

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Е.В. Конопацкий, О.А. Шевчук, А.А. Крысько

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

Целью исследования является развитие методов многомерной интерполяции и аппроксимации как инструментов математического и компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений. Для достижения поставленной цели усовершенствовано дифференциальное уравнение моделирования напряженно-деформированного состояния упругой цилиндрической оболочки при осесимметричном нагружении для численного анализа напряженно-деформированного состояния цилиндрического резервуара с несовершенствами геометрической формы и получено его численное решение с помощью геометрических интерполянтов. Также реализован новый подход к учёту начальных условий дифференциального уравнения, который заключается в параллельном переносе численного решения в нужную точку, координаты которой соответствуют начальным условиям. Предложенный подход численного решения дифференциальных уравнений основан на геометрической теории многомерной интерполяции, реализованной в точечном исчислении. Для сравнения результатов моделирования напряженно-деформированного состояния резервуара для хранения нефтепродуктов с учётом несовершенств геометрической формы было получено эталонное решение путём аппроксимации значений перемещений от действия гидростатической нагрузки с учётом геометрической и конструктивной нелинейности при моделировании напряженно-деформированного состояния в программном пакете конечно-элементного анализа SCAD. Расчёты были проведены в соответствии с прочностной теорией октаэдрических касательных напряжений (энергетическая теория Губера-Хенки-Мизера). Предложенный подход использования геометрических интерполянтов в качестве конечных суперэлементов, включающих в себя не только геометрическую информацию, но и информацию о физических параметрах, может быть использован для численного решения и других дифференциальных уравнений математического моделирования многофакторных процессов и явлений. Преимуществом такого подхода является то, что он позволяет исключить необходимость согласования геометрической информации в процессе взаимодействия между CAD и FEA системами по аналогии с изогометрическим методом.

*Ключевые слова:* геометрический интерполянт, дифференциальное уравнение, численное решение, напряжённо-деформированное состояние, эксплуатируемый резервуар.

## ВВЕДЕНИЕ

В инженерной практике широкое распространение получили стальные тонкостенные оболочки вращения, которые включают: газгольдеры для хранения и распределения газов; бункеры и силосы для хранения и перегрузки сыпучих материалов; трубопроводы больших диаметров; дымовые и вентиляционные трубы, водонапорные башни, градирни; специальные конструкции металлургической, химической и других отраслей промышленности; различные баки и контейнеры для транспортировки жидких и газообразных веществ, вагоны-цистерны; вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефтепродуктов. В процессе изготовления и эксплуатации тонкостенные оболочки изменяют свою первоначальную идеализированную геометрическую форму под действием объективных и субъективных факторов, к которым относятся: нагрузки (собственный вес конструкции, гидростатическое давление, вакуум, ветровая и снеговая нагрузки); погрешности изготовления, транспортировки и монтажа; нарушение условий эксплуатации. Имеющиеся случаи разрушения

приведенных выше инженерных сооружений привели к необходимости периодического мониторинга их технического состояния в течение всего периода эксплуатации. Среди методов компьютерной диагностики технического состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы наиболее распространение получили методы конечно-элементного анализа их напряжённо-деформированного состояния (НДС) на основе моделирования как общих, так и местных несовершенств геометрической формы [1-5]. При этом процесс моделирования разбивается на два этапа: моделирование поверхности оболочки с учётом несовершенств геометрической формы и численное моделирование НДС оболочки. Такой подход обладает рядом недостатков. Во-первых, численный расчёт НДС оболочки проходит достаточно долго. Например, расчёт НДС резервуара для хранения нефтепродуктов содержащий 65854 конечных элементов в виде прямоугольных пластин в нелинейной постановке (с учётом геометрической и конструктивной нелинейности) занял более 25 часов на компьютере под управлением процессора Intel Core

i5-2400 (4-ядерный процессор с максимальной тактовой частотой 3,40 GHz), что для выполнения инженерных изысканий как минимум неудобно. Причём 99% этого времени занимает именно численный расчёт НДС оболочки. Во-вторых, возникают сложности учёта конструктивной нелинейности, приводящей к необходимости реализации особой схемы поэтапного нагружения оболочки под действием гидростатической нагрузки [4-5]. Избежать указанных недостатков можно с помощью эффективного использования таких инструментов математического моделирования, как многомерная интерполяция и аппроксимация. Их применение для нахождения численного решения дифференциальных уравнений (ДУ) и обработки полученных результатов моделирования позволит обеспечить достаточную для инженерных расчётов точность и значительно повысить быстродействие вычислений.

