

О Т З Ы В

официального оппонента

кандидата технических наук Лебедевой Ирины Владимировны

на диссертацию

Бритикова Никиты Александровича

«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОКРЫТИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Специальность 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы диссертации

Снеговая нагрузка является одной из основных и наименее изученных нагрузок на покрытия большепролетных зданий и сооружений, имеющих сложную геометрическую форму. Работа диссертанта направлена на исследование снегоотложений на сложных кровлях методом численного моделирования снегонакопления и снегопереноса с применением элементов теории вычислительной аэрогидродинамики, с учетом особенностей и характеристик снего-ветрового потока и геометрических параметров кровли, что является актуальной задачей.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Степень достоверности полученных результатов определяется корректным применением современного аппарата вычислительной аэрогидродинамики для расчета характеристик снего-ветрового потока и программных комплексов. Результаты выполненных расчетов согласуются с данными испытаний моделей сооружений в аэродинамических трубах, а также с коэффициентами формы μ , приведенными в отечественных и зарубежных нормативных документах. Автор провел тщательное сопоставление полученных результатов для покрытий хорошо изученных простых форм, а также для моделей реальных большепролетных сооружений, которые являются частными случаями результатов работы диссертанта.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Новизна выполненных исследований состоит, по мнению оппонента, в подборе уравнений для численного моделирования снегонакопления и снегопереноса в стационарной и нестационарной постановке. На основе построенного решения диссертант получил новые результаты о преобладающем влиянии сальтационных механизмов снегопереноса на образование повышенных снегоотложений на покрытиях большепролетных зданий. В частности, в работе сформулирована обоснована гипотеза о независимости потока массопереноса снега от времени для моделирования снегонакопления и снегопереноса на большепролетных покрытиях зданий и сооружений с помощью аэродинамического расчета в стационарной постановке, выбрана оптимальная модель турбулентности, разработан алгоритм численного моделирования снегонакопления и снегопереноса с учетом геометрии покрытия и характеристик снего-ветрового потока и комплекс программ для его реализации, а также разработаны рекомендации по численному моделированию снегонакопления и снегопереноса на большепролетных покрытиях зданий и сооружений с использованием разработанной методики.

Практическая значимость работы

Предложения автора представляют интерес для использования в практике проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся математическим (численным) и физическим (экспериментальным) моделированием значимых стадий жизненного цикла зданий и сооружений (проектирование, строительство, эксплуатация и др.).

Теоретическая значимость работы

Диссертант впервые поставил задачу численного моделирования снегонакопления и снегопереноса в стационарной и нестационарной постановке с применением однофазного и многофазного ветрового потока для большепролетных

зданий и сооружений и получил численное решение поставленной задачи. Им разработан комплекс программ и алгоритмов для реализации вышеуказанной методики, которые в совокупности могут стать одной из составных частей программных комплексов для анализа напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающей 171 наименование, в том числе 102 на иностранных языках. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста, включает 74 рисунка и 17 таблиц.

Во введении отражена актуальность темы исследования, основные задачи и трудности при разработке единой верифицированной и эффективной математической (численной) методики моделирования снегонакопления в общем и снегопереноса, в частности, которую можно было бы в перспективе включить в нормативные документы. Отражены основные цели и задачи исследования с применением элементов теории вычислительной аэрогидродинамики для расчета характеристик снего-ветрового потока, предмет, методология и методы исследования, используемые допущения, а также научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертации. Приведены объекты внедрения результатов исследований, достоверность, научная новизна и апробация работы, а также перечень опубликованных результатов в изданиях, входящих в утвержденный ВАК перечень ведущих рецензируемых научных изданий.

В первой главе приведен обзор литературы по исследуемому вопросу. Обзор включает 34 страницы из 150 страниц текста всей работы, т.е. 22% работы.

Только 5 страниц обзора имеют непосредственное отношение к численному моделированию снеговых нагрузок, которое является темой диссертации, тогда как остальная часть обзора посвящена смежным вопросам. Он касается различных аспектов определения снеговых нагрузок на кровли зданий и сооружений, а также на

грунт, нормативных положений определения снеговых нагрузок на покрытия зданий и сооружений в отечественных сводах правил, в зарубежных и международных стандартах, а также использования экспериментальных методов расчета снеговых нагрузок. Обзор в части численного моделирования снеговых нагрузок недостаточно полон и не позволяет сформулировать цель и метод исследования. К сожалению, диссертант этого не сделал. Указанную главу можно считать самой неудачной в диссертационной работе.

Выводы по главе 1:

- 1.1. «Все нормативные документы имеют собственный общий подход к определению снеговых нагрузок, существенно отличающихся от других стран». Стилистически коряво, нарушено согласование и смысл утерян.
- 1.2. «Во всех нормативных документах есть рекомендации по проведению физического моделирования снеговых нагрузок, но рекомендации по математическому (численному) моделированию содержатся только в нормах Евросоюза и США». Рекомендации Еврокодов содержат только допущение применения метода, без какой-либо расшифровки. Вывод подтверждает преждевременность включения метода численного моделирования в отечественные нормы.
- 1.3. «Нормативные схемы значений коэффициента формы даже для простейших покрытий отличаются в различных документах как качественно, так и количественно». Некорректное выражение. Не бывает схем значений, а бывают схемы распределения нагрузок. На самом деле, отличия в схемах, приведенных в стандартах разных стран, безусловно имеются, но не столь существенны, как указывает автор.
2. «Таким образом, вскрывается общая проблема отсутствия прогресса в едином понимании, как определять снеговые нагрузки на покрытия.». Необходимость единого понимания – вопрос спорный. Нужен также учет

местных условий, которые различаются в разных странах, а также сложившиеся методики расчета и традиции.

4. «Проведенный обзор показал, что выполняемые в РФ экспериментальные работы в АДТ с целью определения коэффициента формы μ методологически находятся на удручающе низком уровне, даже по сравнению с иностранными работами полувековой давности» - данный вывод, как и все последующие подпункты вывода 4, абсолютно некорректны. Отечественные методы физического моделирования снеговых нагрузок в аэродинамических трубах начали развиваться у нас в стране почти полвека назад и показали свою полезность и эффективность при проектировании сотен и тысяч уникальных объектов, которые безаварийно эксплуатируются уже многие десятилетия.
- 4.1. «...в аэродинамических трубах фактически не моделируются отдельные снежные ураганы или снегопады, а моделируется снос равномерного слоя снега с покрытия во время сильного ветра ...». Диссертант не понял сути методики проведения эксперимента и его цели.
- 4.2. Ошибочен вывод о предпочтительности кварцевого песка перед древесной мукой в качестве имитатора снега. Кварцевый песок хорошо подходит в качестве модельного материала в гидротках, например, используется фирмой RWDI в Канаде, но совсем не подходит по своим характеристикам для испытаний в аэродинамических трубах и поэтому не используется в качестве такового, тогда как древесная мука широко распространена не только у нас, но и в других странах мира уже в течение многих десятилетий и прекрасно себя зарекомендовала.
- 4.3. Автор критикует выбор «референтной толщины снега для вычисления коэффициента формы μ », однако такого понятия у нас вообще не существует, и ее никто не выбирает.

- 4.4. Вывод о том, что «рекомендации по назначению расчетного коэффициента формы μ «изготавливаются» по результатам элементарной оцифровки картин оставшегося на покрытии снегоимитатора» также неверен, т.к. этим методом пользуются только специалисты, плохо разбирающиеся в данном вопросе. Как правило, при разработке рекомендаций используют комплексный, обобщенный подход к оценке снеговых нагрузок.
- 4.5. Выражение «бездумное использование результатов этих экспериментов в рекомендациях...» показывает неуважение диссертанта к тем специалистам, которые понимают, как правильно использовать и интерпретировать полученные результаты. То же относится к выводу 4.6.
5. Предлагать использовать гидрлотки в нашей стране вместо аэродинамических труб – очень спорное положение, т.к. их преимущества отнюдь не очевидны, а опыта применения нет.
7. «Лучшие результаты физического моделирования коэффициента формы μ получаются при крупномасштабных испытаниях в климатических аэродинамических трубах». Лучшие трубы – метеорологического типа с длинной рабочей частью, но не обязательно они должны быть очень большими. Главное – квалификация специалистов в области аэродинамики и правильно поставленный эксперимент.
9. Следует отметить, что «применение современных высокоточных методов математического моделирования в совокупности с остальными методами» является одним из перспективных направлений и его следует дальше развивать.

Методы математического моделирования в настоящее время недостаточно разработаны и апробированы не только в нашей стране, но и зарубежом для того, чтобы их можно было уже сейчас рекомендовать для применения в нормах, однако научные исследования в данном направлении, по моему мнению, весьма интересны и

перспективны и могут применяться в сочетании с натурными наблюдениями и измерениями и методами физического моделирования в аэродинамических трубах.

Вторая глава посвящена методике численного моделирования снегонакопления на покрытиях большепролетных зданий и сооружений. В ней содержатся теоретические положения вычислительной аэрогидродинамики, в том числе, различные модели турбулентности, моделирующие стационарный и нестационарный перенос вязкой жидкости. В основу аэродинамической теории положена система нелинейных дифференциальных уравнений Навье-Стокса, которые описывают как ламинарные, так и турбулентные течения.

В подразделе 2.1 описаны некоторые методы и модели турбулентности, способные хорошо предсказывать поведение жидкости в пограничном слое под сильным действием неблагоприятного градиента давления, однако из описания неясно, насколько применимы модели и их параметры не в жидкой, а в воздушной среде.

В подразделе 2.2 рассмотрено численное моделирование сальтационного слоя снегопереноса, который является основным. Снегоотложение рассчитывается из предположения, что накопление происходит, когда сдвиговая скорость потока становится ниже некоторой граничной скорости трения. По данному подразделу вопросов нет.

В подразделе 2.3 рассматривается методика численного моделирования снегонакопления и снегопереноса в нестационарной постановке, но не описаны предпосылки и критерии выбора модели турбулентности и ее параметров (как указано в 2.1, эти модели разработаны для жидкости), других вопросов нет.

В подразделе 2.4 рассматривается стационарный подход к решению задачи снегопереноса и снегоотложения и введены упрощенные гипотезы, связанные с переходом от двухфазного к однофазному потоку воздуха. Выбор оптимальных коэффициентов GEKO для корректного моделирования обтекания конкретного здания или сооружения и их калибровка являются непростой задачей и требуют

дополнительного рассмотрения. Эти подходы не учитывают фактор времени, поэтому дают менее достоверные результаты для моделирования объемов снегоотложений, но существенно снижают требования к вычислительным ресурсам.

В целом к данному подразделу вопросов нет.

В подразделе 2.5 изложены принципы назначения коэффициента формы μ , в соответствии с которыми результаты численного моделирования учитываются совместно с закономерностями и схемами распределения снеговой нагрузки по покрытиям различных форм, приведенным в нормативных документах на проектирование, с помощью аппроксимации покрытия целиком, либо по частям примитивами, для которых известны основные закономерности распределения снеговой нагрузки. Следует признать, что данный подход, предложенный диссертантом, достаточно удачен. Совместное использование подходов позволяет во многом компенсировать недостатки численного и физического моделирования и, на данный момент, наиболее полно описать распределение снега по покрытию.

В целом данную главу следует считать наиболее существенной в диссертационной работе.

Третья глава в целом посвящена решению двух верификационных задач, в том числе снегонакопления вокруг отдельно стоящего куба в нестационарной и стационарной постановке; и снегонакопление на двускатном покрытии в нестационарной и стационарной постановке. Аэродинамический домен формировался из конечнообъемной сетки из тетраэдров, созданной с помощью модуля ANSYS Fluent Meshing. Рассчитанное снегонакопление в целом согласуется как с результатами эксперимента, так и с нормативными рекомендациями как качественно, так и количественно, однако расхождение с экспериментом существенно больше, чем при моделировании в нестационарной постановке (5.24% против 1.03%).

Исследования задачи снегонакопления на двускатной крыше показало, что с помощью методики в нестационарной постановке возможно получение лишь частных

случаев снегонакопления, не обязательно повторяющих нормативное распределение (хотя это и возможно), а с помощью методики в стационарной постановке результат получается ближе к физическому моделированию, чем к рекомендациям норм.

На основании верификации методики было подтверждено высказанное ранее утверждение, что результаты, полученные с ее помощью, не могут использоваться напрямую, в «чистом виде». Для назначения расчетного коэффициента формы для конкретного покрытия необходимы дополнительные мероприятия по обработке результатов моделирования с учетом рекомендаций строительных норм.

Замечаний по данной главе нет.

Четвертая глава посвящена апробации методики численного моделирования снегонакопления на покрытиях большепролетных зданий и сооружений. Здесь диссертант показал высокую квалификацию в области решения задач математического моделирования снеговой нагрузки с применением программного комплекса ANSYS Fluent в нестационарной постановке.

Проведенные диссертантом исследования показали невозможность прямого использования данных моделирования нестационарного потока для определения расчетного коэффициента формы μ . Применение методики в нестационарной постановке на данном этапе оправдано только в случае исследования частных случаев снегонакопления и локальных снегоотложений, возникающих при конкретных, жестко определенных условиях моделирования. Необходимость многократно варьировать эти условия для получения наборов распределения снегоотложений также делает применение методики в нестационарной постановке затруднительным в инженерной практике ввиду высокой ресурсоемкости вычислений и больших временных затрат.

Второй задачей было численное моделирование снеговой нагрузки на покрытие большепролетного здания («Агора»), имеющего сложную форму в плане, в стационарной постановке, которая была успешно решена.

Третьей задачей, успешно решенной диссертантом, стало численное и экспериментальное моделирование снеговой нагрузки на покрытие большепролетного здания («Волна»). При численном моделировании было выполнено по три расчета для восьми направлений ветра, а также было выполнено физическое (экспериментальное) моделирование в аэродинамической трубе, что позволило сравнить результаты, полученные двумя подходами, и выполнить их взаимную валидацию. Показано, что и физическое, и численное моделирование позволяют получить в целом схожие распределения снега, в том числе, с учетом влияния окружающей застройки.

Автор делает вывод, что использование численного моделирования для обоих случаев проверки позволило не только получить расчетный коэффициент формы μ , но и определить некоторые неочевидные и опасные распределения снеговой нагрузки, которые не могли быть получены только на основе рекомендаций строительных норм и правил. Сравнение с физическим моделированием, проведенным для «Волны», также наглядно показало, что численное моделирование способно дать аналогичные и, следовательно, правдоподобные результаты, которые соответствуют природе процессов снегонакопления и снегопереноса.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В Заключении автором сформулировано 6 основных результатов и выводов. Выводы, сформулированные автором, достаточно полно отражают основные результаты выполненной работы. По содержанию выводов можно сказать о них следующее:

1. Вывод о том, что диссертантом «обоснована необходимость разработки методики численного моделирования снегонакопления и снегопереноса на покрытиях большепролетных зданий и сооружений по результатам выполненного обзорно-аналитического исследования существующих методов расчета снеговой нагрузки» не совсем справедлив, т.к. в обзорной части работы автором недостаточно

представлены теоретические основы математического (численного) моделирования снеговых нагрузок, имеющиеся в литературе по данному вопросу, и не обоснована их роль в общей структуре методов оценки снеговых нагрузок на большепролетные покрытия. Вместо этого содержится ряд недостоверных критических положений, противоречащих содержанию последующих глав диссертации.

2. Второй вывод констатирует факт, что в выполненном исследовании «Разработана методика численного моделирования снеговых нагрузок в нестационарной и стационарной постановке на основании исследования современных методов вычислительной аэрогидродинамики». Этот вывод соответствует проведенным исследованиям и не вызывает возражений.

3. Третий вывод касается оценки методики решения задач в нестационарной постановке и ее верификации. Приведенные данные обоснованы в диссертации и не вызывают возражений.

4. Четвертый вывод относится к особенностям и преимуществам представленной автором методики решения задач в стационарной постановке. Указывается, что данная методика успешно сочетает достоинства нестационарной методики и независимость от времени, не теряя при этом в точности, но имеет меньшую ресурсоемкость и более высокую эффективность. Для широкого диапазона типов большепролетных покрытий расчета в стационарной постановке оказывается достаточно, чтобы получать правдоподобные результаты по оценке снегонакопления и снегопереноса, и этот метод может быть использован в инженерной практике для получения расчетного коэффициента формы μ с определенными допущениями.

Приведенные данные обоснованы в диссертации и не вызывают возражений.

5. Пятый вывод констатирует то, что результаты диссертационного исследования «позволяют рекомендовать разработанную методику численного моделирования и результаты решения верификационных и реальных задач в практике расчетных исследований напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости большепролетных зданий и сооружений на значимых этапах их

жизненного цикла». Вывод в части использования разработанной методики не вызывает возражений, однако для реальных задач и покрытий других форм невозможно будет использовать полученные результаты, а нужно будет решать задачу заново, что потребует участия весьма квалифицированных специалистов.

6. Шестой вывод касается перспектив дальнейшей разработки темы и не вызывает возражений.

По работе имеется ряд замечаний:

1. При записи уравнений гидрогазодинамики, моделей турбулентности и выборе расчетных параметров не показана их разница для жидких и газообразных сред.
2. В главе 1 содержится в основном обзор нормативных положений различных стран по определению снеговых нагрузок на покрытия зданий, а также экспериментальных методов физического моделирования снегопереноса в аэродинамических трубах и гидрлотках, однако мало внимания уделено собственно численному моделированию снеговых нагрузок, которое является темой диссертации. Выводы по разделу недостаточно обоснованны, а зачастую ошибочны.
3. По всему тексту диссертационной работы, особенно в первом разделе, применяется неудачная терминология, которая связана с неверным переводом зарубежных терминов или введением новых, которые не согласуются с общепринятыми в нормативной и технической литературе. В частности, не существует термина «унос», а есть термины «снос» или «перенос» снега. Нет такого термина, как «экспериментальный водосток» (water flume), а есть термин «гидролоток». Термин «референтное значение толщины снегового покрова» - также неудачное выражение автора. Есть термин «высота снегового покрова».

4. Ссылки на литературу не всегда соответствуют номерам в списке литературы.
5. В работе имеются отдельные стилистические небрежности, например, в п.1.1 выводов по главе 1 говорится: «Все нормативные документы имеют собственный общий подход к определению снеговых нагрузок, существенно отличающихся от других стран» - нарушено согласование: не нагрузки, а подходы различаются. В п.1.3 выражение «нормативные схемы значений» не имеет никакого смысла и т.п.
6. В обзоре диссертанта некорректно критикуются методы физического моделирования снеговых нагрузок в аэродинамических трубах, получившие широкое распространение при оценке снеговых нагрузок на большепролетные здания и сооружения как у нас, так и за рубежом. Неправильно противопоставлять эти методы численному моделированию, так как они предназначены не конкурировать, а дополнять друг друга. В разделе 4 диссертант продемонстрировал неплохое совпадение результатов применения этих двух методов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК.

Диссертация Бритикова Никиты Александровича «Численное моделирование снеговых нагрузок на покрытия большепролетных зданий и сооружений», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук выполнена на высоком научном уровне и содержит важные для практики результаты. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана, верифицирована и апробирована численная методика моделирования снегонакопления и снегопереноса для расчета снеговых нагрузок на покрытия большепролетных зданий и сооружений, выполнены

расчетные исследования, включая построение расчетных моделей, их верификацию и оптимизацию.

Работа представляет собой перспективное направление, которое следует развивать на основе проведения большого объема научно-исследовательских и опытных работ, экспериментальных исследований на натуральных объектах и в аэродинамических трубах, а также совершенствования понимания физических процессов снеготранспорта и снегонакопления на покрытиях зданий. Поэтому работа диссертанта представляет существенный и полезный шаг в данном направлении и должна быть продолжена.

Результаты работы соответствуют паспорту специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки), в части п.1 – «Построение и развитие теории, разработка аналитических и вычислительных методов расчёта механической безопасности и огнестойкости, рационального проектирования и оптимизации конструкций и конструктивных систем зданий и сооружений»; п.6 – «Научное обоснование прогнозирования нагрузок и воздействий на строительные конструкции, здания и сооружения на стадиях их создания, эксплуатации и реконструкции»; п.9 «Разработка и развитие теоретических основ и методов расчёта ограждающих конструкций зданий и сооружений с учётом природно-климатических, теплофизических, светотехнических, акустических и иных условий».

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.011-2011. Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание и результаты диссертации.

Диссертационная работа Бритикова Никиты Александровича соответствует критериям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор, Бритиков Никита Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности ВАК 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Согласен на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени кандидата технических наук Бритикова Никиты Александровича и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией надежности сооружений,
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко - АО «НИЦ «Строительство»,
кандидат технических наук

06.02.2024



И. В. Лебедева

Сведения о лице, подписавшем отзыв:

Лебедева Ирина Владимировна,

ученая степень: кандидат технических наук,

место работы: Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство»),

адрес: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., дом 6,

тел.: +7(495)174-77-35,

e-mail: ivlebed@mail.ru

Подпись Лебедевой И.В. заверяю.

Начальник отдела кадров



/Севостьянова Ю.Б./

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

профессора, доктора технических наук Пшеничкиной Валерии Александровны на диссертационную работу Бритикова Никиты Александровича на тему «Численное моделирование снеговых нагрузок на покрытия большепролетных зданий и сооружений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Актуальность темы исследования

Снеговая нагрузка является одним из основных видов климатических воздействий на несущие конструкции большепролетных зданий и сооружений. Доля снеговой нагрузки в общей нагрузке, действующей на конструкции покрытия, может достигать 90%.

Анализ статистических данных о количестве осадков в виде снега приводит к выводу об очевидном их увеличении за последние десятилетия. Как следствие, регистрируется возрастание количества происшествий, связанных с обрушением кровли вследствие накопления снежного покрова, причем такие происшествия происходят каждую зиму. Величина снеговой нагрузки на покрытии зависит не только от количества осадков, но и от таких факторов как скорость ветра, конфигурация кровли и др., что далеко в неполной мере учитывается в действующих нормативных документах.

Типовые формы покрытий, рекомендованные в нормах, и их возможные комбинации недостаточны для описания распределения снегоотложений на большепролетных покрытиях сложной нестандартной формы, для которых достаточно трудно прогнозировать характер образования локальных снеговых мешков.

Для большепролетных зданий нормативные документы рекомендуют индивидуальное моделирование снеговой нагрузки на масштабных моделях (СП 20.13330.2016) или на основе математического моделирования (Еврокод EN 1991-1-3).

Физическое моделирование снегоотложений также имеет недостатки, такие как невозможность полного выполнения условий подобия и контроля над всеми условиями эксперимента, влияние случайности погоды на натурные наблюдения и т.п.

Решение данной проблемы – это применение современных высокоточных методов математического моделирования в сочетании с экспериментальными исследованиями и рекомендациями норм, что позволит сформировать нормативную базу для решения задач проектирования объектов любой сложности

С учетом вышесказанного, предложенная автором тема исследования, посвященная разработке методики численного моделирования снегоотложений и

снегопереноса для расчета снеговой нагрузки на покрытия большепролетных зданий и сооружений. является, несомненно, актуальной и практически важной.

Структура и содержание работы

Диссертация представляет собой научное законченное исследование, включающее в себя адекватное обоснование актуальности цели исследования, формулирования задач, обеспечивающих достижение цели выбором эффективных методов и средств получения достоверных результатов, и логичными теоретическими и практическими выводами и рекомендациями.

Диссертационная работа Бритикова Никиты Александровича состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Диссертация изложена на 150 страницах и содержит 74 рисунка и 17 таблиц. Библиографический список содержит 171 наименование литературы, в том числе 102 иностранных источника.

Во введении обоснована актуальность проблемы численного моделирования снеговых нагрузок на большепролетные здания и сооружения, изучена степень ее разработанности, приведены сведения о цели и задачах исследований, ее научной новизне, теоретической и практической значимости полученных результатов, отмечен личный вклад автора в разработку тематики НКР, обоснована достоверность результатов работы, приведены сведения об их апробации.

В первой главе выполнен обзор и анализ литературных источников, содержащих информацию по тематике диссертации, показана степень ее разработанности. Рассмотрены методы математического моделирования снегопереноса и снегоотложений по нормативным документам России, Евросоюза, Канады и США, а также по научным публикациям российских и зарубежных авторов. Показано существенное различие в общих подходах к определению снеговых нагрузок.

Существующие нормативные подходы не позволяют охватить все разнообразие расчетных случаев и ситуаций с помощью ограниченного набора простых схем из СП и экспериментальных методов. Вместе с тем, экспериментальные методы, связаны со сложностью организации натурных экспериментов, затратностью их применения для реальных объектов, сложностью выполнения всех условий подобия, невозможностью учета многообразных факторов, обладающих стохастической природой.

По результатам выполненного обзорно-аналитического исследования существующих методов расчета снеговой нагрузки обоснована необходимость разработки методики численного моделирования снегонакопления и снегопереноса на покрытиях большепролетных зданий и сооружений

Во второй главе изложена разработанная автором методика численного моделирования снегонакопления и снегопереноса на покрытиях большепролетных зданий и сооружений в стационарной и нестационарной постановках. Методика в обеих постановках использует модель уноса-отложения Нэим.

В нестационарной постановке снегонакопление моделируется «напрямую», в физическом времени и учетом изменения геометрии покрытия с ростом толщины снежного покрова. Однако, проведение нестационарных расчетов требует значительных вычислительных ресурсов и автором сделан вывод о нецелесообразности ее применения для практических приложений.

В связи с этим автором разработана методика в стационарной постановке, которая успешно сочетает достоинства нестационарной методики и независимость от времени, не теряя при этом в точности, и может быть использована для получения расчетного коэффициента формы μ в сочетании с рекомендациями строительных норм и результатами натурных экспериментов.

Третья глава посвящена верификация методики численного моделирования снегонакопления на покрытиях большепролетных зданий и сооружений. Для верификации были выбраны две задачи.

Первая задача - обтекание отдельно стоящего куба. Задача решалась с применением методики в нестационарной и стационарной постановках. Рассчитанное снегонакопление в целом согласуется как с данными натурных наблюдений, так и с результатами численного моделирования в нестационарной постановке. Полученные результаты с применением стационарной методики также позволяют сделать вывод о достаточно адекватном моделировании снегоотложений.

Вторая задача – пример расчета снеговой нагрузки на покрытие, для которого известна схема расчетного коэффициента формы из строительных норм (распределение снега на двускатной крыше). В этой задаче накопление снега исследуется как качественно, так и количественно. для верификации использовались экспериментальные данные из отчета к Еврокоду.

В главе 4 изложены результаты апробации методики численного моделирования снегонакопления на покрытиях трех реальных большепролетных зданий и сооружений:

- цех №104 объекта «Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений», представляющего собой стандартное промышленное большепролетное сооружение;
- Главный корпус («Агора») объекта «Подмосковный образовательный молодежный центр «Мастерская управления «Сенеж» – гражданское большепролетное здание с уникальной геометрии покрытия;
- Серфинг-парк «Волна» – уникальное большепролетное сооружение для размещения крытого бассейна с установкой волногенерации.

Для второго и третьего объекта невозможно задать расчетный коэффициент формы μ , так как для покрытий такого рода СП 20.13330.2016 не предусмотрены отдельные схемы.

На примере покрытия «Цеха №104» показано, что применение методики в нестационарной постановке на задачах реальной инженерной практики не оправдано.

Численное моделирование снеговой нагрузки, выполненное с применением методики в стационарной постановке для «Агоры» и «Волны», не только позволило откалибровать саму методику и продемонстрировать сходство получаемых с ее помощью результатов с результатами «классического» физического моделирования в аэродинамических трубах, но и определить неочевидные и опасные распределения коэффициента формы μ , которые не могли быть получены лишь на основе рекомендаций строительных норм и правил любых стран мира.

В заключении обобщены результаты проведенных Бритиковым Никитой Александровичем исследований. Выводы работы аргументированы, полностью вытекают из содержания диссертации и соответствуют поставленным цели и задачам. Приведены рекомендации по дальнейшему развитию темы.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Работа выполнена на высоком научном и методическом уровне. Достоверность научных положений и выводов подтверждается строгостью используемого математического аппарата, корректной постановкой всех решаемых задач. При их формулировке использовались общепринятые постулаты и гипотезы строительной механики и механики жидкости и газа. Продемонстрировано хорошее согласование полученных результатов численного моделирования с экспериментальными данными, аналитическими и численно-аналитическими решениями. Исследования проведены в современном расчетном программном комплексе ANSYS Fluent. Основные результаты работы прошли апробацию на ряде российских и международных конференция, а также были опубликованы в 7 научных работах, в том числе 4 статьи – в журналах, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», и индексируемых в международных реферативных базах Scopus и др.

Научная новизна диссертации.

- Доказана применимость уравнений модели уноса-отложения для моделирования снегонакопления и снегопереноса на большепролетных покрытиях зданий и сооружений, при этом для расчета снегонакопления достаточно моделировать только сальтационный слой снегопереноса.
- На основании модели уноса-отложения разработана методика математического (численного) моделирования снегонакопления и снегопереноса вблизи и на покрытиях большепролетных зданий и сооружений в нестационарной и стационарной постановках
- Разработан алгоритм численного моделирования снегонакопления и снегопереноса с учетом геометрии покрытия и характеристик снеговетрового потока, а также рекомендации по расчету снеговых нагрузок на большепролетные здания и сооружения для инженерной практики и научных исследований.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в дальнейшем развитии методов нормирования снеговых нагрузок на покрытия большепролетных зданий и сооружений: применение элементов теории вычислительной аэрогидродинамики для расчета характеристик снеговетрового потока; методика численного моделирования снегонакопления и снегопереноса в стационарной и нестационарной постановке с применением однофазного и многофазного ветрового потока.

Результаты проведенных исследований и разработанные рекомендации предназначены для проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся математическим и физическим моделированием снеговых нагрузок на большепролетные здания и сооружения.

Замечания

1) В разделе Теоретическая и практическая значимость работы, п.3, автор формулирует: «Результаты численного моделирования ... позволяют повысить безопасность и надежность зданий и сооружений за счет точного расчета снеговой нагрузки». Термин «точный» не совсем корректно применять для снеговой нагрузки, обладающей высокой степенью статистической изменчивости и зависящей от множества случайных факторов, трудно поддающихся учету.

2) В главе 4 при апробации разработанной методики численного моделирования на примере здания цеха №104 автор ставит задачу установления повышенных локальных снегоотложений, которые могут формироваться по длине протяженного покрытия. Применение нестационарной методики не позволило решить эту задачу. Получены лишь отдельные реализации снегонакоплений, далекие даже от нормативного распределения, что, очевидно, связано с неудачным выбором начальных и граничных условий. Расчетные модели такого высокого уровня сложности чувствительны к неопределенности исходных данных. Представляется целесообразным на предварительном этапе использовать упрощенные модели и на основе статистического анализа обосновать условия моделирования для нестационарного расчета.

3) Из текста диссертации не понятно, как определена снеговая нагрузка на небольшую зону $\mu = 2,7 \div 0,6$ в правой части покрытия в соответствии с рекомендациями норм (стр. 130).

4) В п.4.3 диссертации «Численное моделирование снеговой нагрузки на покрытие большепролетного здания («Агора») в стационарной постановке» указано, что исследование процессов снегонакопления проводится с учетом и без учета окружающей застройки. Однако результаты моделирования не содержат вариант учета окружающей застройки.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и носят в основном рекомендательный характер для будущих исследований.

Автореферат диссертации в полной мере отражает основное содержание диссертации. Результаты исследований, приведенные в диссертационной работе, достаточно широко освещены в открытой печати.

Список литературы соответствует ссылкам по тексту диссертации. Оформление работы соответствует требованиям ВАК. Качественный стиль изложения материала демонстрирует навык владения научным языком.

Заключение

Диссертационная работа Бритикова Никиты Александровича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему «Численное моделирование снеговых нагрузок на покрытия большепролетных зданий и сооружений» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Бритиков Никита Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Официальный оппонент:

Профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Пшеничкина Валерия Александровна

« 09 » февраль 20 24 г.

Адрес: 400074, г.Волгоград, ул.Академическая, 1

E-mail: vap_hm@list.ru

Тел.: (8442) 96-98-30

Подпись Пшеничкиной В.А. заверяю:
Ученый секретарь ученого совета ИАиС ВолгГТУ
к.т.н., доцент



Савченко А.В.

09.2.2024г.