоянии, при этом прочность каменной кладки определяется с применением феноменологических соотношений. Представлены аналитические выражения для вычисления модулей упругости кирпичной кладки по радиальному и тангенциальному направлениям.

Значения модулей упругости, модуля сдвига, коэффициентов поперечных деформаций в расчетных направлениях определены по соотношениям, построенным по подобию соотношениям для ортотропных тел. Рассмотрен способ учета упруго-пластических деформаций и деформаций ползучести путем соответствующей корректировки модулей деформаций. Ввиду недостаточной изученности характеристика ползучести кладки, зависящая от времени, принята в соответствии Eurocode 1992-1-1.

Представлены результаты расчета коробового свода по методу сил с учетом взаимных деформаций при применении развернутой формулы Максвелла-Мора. При этом принимается упрощенная расчетная схема, при которой раскрытие статической неопределимости конструкции осуществляется по типу бесшарнирной

арки. Показано, что перемещения свода зависят как от упругих деформаций, так и от продольных и поперечных стил.

В третьей главе представлены результаты конечно-элементного моделирования коробового свода в ПК Abaqus и сопоставления их с данными аналитического расчета. Схема анизотропии свода принята цилиндрической ортотропной. В расчетной модели смоделирована также забутка для корректного учета ее веса.

Выполнено исследование влияния возможных осадок в виде дополнительной подвижки опор на 5 и 20 мм и радиальных трещин на напряженное состояние свода.

Результаты расчетов в виде расчетных значений радиальных и тангенциальных напряжений, а также перемещений свода на заданные нагрузки представлены в форме изополей.

В четвертой главе приведена сравнительная оценка напряженно-деформированного состояния коробового свода по результатам эксперимента и расчетов аналитическим и численным методами.

Экспериментальные исследования коробового свода выполнены путем измерения перемещений участков конструкции на догружение мерной нагрузкой.

Получено, в целом, удовлетворительное соответствие расчетных и опытных величин, что подтверждает достоверность принятых методов расчета и позволяет рекомендовать их для применения в практических расчетах.

В заключении представлены основные выводы по диссертации, которые отражают основные результаты выполненных исследований, подтверждают достижение поставленной цели и решение соответствующих задач. Представлены практические рекомендации по выполнению расчетов конструкций сводов с учетом их конструктивных особенностей.

Оценка степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений.

Обоснованность и достоверность полученных результатов достигается применением общих гипотез строительной механики, теории упругости анизотропного тела, сравнением результатов аналитических и численных расчетов с полученными экспериментальными данными.

Представленный диссертантом обстоятельный аналитический обзор развития методов расчета конструкций кирпичных сводов с указанием их достоинств и недостатков позволил обоснованно выбрать направление исследований, сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

Для решения поставленных задач принят комплексный метод, включающий натурные экспериментальные и теоретические исследования с использованием современных эффективных пакетов прикладных программ для расчетов строительных конструкций. Полученные автором результаты экспериментальных и теоретических исследований составили надежную основу для решения практически важной задачи – разработки и обоснования инженерной методики расчета конструкций сводчатого типа.

Основные результаты исследований достаточно полно опубликованы в 10 научных статьях и прошли апробацию в обсуждениях на 8 научных конференциях.

Достоверность представленных в диссертации основных результатов и выводов подтверждается данными, полученными в экспериментальной части с применением традиционных методов испытаний нагружением с использованием поверенных измерительных приборов, а в теоретической части – с применением общепринятых гипотез и допущений строительной механики, теории упругости анизотропного тела, что подтверждается удовлетворительным соответствием расчетных величин деформаций результатам экспериментальных исследований. Результаты диссертационного исследования внедрены в практику проектирования, что подтверждается актами внедрения.

Новизна научных результатов

Представленные в работе результаты в достаточной мере отвечают признакам научной новизны так как содержат новые, полученные теоретически данные о влиянии на параметры напряженного состояния коробовых сводов их геометрических параметров, характеристик механических свойств каменной кладки с учетом цилиндрической анизотропии, определенных видов возможных повреждений, возможных осадок и смещений опор, а также данные натурных экспериментальных исследований деформаций коробового свода при догрузке дополнительной нагрузкой.

Практическая значимость работы заключается в развитии методов расчета коробовых сводов в части аналитического способа определения их геометрических параметров, учета анизотропных свойств каменной кладки, во внедрении результатов работы в практику работ по технической диагностике конструкций.

Обоснованность выводов и рекомендаций

Основные выводы, представленные в заключении, отражают основные результаты выполненных исследований, логически вытекают из содержания диссертации и подтверждают достижение поставленной цели и решение поставленных в диссертации задач. Рекомендации по расчету конструкций коробовых сводов основаны на обобщении результатов экспериментальных и теоретических исследований автора и прошли достаточно широкую апробацию.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Материалы диссертации содержат анализ результатов теоретических и натурных экспериментальных исследований в части деформаций и прочности конструкций коробовых сводов, в том числе с учетом сложных напряженных состояний и анизотропии механических свойств кирпичной кладки, возможных повреждений сводов и смещений опор. Определены основные факторы влияния на напряженное состояние конструкций сводов.

Результаты исследований автора получили практическую реализацию в виде уточненных им методик расчета геометрических параметров сводов, характеристик напряженного состояния аналитическими и численными методами.

Замечания по тексту диссертации.

1. Отмечается наличие в тексте диссертации ряда стилистических и терминологических некорректностей.