Исходя из вышеизложенного, разработка новых и совершенствование существующих численных методов компьютерного моделирования НДС эксплуатируемых резервуаров для хранения нефтепродуктов является актуальной научной задачей, которая имеет важное отраслевое значение.

#### ОБЩИЙ ПОДХОД К ЧИСЛЕННОМУ РЕШЕНИЮ ДУ С ПОМОЩЬЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИНТЕРПОЛЯНТОВ

Метод численного решения ДУ с помощью геометрических интерполянтов, который можно отнести к категории методов конечных суперэлементов, применим для решения широкого круга инженерных и прикладных задач [6-9]. Особенностью предложенного метода является то, что в качестве аппроксимирующей функции используется геометрический интерполянт – геометрический объект, проходящий через наперёд заданные точки – узлы интерполяции. Таким образом, многомерный геометрический интерполянт представляет собой суперэлемент [10], включающий информацию как о геометрических, так и о физических параметрах его состояния. Только в данном случае узлы интерполяции заранее неизвестны. Они вычисляются из условия соответствия исходному ДУ. Соответствие промежуточных точек исходному ДУ обеспечивается за счёт интерполяции. Следовательно, чем больше узлов интерполяции, тем ближе геометрический интерполянт к искомому численному решению ДУ. Такой подход по аналогии с изогеометрическим методом [11, 12], предложенным Томом Хьюзом, позволяет исключить необходимость согласования геометрической информации в процессе взаимодействия между CAD и FEA системами.

Для решения ДУ выбор геометрического интерполянта зависит от размерности пространства лапласиана [9]. В классической литературе оператор

Лапласа – дифференциальный оператор, действующий в линейном пространстве гладких функций и обозначаемый символом  $\Delta$ . В  $n$ -мерном пространстве этот оператор функции  $U$  ставит в соответствие функцию 
$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2}{\partial x_n^2} \right) U.$$

Исходя из этого разработана классификация решений ДУ в зависимости от размерности лапласиана, позволяющая выбирать необходимый тип геометрического интерполянта (табл. 1).

Табл. 1. Классификация решений ДУ по размерности лапласиана

Размерность лапласиана	Тип геометрического интерполянта	Вид аппроксимирующего геометрического объекта
0	1-параметрический $U = f(x)$	кривая в $R^2$
1	2-параметрический $U = f(x, t)$	поверхность в $R^3$
2	3-параметрический $U = f(x, y, t)$	гиперповерхность в $R^4$
3	4-параметрический $U = f(x, y, z, t)$	гиперповерхность в $R^5$
...	...	...
$n$	$(n+1)$ -параметрический $U = f(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$	гиперповерхность в $R^{n+2}$

#### КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ НДС ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

В отечественной литературе широкое распространение получила модель определения НДС упругой цилиндрической оболочки при осесимметричном нагружении [13, 14]. Эта модель применяется в работе для анализа НДС проектируемых тонкостенных оболочек инженерных сооружений. Вместе с тем, наличие даже незначительных несовершенств геометрической формы, которые выражаются в виде отклонений стенки резервуара от вертикали, приводят к необходимости решения задачи с учётом геометрической и конструктивной нелинейности. Вследствие этого возникает необходимость уточнения исходного ДУ с учётом начальных отклонений поверхности цилиндрической оболочки от вертикали:

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} + \frac{kEh(w + \delta)}{r^2 \left(1 - \frac{\alpha\mu}{2}\right)} = \gamma g(x - d), \quad (1)$$

где  $w = w(x)$  – искомая функция перемещений от действия гидростатической нагрузки;  $x$  – координата стенки по высоте, отсчитывая от уторного шва резервуара;  $r$  – радиус цилиндрического резервуара;

$h$  – толщина стенки цилиндрического резервуара;  $\delta = \delta(x)$  – функция исходных отклонений стенки цилиндрического резервуара от вертикали;  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий при расчёте геометрическую и конструктивную нелинейность, а также напряжения, возникающие в верхнем поясе оболочки за счёт её взаимодействия с крышей резервуара;  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  – модуль Юнга для стали;  $\mu = 0,3$  – коэффициент Пуассона;  $\alpha$  – параметр, который при одноосном напряжённом состоянии принимается равным 0 (гидростатическое давление в открытом цилиндрическом сосуде), а при внутреннем газовом давлении в замкнутом цилиндрическом сосуде принимается равным 0,5;

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$  – цилиндрическая жесткость;  $\gamma$  – плотность хранимой жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $d$  – высота уровня жидкости в резервуаре.

Учитывая, что исходные отклонения  $\delta$  и искомые перемещения  $w$  являются функциями от переменной  $x$ , математически точное решение общим методом решения ДУ с постоянными коэффициентами даёт значительные погрешности (рис. 1), что приводит к необходимости его решения численным методом.

Численное решение ДУ (1) с помощью однопараметрического геометрического интерполянта с учётом начального условия, применение которого заключается в параллельном переносе численного решения в начало координат, имеет следующий вид:

$$w = 4,19 \cdot 10^{-6} x^6 - 0,00017 x^5 + 0,0025 x^4 - 0,018 x^3 + 0,061 x^2 - 0,09 x. \quad (2)$$

Графическая визуализация результатов сравнения показывает высокий уровень сходства алгебраических кривых (рис. 2), что подтверждает достоверность полученных результатов.

Аналогичным образом были найдены и проверены уравнения перемещений для 12 сечений по окружности резервуара. В результате проведения вычислительных экспериментов в программном пакете MS Excel с коэффициентом детерминации 0,983 получена зависимость поправочного коэффициента  $k$ , учитывающего при расчёте геометрическую и конструктивную нелинейность, а также напряжения, возникающие в верхнем поясе оболочки за счёт её взаимодействия с крышей резервуара, от угла  $\varphi$  по окружности резервуара (рис. 3):

$$k = 9,215 \cdot 10^{-10} \varphi^4 - 6,203 \cdot 10^{-7} \varphi^3 + 0,0001 \varphi^2 - 0,0021 \varphi + 0,3888.$$

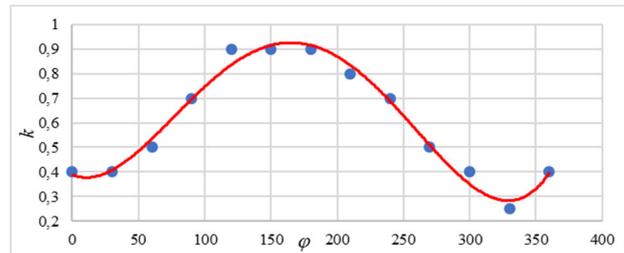


Рис. 3. Зависимость поправочного коэффициента  $k$  от угла  $\varphi$  по окружности резервуара

Для интерполяции результатов численного моделирования перемещений по сечениям резервуара, был использован вычислительный алгоритм построения одномерных незамкнутых обводов 1-го порядка гладкости [15]. В результате получена поверхность отклика, характеризующая перемещения в стенке стального цилиндрического резервуара с несовершенствами (рис. 4).

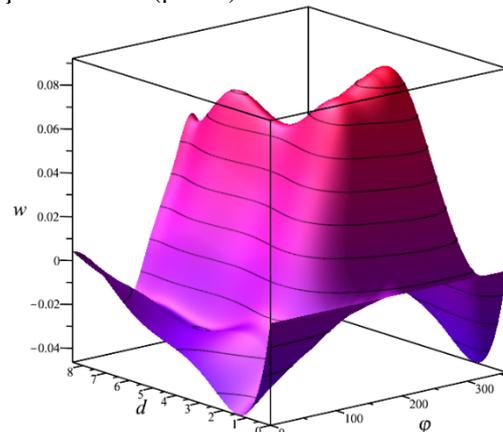


Рис. 4. Визуализация поверхности отклика перемещений стенки резервуара с несовершенствами от действия гидравлической нагрузки

Как видно из рис. 4, максимальные перемещения возникают в нижней части резервуара на интервале от  $150^\circ$  до  $300^\circ$  по окружности резервуара. Методами математического анализа определены значения максимальных перемещений и их положение. Для этого решена система двух уравнений с частными производными по параметрам  $u$  и  $v$ , на интервале их изменения от 0 до 1. Таким образом, максимальные перемещения 92,2 мм возникают на высоте  $d = 2,298$  м и  $\varphi = 258,6^\circ$  по окружности резервуара.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход может быть эффективно использован не только для расчёта НДС тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы или без них, но и других инженерных и прикладных задач, которые сводятся к численному решению дифференциальных уравнений (например, неоднородного уравнения теплопроводности с помощью аппроксимирующей поверхности отклика

[14]). Также существует возможность моделирования других видов нагрузок (например, ветровая нагрузка, снеговая нагрузка, нагрузка от собственного веса конструкции и т.п.) с применением интерполяционных и аппроксимационных методов. Кроме того, предложенный подход к использованию геометрических интерполянтов в качестве конечного суперэлемента по аналогии с изогометрическим методом, позволяет исключить необходимость согласования геометрической информации в процессе взаимодействия между CAD и FEA системами [11, 12].

