

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Крысько Александры Анатольевны на тему **«Геометрическое и компьютерное моделирование эксплуатируемых конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения и 05.01.01 – инженерная геометрия и компьютерная графика.

### **Актуальность избранной темы**

Исследование напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств их геометрической формы относится к одной из важнейших задач, возникающих в процессе эксплуатации таких сооружений. Например, известно, что большое количество резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов эксплуатируются со сверхнормативными отклонениями профиля стенки от вертикальной образующей. Если следовать действующим нормативным требованиям, то парк резервуаров, пригодных к эксплуатации, необходимо значительно сократить. Вместе с тем разработка эффективных и достоверных способов оценки технического состояния и выявление резервов несущей способности позволяет существенно продлить срок эксплуатации инженерных сооружений с искажённой геометрией. Таким образом, поставленная автором диссертации научно-техническая задача несомненно является актуальной, а ее решение позволяет получить значительный экономический эффект.

Научные и прикладные разработки, посвященные данной проблематике, сводятся к исследованию отдельного влияния общих и местных несовершенств геометрической формы на напряженно-деформированное состояние резервуара. В данном случае автором предложена новая методика, основанная на геометрическом и компьютерном моделировании с применением высокоэффективной современной вычислительной техники, которая позволяет исследовать совме-



ственное влияние как общих, так и местных несовершенств геометрической формы на напряженно-деформированное состояние конструкции в целом, что, несомненно, представляет научный и практический интерес. Кроме того автором получены интересные результаты с точки зрения теории расчёта тонкостенных оболочек под действием специфической гидростатической нагрузки с учётом как геометрической, так и конструктивной нелинейности, что было бы невозможно без применения в практике расчёта тонкостенных оболочек их геометрических и компьютерных моделей, которые аналитически описывают деформированную поверхность оболочки.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов геометрического и компьютерного моделирования, что позволило перейти от дорогостоящих натурных экспериментов к компьютерным. Также обоснованность и достоверность подтверждается сравнением авторских результатов научных исследований с результатами, полученными другими учёными в данной области, чему посвящен 4 раздел исследований автора. Кроме того обоснованность результатов подтверждается более чем широкой апробацией основных результатов исследований на научных и научно-практических конференциях и семинарах, в опубликованных работах и патентах на изобретение.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов основной части, заключения и списка использованной литературы из 153 наименований. Работа изложена на 193 страницах и содержит 37 рисунков, 29 таблиц и 4 приложения.

Во **введении** автором обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, показана научная новизна и практическое значение полученных результатов.

В **первом разделе** проведен анализ несовершенств геометрической формы конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений, причин их



возникновения, а также допусков величин геометрических несовершенств эксплуатируемых резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Выполнен обзор литературных источников посвященные численному исследованию НДС тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы и обоснована необходимость и целесообразность применения математического аппарата БН-исчисления для моделирования таких оболочек.

Второй раздел посвящён разработке геометрических и компьютерных алгоритмов моделирования действительной поверхностей тонкостенных оболочек инженерных сооружений с использованием БН-исчисления, в том числе универсального алгоритма моделирования действительной поверхности стенки резервуара с учётом как общих, так и местных несовершенств геометрической формы.

В третьем разделе исследованы способы моделирования и численного расчёта НДС стальных резервуаров с учётом несовершенств геометрической формы. Исследованы методы измерения и обработки статистического материала и предложен расчетный алгоритм, который позволяет удалить избыточную информацию из гиперколичественного множества точек, полученного в результате проведения измерений с помощью наземного лазерного сканера. Автором разработан комплекс программ, реализованных в программном комплексе Maple и в среде VBA, основанных на универсальном алгоритме, полученном во втором разделе, для компьютерного моделирования поверхности стенки резервуара с несовершенствами. Используя полученные компьютерных модели проведены исследования НДС резервуара с несовершенствами под действием собственного веса и гидростатической нагрузки в линейной и нелинейной постановках, обоснована необходимость использования поэтапной схемы нагружения резервуара гидростатической нагрузкой для учета как геометрической, так и конструктивной нелинейности.

В четвертом разделе исследовано НДС ряда стальных резервуаров объемом от  $1000\text{ м}^3$  до  $10000\text{ м}^3$  для хранения нефтепродуктов с учётом местных не-



совершенств сферической формы под действием гидростатической нагрузки в линейной постановке, что позволило сопоставить результаты численных исследований с экспериментальными и теоретическими данными, полученными другими исследователями и подтвердило достоверность полученных математических и компьютерных моделей.

В пятом разделе разработана инженерная методика численного исследования НДС стального ВЦР находящегося в эксплуатации, которая позволяет на основании геометрических обмеров с помощью компьютерного моделирования оценить техническое состояние резервуара для хранения нефтепродуктов с учётом несовершенств геометрической формы, а также моделировать изменения, связанные с изменением параметров несовершенств с течением времени и под воздействием различных факторов.

Каждый раздел завершают выводы, логически вытекающие из его содержания.

В выводах изложены основные результаты проведенного диссертационного исследования.

В диссертационной работе излагаемый материал имеет четкую логическую последовательность, хорошо систематизирован и структурирован. Несомненно, рассматриваемая диссертационная работа является завершённым научным трудом. Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Сформированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации обладают несомненной научной ценностью, в связи с тем, что включают в себя новые оригинальные геометрические модели, компьютерные алгоритмы и методики для численного исследования напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений с несовершенствами геометрической формы.



Основная новизна диссертационной работы заключается в разработке инженерной методики, которая позволяет исследовать напряжённо-деформированное состояние тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом совместного влияния общих и местных несовершенств геометрической формы под действием различных нагрузок в линейной и нелинейной постановках.

К числу наиболее существенных результатов диссертации следует отнести следующие:

1. Разработанный автором универсальный геометрический и компьютерный алгоритм моделирования действительной поверхности стенки резервуара с учётом как общих, так и местных несовершенств геометрической формы;
2. Численные исследования совместного влияния общих и местных несовершенств геометрической формы на напряжённо-деформированное состояние резервуара для хранения нефтепродуктов в линейной и нелинейной постановках;
3. Предложенный лично автором способ учёта влияния геометрической и конструктивной нелинейности на напряженно-деформированное состояние стенки резервуара для хранения нефтепродуктов под действием гидростатической нагрузки;
4. Разработанную автором инженерную методику численного исследования напряжённо-деформированного состояния стального вертикального цилиндрического резервуара, находящегося в эксплуатации.

### **Замечания**

1. Несмотря на достаточно полный и качественный анализ ранее выполненных исследований, результаты которого изложены в 1-м разделе диссертации, его данные базируются, в основном, на работах российских и украинских исследователей. Вместе с тем, в соответствующих разделах Еврокода 0 и Еврокода 3 даны подробные рекомендации по расчету тонкостенных конструкций с геометрическими несовершенствами в конечно-элементной постановке. Эти реко-



мендации базируются на серьезных научных исследованиях, но они во многом остались за рамками выполненного анализа.

2. Учитывая, что предложенный во 2-м разделе диссертации алгоритм трактуется автором, как универсальный, считаю, что набор моделируемых в дальнейшем при сравнительном анализе типов геометрических несовершенств явно недостаточен (локальная вмятина, общие отклонения стенки от вертикали). При этом, они характеризуются достаточно большими значениями радиусов кривизны, и достаточно хорошо описываются в рамках предложенного алгоритма. Однако, наиболее опасными будут локальные несовершенства с малыми значениями радиусов кривизны («западания» монтажных сварных швов, угловатости вследствие разворачивания рулона и т.д.), вызывающие в таких случаях наибольшую концентрацию напряжений, но работоспособность алгоритма для этих случаев не проанализирована.
3. Следует отметить, что сформированная для проведения численных исследований конечно-элементная модель (см. раздел 3), базируется на размерах конечного элемента, установленного для стенки резервуара с идеальной геометрией, что отнюдь не является идентичным для стенки с геометрическими несовершенствами, которая исследуется как в настоящем, так и последующем разделах. Справедливость такого подхода может быть подтверждена только экспериментальным путем, или более обширными численными исследованиями, однако в работе они отсутствуют.
4. Выполненный в 4-м разделе анализ возможности применения разработанного алгоритма к описанию локальных геометрических несовершенств в форме вмятин (выпучин) базируется на сравнении с результатами известных работ Л.А. Алифанова. Несмотря на полученную автором удовлетворительную сходимость, она базируется лишь на анализе 1-го конкретного случая (сферическая вмятина) и, несмотря на наличие определенной базы результатов исследований (расчет 9-ти типоразмеров резервуаров) не завершен какими-либо обобщающими выводами. Кроме того, расчеты выполнены в линейной постановке, что, также, снижает возможность оценки точности полученных результатов.



## Общие выводы

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Диссертация Крысько Александры Анатольевны на тему «Геометрическое и компьютерное моделирование эксплуатируемых конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы» является законченной научно-квалификационной работой, написана автором самостоятельно. Представленная диссертация по актуальности, научной и практической значимости полученных результатов отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Крысько Александра Анатольевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения и 05.01.01 – инженерная геометрия и компьютерная графика.

Настоящим я, Зверев Виталий Валентинович, даю согласие на автоматизированную обработку персональных данных с указанием фамилии, имени, отчества.

Официальный оппонент  
Доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
металлических конструкций  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный техниче-  
ский университет»,  
398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30  
Тел./факс: +7(4742) 32-80-13  
E-mail: [mailbox@stu.lipetsk.ru](mailto:mailbox@stu.lipetsk.ru)

Подпись доктора технических наук, профессора  
Зверева Виталия Валентиновича заверяю  
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Липецкий госу-  
дарственный технический университет»



Зверев В.В.

Кузенков С.Е.