Например, применение автором некорректных терминов типа «численные расчеты» (страницы 3, 11, 102, 106 диссертации), «поведение коробовых сводов» (страницы 3, 51 диссертации) и других. Термин «поведение» применительно к конструкциям не является технически определенным.

В формулировке п. 2.9.1. пропущено слово «влияние». Необходимо излагать: «2.9.1. Пример расчета *влияния* кривизны свода и смещения нейтральной линии на напряженное состояние».

2. На странице 71 диссертации приведены формулы (2.6.1) и (2.6.2) для вычисления значений начального модуля упругости каменной кладки, в таблице 2.6.1 эти же величины именуются как «модули начальной деформации».
3. Некорректным является сформулированное на странице 73 диссертации утверждение «...допускается справедливость закона Гука для деформаций линейной ползучести...». Правильнее было бы говорить от применимости соотношений в форме соотношений Гука.

4. В разделе 2.6 диссертации рассматривается вопрос учета ползучести на характеристики деформационных свойств кладки. При этом нет обоснования важности учета ползучести кладки в конструкциях зданий исторической застройки, в которых деформации ползучести давно уже реализовались и стабилизировались. Нет результатов оценки влияния пластических деформаций кладки и, в частности, ползучести на деформации сводов и на изменение усилий в сводах.
5. В диссертации нет единого метода решения задачи оценки характеристик НДС коробовых сводов. Рассматривается система частных решений, и для каждого частного решения должны быть четко оговорены условия получения этих решений, условия применения полученных результатов. К сожалению, не для всех задач указанные условия четко определены, что и обуславливает дополнительные замечания по диссертационной работе.
6. Выводы к главе 1 содержат в большей степени исторические сведения о развитии методов расчета конструкций сводов и представлены в форме, не содержащей обоснований цели и задач диссертационной работы.
7. В тексте диссертации не пояснено, почему рассмотренное в разделе 1.4 на странице 36 диссертации условие прочности Г.А. Гениева для каменной кладки применительно к плоскому напряженному не применяется автором в последующих расчетах. Нет также объяснения, почему в расчетах автора диссертации для оценки прочности каменной кладки в плоском напряженном состоянии применен критерий О. Мора (стр. 87 диссертации).
8. На странице 78 диссертации в расчете коробового свода приняты разные значения модулей упругости кирпичной кладки для радиального и тангенциального направлений, соответственно E_r и E_t , а также одно значение коэффициента поперечной деформации кладки μ_{tr} . Для полного моделирования характеристик анизотропии деформационных свойств следовало бы представить еще одно значение коэффициента поперечной деформации μ_{tr} . При этом должно выполняться соотношение $E_r * \mu_{tr} = E_t * \mu_{tr}$.
9. На странице 74 диссертации утверждение «Модуль деформации в связи с учетом ползучести и пластичности уменьшился по сравнению с начальным модулем упругости в три раза за 100 лет, прошедших с момента постройки...» не является корректным. В этом случае такое снижение возможно учитывать только для условий оценки полных

деформаций за весь период службы конструкции. А для случаев возможных догрузений конструкции модуль деформации будет близок по величине начальному модулю упругости.

10. Анализ результатов расчетов не содержит четкого ответа, насколько значимо влияние анизотропии свойств каменной кладки на характеристики напряженно-деформированного состояния коробовых сводов и насколько эти результаты разнятся относительно результатов, получаемых в предположении изотропности механических свойств кладки.
11. На странице 56 диссертации утверждается, что совместная работа забутки с щековыми стенками повышает жесткость конструкции. Однако результаты расчета конструкции свода с учетом забутки в разделе 3.5.3 не содержат количественных показателей этого влияния.
12. Анализ результатов расчетов свода методом сил в разделе 2.9 диссертации свидетельствует о хорошей сходимости расчетных величин, полученных с применением трехчленной и развернутой формулам Максвелла-Мора (рисунки 2.9.1 - 2.9.4, таблицы 2.9.1 – 2.9.11). Отмеченные автором значительные расхождения в опорных зонах конструкций, достигающие 45% (табл. 2.9.5), являются результатом отношения малых величин изгибающих моментов и не являются свидетельством недостаточной точности трехчленной формулы. Этим ставится под сомнение утверждение пункта 6 выводов к главе 2 (страница 98 диссертации) о важности учета взаимных деформаций при применении развернутой формулы Максвелла-Мора.

Заключение

Текст диссертации написан лаконично и, в целом, технически грамотно. Отмеченные замечания не носят принципиального характера, не снижают ценности полученных автором результатов и не влияют на общую оценку диссертационной работы. Диссертация выполнена на хорошем научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержатся решение задачи определения характеристик НДС конструкций коробовых сводов с учетом ряда значимых факторов, что имеет важное значение для развития теории и практики проектирования, а также для оценки технического состояния строительных конструкций исторических зданий.

Автореферат диссертации по содержанию и оформлению соответствует требованиям ВАК и ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Диссертация на тему «**Совершенствование методов расчета напряженного состояния коробовых сводов в зданиях-памятниках архитектуры - объектах культурного наследия**» отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а автор диссертации, **КАЛДАР-ООЛ Анай-Хаак Бугалдаевна**, достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения».

Настоящим даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент,

доктор технических наук по специальности

05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения», профессор,

профессор Высшей школы промышленно-гражданского

и дорожного строительства Инженерно-строительного

института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого»

195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29

+7-921-757-82-60

korsun_vi@mail.ru

Подпись Корсуна В.И. удостоверяю:

