

# РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**В. Ф. Мущанов, д.т.н., профессор**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

*Аннотация.* Для конструкций уникальных зданий и сооружений высокого уровня ответственности, выполненных в виде пространственных стержневых металлических конструкций (большепролетные структурные покрытия, усеченные купола) и листовых конструкций (большепролетные мембранные покрытия, вертикальные цилиндрические резервуары больших объемов), в рамках становления и развития научного направления разработаны новые подходы к обеспечению их надежности на стадии проектирования, базирующиеся на новых методах определения численных показателей надежности многократно статически неопределимых систем. Для отдельных типов конструкций разработаны соответствующие процедуры оптимального проектирования.

*Ключевые слова:* большепролетные покрытия, вертикальные цилиндрические резервуары, метод предельных состояний, надежность, живучесть, оптимальное проектирование.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ



*Мущанов  
Владимир  
Филиппович*

В настоящее время развитие конструктивных форм пространственных конструкций, применяемых в современном строительстве, приводит к созданию новых конструктивных систем, не имеющих прецедентов в практике строительства. В сочетании с ростом масштабности объектов (увеличением перекрываемых пролетов, высоты и объемов сооружений), использованием новых методов изготовления и монтажа, применением новых материалов это обостряет проблему оценки надежности разрабатываемых проектных решений, для которых в рамках использования традиционного метода предельных состояний не всегда обеспечивается требуемый уровень надежности. Аварии же подобных масштабных сооружений связаны, как правило, с катастрофическими последствиями, которые влекут за собой гибель тысяч людей или материальный ущерб, исчисляемый сотнями миллионов рублей. В дополнении к техническим и технологическим аспектам, порождающим проблему обеспечения надежности строительных объектов повышенного уровня ответственности, в последние годы важность проблемы обострилась угрозой террористических актов в отношении таких объектов, что, также, требует соответствующего учета и совершенствования их методики расчета и проектирования.

Отдельные аспекты рассматриваемой проблемы постоянно находятся в поле зрения научных коллективов во всем мире, о чем свидетельствует анализ научных публикаций в изданиях, представленных в ведущих международных базах данных. Однако, в большинстве подобного рода исследований отсутствует комплексный подход к решению проблемы, охватывающий основные этапы проектирования от формирования уточненных расчетных схем до разработки оптимальных конструктивных решений, обеспечивающих сочетание требуемого уровня надежности с достаточной экономичностью. А отсутствие четких, научно обоснованных результатов исследований приводит к тому, что в подавляющем большинстве действующих на сегодняшний день нормативных документов рекомендации по проектированию сооружений с повышенным уровнем ответственности носят фрагментарный, весьма общий и неконкретный характер, который невозможно реализовать в виде определенного алгоритма проектирования.

Бурное развитие современных конструктивных форм пространственных строительных конструкций, переход к нетрадиционным формам, не имеющим аналогов в практике, в сочетании с ростом масштабов самих проектируемых объектов создает ситуацию, при которой устаревшие алгоритмы и подходы к проектированию, а также отсутствие четких рекомендаций по проектированию таких объектов не могут обеспечить требуемый уровень надежности [1, 2].

Причиной такой инерционности является недостаточное научное обоснование возможных рекомендаций по проектированию подобных объектов, выражающееся в том, что даже в существующих нормах эти рекомендации носят весьма общий и расплывчатый характер [3]. К тому же, на сложившуюся ситуацию накладывает свой отпечаток проблема терроризма, которая после известных террористических атак (Нью-Йорк, 2001 г.) вызвала всплеск исследований, посвященных проблематике предотвращения лавинообразного (прогрессирующего) обрушения в проектируемых сооружениях высокого уровня ответственности [4].

Анализ научно-технической литературы, в которой излагаются основные результаты исследований в этом направлении, указывает на необходимость и возможность разработки новых подходов к проектированию объектов повышенного уровня ответственности, в рамках которых будет научно обоснован дополнительный комплекс мероприятий по обеспечению оптимального уровня надежности, являющийся основой для последующего внедрения в новые редакции существующих нормативных документов в части обеспечения надежности строительных конструкций на стадии проектирования [5].

Учитывая комплексный характер решаемой проблемы, следует отметить, что в сегодняшних реалиях начальным этапом в исследованиях такого рода, как правило, является уточнение расчетных схем конструкций. Данная операция реализуется в подавляющем большинстве современных исследовательских работ с помощью средств конечно-элементного анализа [11]. В этом контексте наиболее интересными представляются работы по учету влияния конструктивного решения узловых соединений на напряженно-деформированное состояние, а, следовательно, и на несущую способность элементов конструкции, по сравнению с данными расчета приближенной (идеализированной) расчетной схемы [9]. Такой учет в ряде случаев может стать определяющим в решении проблемы прогрессирующего разрушения, поскольку зачастую процесс разрушения начинается именно с разрушения узлового соединения. В связи с этим, большинство научных исследований в этом направлении реализуются в 2-х направлениях: с помощью совершенствования конструктивных решений соединений и схемы конструкции, или путем управления напряженно-деформированным состоянием объекта за счет целенаправленного изменения его основных параметров НДС.

В настоящее время, прежде всего в связи с усилением угроз террористического характера, наблюдается всплеск интереса к научным исследованиям, ориентированным на предотвращение прогрессирующего лавинообразного разрушения [10]. Большинство исследователей для оценивания механизма лавинообразного разрушения используются процедуры конечно-элементного анализа, выполняемые в нелинейной постановке с использованием универсальных расчетных комплексов [6]. При этом эффект учета локального влияния работы узловых соединений на напряженно-деформированное состояние элементов практически не учитывается, или учитывается

опосредствованно, хотя, как было уже отмечено, разрушение элементов чаще всего начинается именно с узловых зон, а не с основного сечения элемента.

В большинстве алгоритмов расчета показателей надежности анализируемой расчетной схемы используются традиционные модели: последовательное или параллельное, характерное для анализа надежности статически неопределимых систем. А вот объединение подходов, когда склонность к лавинообразному обрушению оценивается на основе анализа вычисленных показателей надежности конструкции, используется в весьма ограниченном числе работ, например, [7]. Работы, в которых склонность конструкции к лавинообразному разрушению оценивалась бы на основе изменения показателя надежности, вычисляемого с учетом вероятности отказа узловых соединений, авторскому коллективу, к сожалению, не известны.

Этап оптимального проектирования конструкции является завершающим и обычно направлен на совершенствование исходной конструктивной формы, когда путем изменения геометрической формы или жесткостных характеристик конструкции оптимизируется значение заданной целевой функции. Анализируя методы оптимального проектирования, следует обратить особое внимание на наиболее интересные для рассматриваемого случая работы (проектирование оптимальных конструкций высокого уровня надежности), когда оптимизируется значение показателя надежности проектируемой конструкции [8].

Отмеченные выше особенности легли в основу разрабатываемого общего подхода к расчету и проектированию зданий и сооружений с высоким уровнем ответственности (см. рис. 1).



Рис. 1. Ключевые моменты совершенствования методик расчета и проектирования конструкций повышенного уровня ответственности

В связи с изложенным выше **целью исследований**, выполняемых в рамках представляемого в данной статье научного направления, является разработка новых, ориентированных на внедрение в практику проектирования методов определения значений показателей надежности конструкций высокого уровня ответственности с расчетной схемой в виде многократно статически неопределимых систем, а также методов их оптимального проектирования.

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Основные типопредставители конструкций высокого уровня ответственности в работах, выполненных автором данной статьи и другими исследователями под его руководством, представлены на фото 2.

К основным методам исследования, на которых базируются полученные результаты, следует отнести:

- статистический анализ данных натурного освидетельствования с использованием методов математической статистики;
- результаты физических экспериментов на крупномасштабных моделях;
- общепринятые методы строительной механики, используемые для анализа напряженно-деформированного состояния (метод конечных элементов для расчетов в нелинейной постановке);
- классические методы теории надежности строительных конструкций.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

При личном участии и под руководством автора аспирантами и соискателями более 30 лет ведется разработка основных положений отмеченных выше научных проблем. Не вдаваясь в подробности, к основным научным результатам, полученным в этом направлении, следует отнести:

*1. В направлении теории надежности, совершенствования методики расчета по предельным состояниям, повышения живучести конструкций:*

**а) для большепролетных покрытий мембранного типа:**

- уточнение параметров действительного напряженно-деформированного состояния конструкций уникальных покрытий мембранного типа, и созданная на этой основе методика расчета эксплуатационной надежности дискретно-континуальных стальных систем;

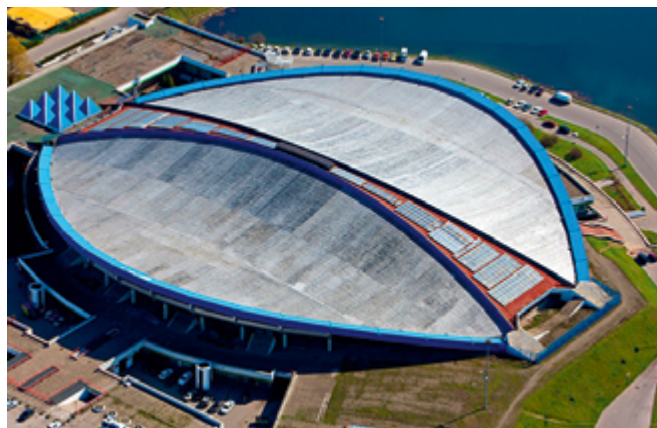
- методика совместного учета геометрической и конструктивной нелинейности в расчетах пространственных конструкций большепролетных сооружений с учетом изменения расчетной схемы в процессе монтажа и эксплуатации;

- методы учета вероятностного характера факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкции на стадии формирования матриц жесткости конечных элементов;

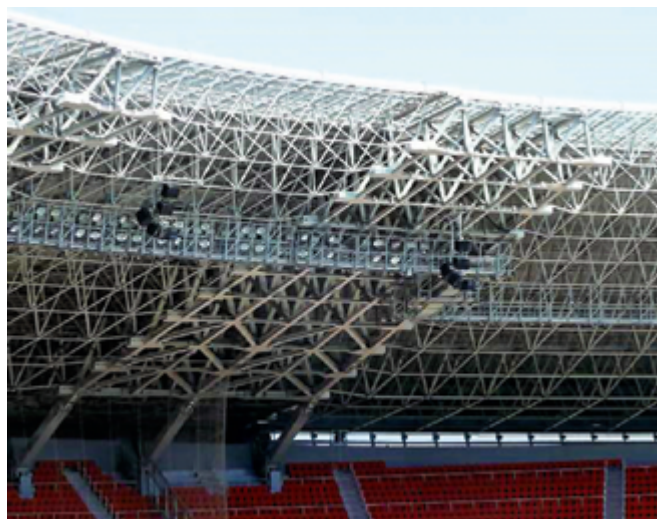
- универсальный вероятностный метод расчета тонколистовых металлических конструкций, позволя-

ющий оценить уровень надежности элементов, составляющих конструкцию.

В основе полученных результатов лежат материалы исследований, полученных на объектах Олимпиады-80 в Москве (Крытый стадион на пр. Мира,



*а*



*б*



*в*

*Фото 2. Конструкции высокого уровня ответственности, для которых выполнены исследования:  
а – большепролетные мембранные покрытия,  
б – усеченные купола,  
в – вертикальные цилиндрические резервуары*



УСЗ «Измайлово», ФЛК и УСЗ ЦСКА, см. фото 3), составившие основу одной докторской [18], одной кандидатской диссертации [19], 3-х нормативных документов [20, 21, 22] и 3-х монографий [23, 24, 25];



а



б



в

*Фото 3. Объекты Олимпиады-80 в Москве для натурального освидетельствования, послужившие основой базы данных для статистического анализа дефектов и повреждений:*

*а – Крытый стадион на пр. Мира; б- Универсальный спортивный зал и футбольно-легкоатлетический комплекс ЦСКА, в – Универсальный спортивный зал «Измайлово»*

**б) для большепролетных пространственных стержневых покрытий:**

- разработаны алгоритмы расчета и проектирования конструкций в виде рамно-консольных покрытий и большепролетных провисающих и выпуклых стержневых оболочек с большим вырезом на эллиптическом плане с учетом податливости решетки и совместной работы ограждающих и несущих конструкций покрытия;

- предложен общий алгоритм расчета и проектирования конструкций и их отдельных элементов с учетом геометрической и конструктивной нелинейности работы системы, позволяющий обеспечить требуемый уровень надежности конструкций повышенной ответственности;

- на основе анализа возможных схем разрушения и учета влияния изменчивости случайных факторов для наиболее ответственных элементов рассматриваемой конструкции уточнен алгоритм вычисления коэффициента условий работы  $\gamma_s$ ;

- впервые предложен подход к анализу живучести проектируемой конструкции и ее склонности к лавинообразному разрушению на основании изменения параметра характеристики безопасности (дальности отказа)  $\Delta\beta$ ;

- предложены концептуальные подходы к оценке надежности стержневых пространственных конструкций с учетом надежности узловых соединений, базирующиеся на использовании теории графов.

В основе полученных результатов лежат материалы исследований, полученных на объектах ЕВРО-2012 (стадионы «Донбасс-Арена», «Днепр-Арена», «Львов-Арена», РСК «Олимпийский», см. фото 4), составившие основу 5-ти кандидатских диссертаций [26, 27, 28, 29, 30], 2-х монографий [23, 24], публикаций в изданиях уровня Q1, индексируемых в ведущих международных базах данных [16, 31];

**2. В направлении оптимального проектирования конструкций зданий и сооружений:**

- предложены концептуальные подходы к реализации вероятностно-оптимального проектирования, базирующиеся на использовании обобщенного беспараметрического метода внешней точки решения дискретных минимаксных задач, основанного на определении безусловного минимума вспомогательной функции  $f$  (рис. 5а);

- разработан алгоритм оптимизации структурных конструкций по критерию удельной металлоемкости, отличающийся от ранее реализованных подходов в части учета:

- уточненной оценки несущей способности центрально-сжатых элементов структурного покрытия;

- расширенных подходов к формообразованию проектируемых систем за счет изменения относительной высоты покрытия (при проектировании плоского покрытия) и относительного выгиба покрытия (при проектировании в виде стержневой двухпоясной оболочки, см. рис. 5б);

- податливости опорных конструкций;

- оптимальные значения геометрических параметров покрытия, обеспечивающие оптимальные показатели металлоемкости для проектируемого большепролетного покрытия на нетиповом прямоугольном



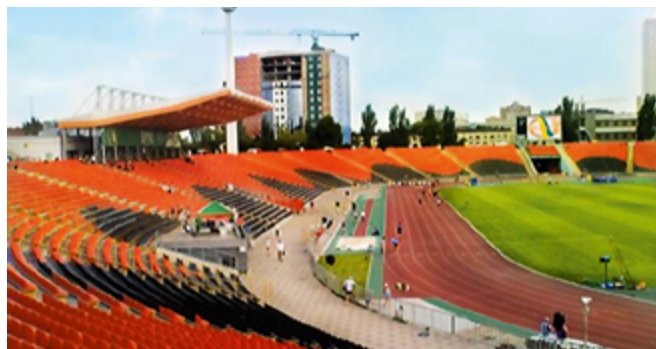
а



б



в

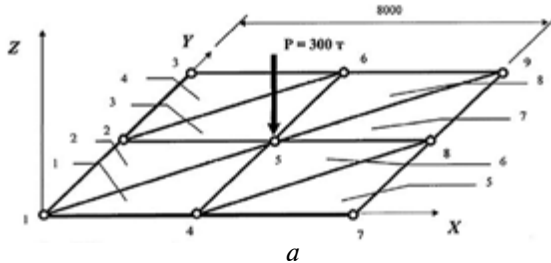


г

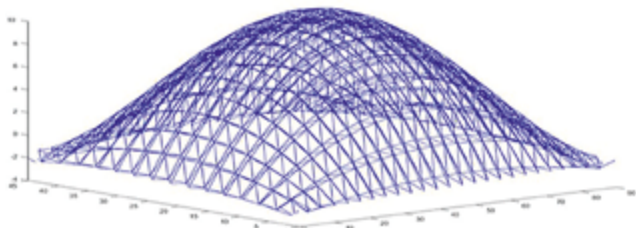
Фото 4. Объекты для апробации результатов разработок в направлении оценки надежности пространственных стержневых конструкций: а – стадион «Донбасс-Арена» (г. Донецк), б – стадион «Арена-Львов» (г. Львов), в – стадион «Днепр-Арена» (г. Днепропетровск); г – стадион «РСК «Олимпийский» (г. Донецк)

плане при использовании типового сортамента стержневых элементов и узловых соединений.

Некоторые результаты исследований в этом направлении отражены в работах [32, 33].



а



б

Рис. 5. К результатам разработки новых подходов к оптимальному и вероятностно-оптимальному проектированию пространственных конструкций: а – расчетная схема тестового примера реализации обобщенного беспараметрического метода внешней точки решения дискретных минимаксных задач в вероятностно-оптимальной форме; б – результат оптимизации первоначально плоского структурного покрытия с использованием разработанного алгоритм оптимизации структурных конструкций по критерию удельной металлоемкости

3. В направлении уточнения расчетных схем и действительной работы пространственных листовых конструкций:

- предложена уточненная аналитическая методика упругопластического расчета вертикальных швов с угловыми геометрическими несовершенствами, вероятностная интерпретация которой позволила обосновать значения коэффициента условий работы (gc) зоны стыка, используемые при проектировании (рис. 6.а);

- разработан метод верификации расчетной схемы нижнего уторного узла одно- и двустенчатого ВЦР, обусловленной фактическими жесткостными характеристиками стенки и податливостью основания (рис. 6.б,в);

- разработан универсальный геометрический и компьютерный алгоритм моделирования действительной поверхности стенки резервуара с учётом как общих, так и местных несовершенств геометрической формы и оценено их совместное влияние (рис. 6.г,д);

- для резервуаров больших объемов с идеальной геометрией стенки или дефектом в виде угловатости монтажного сварного шва установлены зависимости между гибкостью стенки и коэффициентом запаса ее устойчивости, позволяющие осуществить назначение рационального шага колец жесткости при достижении максимального коэффициента запаса устойчивости и минимальной металлоемкости стенки (б.е, ж);

- установлены резервы несущей способности оболочки стенки ВЦР в 4-7%, обусловленные использованием разработанной методики рациональной расстановки колец жесткости, позволяющие уточнить значения величин критических значений кольцевых



напряжений в стенке по отношению к действующим в нормативных документах.

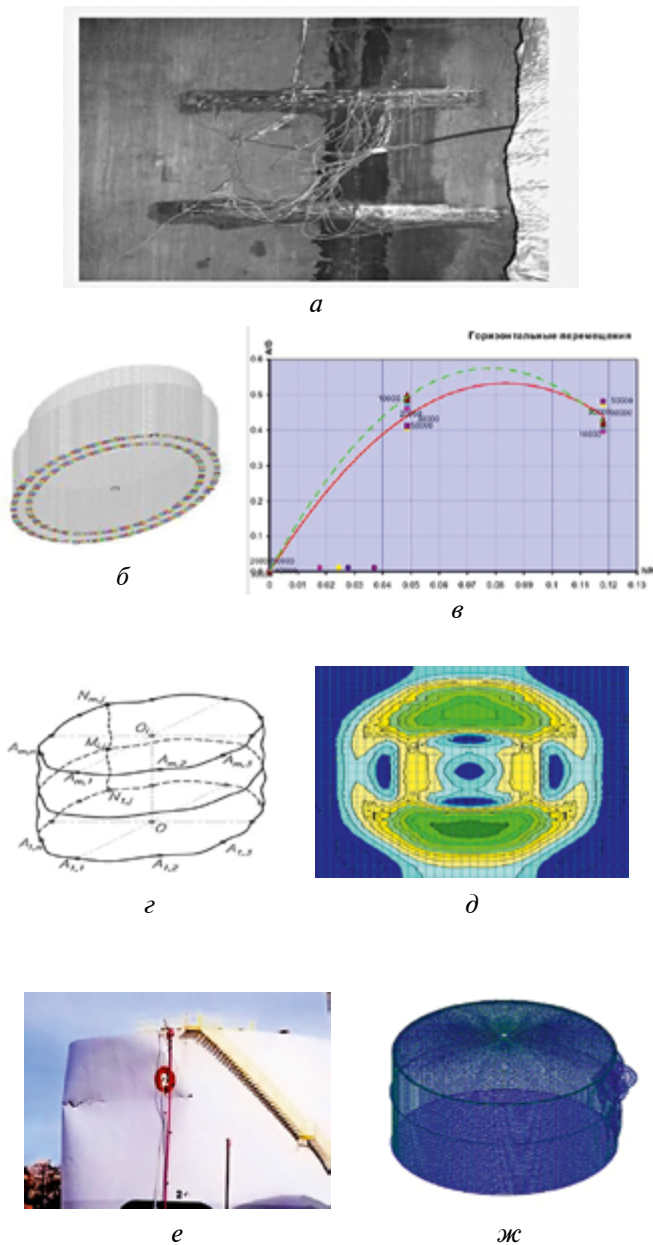


Рис. 6. Результаты экспериментальных и численных исследований напряженно-деформированного состояния стенки резервуара:

а – фрагмент стенки модели с начальным угловым несовершенством;

б, в – расчетная схема двухстенчатого резервуара и зависимость относительных горизонтальных смещений стенки по ее высоте при различной податливости основания;

г, д – расчетная схема стенки резервуара с несовершенствами и эпюра приведенных напряжений ( $snr$ ) в месте локального несовершенства;

е, ж – натурная конструкция с элементами стенки, потерявшими устойчивость, и результаты конечно-элементного моделирования потери устойчивости стенки с одним кольцом жесткости

По результатам исследований успешно защищены 4 кандидатских диссертации (34, 35, 36, 37), внедрен нормативный документ ([38] в редакциях 1996, 2000, 2002, 2005, 2007 гг.), разработаны соответствующие разделы в 2-х монографиях [24, 25] и опубликованы статьи в журналах, индексируемых в ведущих международных наукометрических базах данных, уровня Q1 и Q2 [12, 13].

4. В направлении уточнения действующих нагрузок и воздействий:

- уточнены зависимости для определения значений аэродинамических коэффициентов для стенки и кровли ВЦР со сферическим типом покрытия с учетом их расположения в составе группы (рис. 7 а, б);

- установлены закономерности для вычисления значений аэродинамических коэффициентов для стенки и кровли отдельно стоящего ВЦР с провисающим стабилизированным мембранным покрытием и в составе группы (рис. 7 в).

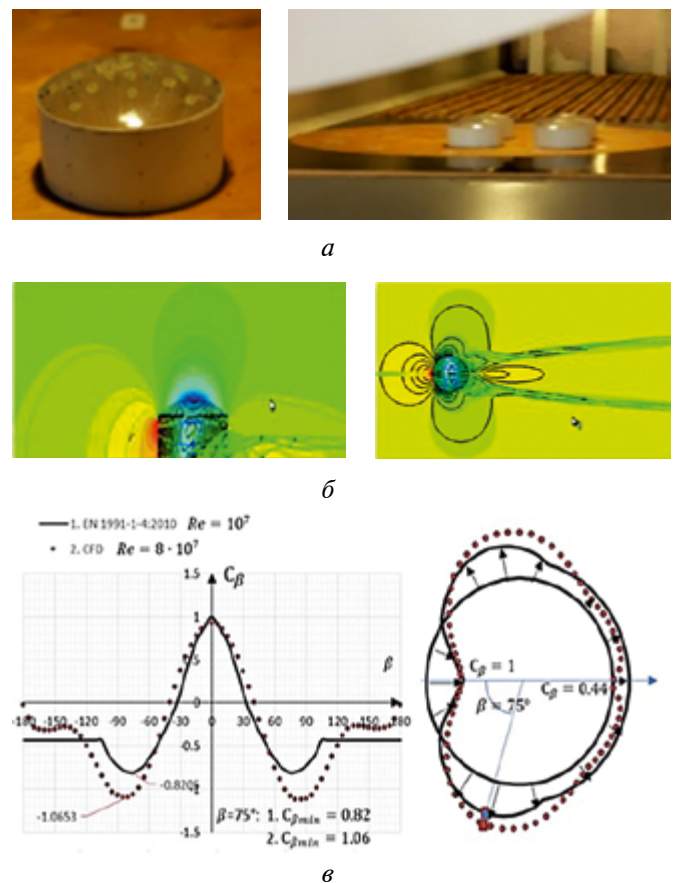


Рис. 7. Воздействие ветровых нагрузок на группу резервуаров, в том числе с провисающим мембранным покрытием: а – испытания в трубе МАТ-1; б – визуализация результатов численного моделирования; в – уточненная эпюра аэродинамических коэффициентов

По результатам исследований защищена кандидатская диссертация [39], опубликованы научные статьи, в том числе, в журналах уровня Q1 и Q2, входящих в ведущие наукометрические базы данных [13, 14, 40].

## ВЫВОДЫ

1. Творческими коллективами ГОУ ВПО «ДОННАСА» разработаны новые методы для детерминированного и вероятностного анализа напряженно-деформированного состояния пространственных листовых и стержневых металлических конструкций, а также их оптимального и вероятностно-оптимального проектирования, нашедшие применение в практике проектирования.

2. К основным направлениям дальнейшего развития разрабатываемых в рамках научного направления новых подходов в части вероятностного и оптимального расчета пространственных металлоконструкций следует отнести:

- разработку принципов формирования уточненных расчетных схем конструктивных элементов пространственных стержневых и листовых металлических конструкций на базе детального конечно-элементного моделирования;

- оценку влияния степени детализации расчетных схем на основные параметры напряженно-деформированного состояния исследуемых пространственных конструкций;

- обоснование необходимости учета уточненных параметров НДС при анализе предельных состояний элементов конструкций и их соединений;

- обоснование для систем повышенного уровня ответственности нового критерия склонности к прогрессирующему (лавинообразному) обрушению, базирующемуся на изменении индекса надежности  $\Delta\beta$ ;

- обоснование установившихся и аварийных расчетных ситуаций для оценки склонности анализируемых систем к лавинообразному обрушению;

- разработку общего алгоритма оптимального проектирования конструкций повышенного уровня ответственности, с соблюдением ранжированных уровней надежности для ключевых и второстепенных элементов.

3. Актуальность намеченных дальнейших исследований нашла свое подтверждение со стороны Российского фонда науки, решением которого от 30.11.2021 г. заявка творческого коллектива кафедры теоретической и прикладной механики «Научное обоснование новых подходов к проектированию оптимальных пространственных строительных металлоконструкций высокого уровня ответственности» (рук. Муцанов В. Ф.), подготовленная совместно со специалистами ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», вошла в число победителей конкурса малых отдельных научных групп Российского научного фонда.

## Список литературы:

1. ISO 2394:2015(en) *General principles on reliability for structures*.
2. Joint Committee on Structural Safety (JCSS), *Risk Assessment in Engineering — Principles, System Representation & Risk Criteria*, Edited by M. H. Faber, ISBN 978-3-909386-78-9, June 2008.
3. UFC 4-023-03 *Desiesign of Buildings to Resist Progressive Collapse, with Change 3* (Date: 07-14-2009; Change /

- Revision Date: 11-01-2016/. Series 4: Multi-disciplinary and facility-specific design.
4. *Rules and Regulations of the Building Code of the City of New York. Cm. chapter 18 «Resistance to Progressive Collapse under Extreme Local Loads».*
5. Perelmuter, A. V., Kabantsev, O. V. *About the Problem of Analysis Resistance Bearing Systems in Failure of a Structural Element. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Vol. 14. No 3. Pp. 103–113.*
6. Adam J. M., etc. *Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Eng. Struct. 2018. Vol. 173. № March. Pp. 122–149.*
7. Cui, T.-J., Li, S.-S., Wang, L.-G., Ma, Y.-D. *Study on the collapse process of the complex structure of the high-rise building under fire / (2018) Jisuan Lixue Xuebao/Chinese Journal of Computational Mechanics, 35 (5), pp. 656-662. DOI: 10.7511/jslx20161112001.*
8. Saad, L., Chateaufneuf, A., Raphael, W. *Robust formulation for Reliability-based design optimization of structures. Structural and Multidisciplinary Optimization. 2018. No. 6(57). Pp. 2233–2248.*
9. V. Alpatov. «Markhi» *spatial design structure: numerical study of its work under static load / MATEC Web of Conferences, Jan 2016.*
10. UFC 4-023-03 *Desiesign of Buildings to Resist Progressive Collapse, with Change 3* (Date: 07-14-2009; Change / Revision Date: 11-01-2016/. Series 4: Multi-disciplinary and facility-specific design.
11. Kuo Y.-L. *Stress-based finite element analysis of sliding beams. Appl. Math. Inf. Sci. 2015. Vol. 9. No. 2. Pp. 609–616.*
12. Mushchanov, V., Tsepliaev, M. *Rational design solutions of ensuring the walls of tanks stability to the action of transverse loads / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 896(1), 012024.*
13. Mushchanov, V. P., Zubenko, H. V., Tsepliaev, M. N. *The stress state of a tank shell in the group under wind load / Magazine of Civil Engineering, 2018, 83(7), сmp. 49–62.*
14. Mushchanov, V. P., Orzhekhovskii, A. N., Zubenko, A. V., Fomenko, S. A. *Refined methods for calculating and designing engineering structures / Magazine of Civil Engineering, 2018, 78(2), сmp. 101–115.*
15. Priadko, I. N., Mushchanov, V. P., Bartolo, H., Vatin, N. I., Rudnieva, I. N. *Improved numerical methods in reliability analysis of suspension roof joints / Magazine of Civil Engineering, 2016, 65(5), сmp. 27–41.*
16. Gorokhov, Y., Mushchanov, V., Pryadko, I. *Ensuring the required level of reliability during the design stage of -latticed shells with a large opening / Journal of Civil Engineering and Management, 2015, 21(3), сmp. 282–289.*
17. Муцанов В. Ф., Оржеховский А. Н., Муцанов А. В. *Оптимальное проектирование структурных покрытий на нетиповых планах Научное обоснование технологий и инновации: Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 2019. Ч. 2. С. 75-79. URL: [http://conf.bstu.ru/material\\_conf/XXXIII\\_nauchnye\\_chteniya](http://conf.bstu.ru/material_conf/XXXIII_nauchnye_chteniya).*
18. Муцанов В. Ф. *Действительная работа и надежность мембранных конструкций / дис... д.т.н. — Одесса, 1997 г.;*
19. Сивоконь Ю. В. *Мембранные оболочки покрытий над трибунами стадионов с большими вырезами на эллиптическом плане: дис... к.т.н. - Макеевка, 2007 г.*
20. Горохов Е. В., Муцанов В. Ф., Королев В. П. и др. *Рекомендации по технической эксплуатации строительных металлоконструкций большепролетных сооружений спортивных комплексов Олимпиады-80 / Отчет НИР №88-1. - Москва, 1989 г.*

21. Горохов Е. В., Муцанов В. Ф., Королев В. П. и др. Рекомендации по проектированию, возведению и эксплуатации покрытий мембранного типа / Киев-Макеевка, УкрНИИПСК, ДГАСА, 1997.- 56 с.
22. ДБН В.2.6-198:2014 «Государственные строительные нормы Украины. СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. Нормы проектирования» / Киев, Минрегион Украины, 2014 г.
23. Горохов Е. В., Муцанов В. Ф., Кинаш Р. И., Шимановский А. В., Лебедич И. Н. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / Макеевка: РИО ДонНАСА, 2008 – 405 с.
24. Горохов Е. В., Муцанов В. Ф., Васылев В. Н. и др. Системы мониторинга технического состояния несущих металлических конструкций зданий и сооружений / Макеевка: ПЦ ДонНАСА, 2013 – 314 с.
25. В. Ф. Муцанов, А. И. Демидов, М. Н. Цепляев. Линейные и нелинейные задачи теории упругости в расчетах тонкостенных конструкций / Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2020. — 338с. — Текст : электронный // IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/120026.html>
26. Гибаленко В. А. Работа жестких нитей сквозного сечения / дис...к.т.н. — Макеевка, 2000 г.
27. Касимов В. Р. Прочность и деформативность большепролетной стержневой оболочки покрытия с большим вырезом на эллиптическом плане : дис... к.т.н. - Макеевка, 2004 г.
28. Руднева И. Н. Особенности пространственной работы висячего покрытия, образованного системой жестких нитей / дис... к.т.н. — Макеевка, 2006 г.
29. Прядко Ю. Н. Надежность большепролетных стержневых покрытий с большим вырезом, образованных системой жестких нитей на эллиптическом плане / дис... к.т.н. — Макеевка, 2012 г.
30. Оржеховский А. Н. Особенности напряженно-деформированного состояния и надежность проектируемых и эксплуатируемых рамно-консольных покрытий над трибунами стадионов / дис...к.т.н. — Макеевка, 2017 г.
31. Прядко Ю. Н., Муцанов В. Ф., Бартоло Х., Ватин Н. И., Руднева И. Н. Усовершенствование численных методов расчета надежности узлов висячих покрытий / Инженерно-строительный журнал. 2016. № 5(65). С. 27–41. doi: 10.5862/MCE.65.3.
32. Горохов Е. В., Муцанов В. Ф., Назим Я. В. и др. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций / рекомендовано к печати решением Президиума УМО вузов РФ по образованию в области строительства и Правления АСВ в качестве учебного пособия. Под общей редакцией Е. В. Горохова - Макеевка, ПЦ ДонНАСА, 2012 - 561 с. <http://www.iprbookshop.ru/92346.html>
33. Муцанов В. Ф., Оржеховский А. Н., Муцанов А. В. Оптимальное проектирование структурных покрытий на нетиповых планах / Научно-технологические и инновационные проблемы: Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 2019. Ч. 2. С. 75-79. URL: [http://conf.bstu.ru/material\\_conf/XXIII\\_nauchnye\\_chneniya](http://conf.bstu.ru/material_conf/XXIII_nauchnye_chneniya).
34. Кулик А. А. Действительная работа монтажных стыков вертикальных цилиндрических резервуаров / дис... к.т.н. — Макеевка, 2003 г.
35. Роменский Д. И. Краевые эффекты в безмоментных оболочках емкостных сооружения для хранения жидких и сыпучих материалов / дис...к.т.н. — Макеевка, 2012 г.
36. Крысько А. А. Геометрическое и компьютерное моделирование эксплуатируемых конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учетом несовершенств геометрической формы / дис... к.т.н. — Макеевка, 2016 г.
37. Цепляев М. Н. Обеспечение устойчивости стенок вертикальных цилиндрических резервуаров на основе рационального расположения колец жесткости / дис... к.т.н. — Макеевка, 2020 г.
38. ТУ У В.2.6-28.1-02070795-001-2002 (новая редакция до 2012 г.). Конструкции строительные стальные резервуаров вертикальных цилиндрических для нефти и нефтепродуктов объемом от 100 до 20000 м3 / Донецк, ДЦСМС, 2007. - 72 с.
39. Зубенко А. В. Особенности формирования ветровой нагрузки на элементы вертикального цилиндрического резервуара с учетом особенностей конструктивной формы и блочного расположения / дис...к.т.н., Макеевка, 2021 г.
40. В. Ф. Муцанов, А. В. Зубенко, М. Н. Цепляев. Напряжения в кровле резервуара, состоящего в группе, при действии ветра / Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 5 (68). 2018. 36-51 doi: 10.18720/CUBS.68.4.