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aleshina, O.O. Stress state analysis of an equal slope shell under uniformly distributed tangential load by different methods [Text] / O.O. Aleshina, V.N. Ivanov, D. Cajamarca-Zuniga // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2021. – Vol. 17. – No. 1. – pp. 51-62. – DOI: 10.22363/1815-5235-2021-17-1-51-62.
2. Егоров, Е.А. Проблемы устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров в задачах технической диагностики [Текст] / Е.А. Егоров, Б.Г. Исмагулов, Ю.В. Федоряка // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2010. – № 11(152). – С. 19-28.
3. Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния стальных вертикальных цилиндрических резервуаров с учётом несовершенств геометрической формы [Текст] / А.А. Крысько, Е.В. Конопацкий, А.Н. Миронов, В.Ф. Мушанов // Металлические конструкции. – 2016. – Т. 22. – № 1. – С. 45-57.
4. Крысько, А.А. Анализ напряженно-деформированного состояния стенки резервуара с геометрическими несовершенствами при действии гидростатической нагрузки [Текст] / А.А. Крысько // Металлические конструкции. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 97-106.
5. Крысько, А.А. Численные исследования местных несовершенств геометрической формы вертикального цилиндрического резервуара [Текст] / А.А. Крысько // Строитель Донбасса. – 2020. – № 1(10). – С. 13-17.
6. Конопацкий, Е. В. Моделирование аппроксимирующего 16-точечного отсека поверхности отклика применительно к решению неоднородного уравнения теплопроводности [Текст] / Е. В. Конопацкий // Геометрия и графика. – 2019. – Т. 7. – № 2. – С. 39-46. – DOI 10.12737/article\_5d2c1a551a22c5.12136357.
7. About one method of numeral decision of differential equalizations in partials using geometric interpolants [Text] / E.V. Konopatskiy, O.S. Voronova, O.A. Shevchuk, A.A. Bezditnyi. – CEUR

Workshop Proceedings, 2020. – Vol. 2763. – pp. 213-219. – DOI: 10.30987/conferencearticle\_5fce27708eb353.92843700.

8. Konopatskiy, E.V. Modeling geometric varieties with given differential characteristics and its application [Text] / E.V. Konopatskiy, A.A. Bezditnyi, O.A. Shevchuk // CEUR Workshop Proceedings, 2020. – Vol. 2744. – DOI: 10.51130/graphicon-2020-2-4-31.

9. Шевчук, О.А. Решение дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов [Текст] / О.А. Шевчук, Е.В. Конопацкий // Информационные технологии в проектировании и производстве. – М.: НТЦ «Компас», 2020. – №3. – С.29-33.

10. Метод суперэлементов в расчётах инженерных сооружений [Текст] / В.А. Постнов, С.А. Дмитриев, Б.К. Елтышев, А.А. Радионов. – Л.: Судостроение, 1979. – 288 с.

11. Li, W. Geometrically nonlinear analysis of thin-shell structures based on an isogeometric-meshfree coupling approach [Text] / W. Li, N. Nguyen-Thanh, K. Zhou // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2018. – Vol. 336. – pp. 111-134. – DOI: 10.1016/j.cma.2018.02.018.

12. Изо-геометрический метод расчета как альтернатива стандартному методу конечных элементов [Текст] / А.И. Исрафилова, В. Кутрунов, М. Гарсия, М. Калиске // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2019. – № 9(84). – С. 7-21. – DOI: 10.18720/CUBS.84.1.

13. Лессиг, Е.Н. Листовые металлические конструкции [Текст] / Е.Н. Лессиг, А.Ф. Лилеев, А.Г. Соколов. – М.: Стройиздат, 1970. – 488 с.

14. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки [Текст] / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер // Перевод с англ. В.И. Контовта под ред. Г.С. Шапиро. 2-е изд. стереотипное – М.: Наука, 1966. – 636 с.

15. Конопацкий, Е.В. Вычислительные алгоритмы моделирования одномерных обводов через  $k$  наперед заданных точек [Текст] / Е.В. Конопацкий, А.А. Крысько, А.И. Бумага // Геометрия и графика. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 20-32. – DOI: 10.12737/article\_5bc457ece18491.72807735.

*Конопацкий Евгений Викторович – д-р техн. наук, профессор кафедры специализированных информационных технологий и систем ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», e-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru.*

*Шевчук Оксана Александровна – ассистент кафедры специализированных информационных технологий и систем ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», e-mail: o.a.shevchuk@donnasa.ru.*

*Крысько Александра Анатольевна – канд. техн. наук, доцент кафедры специализированных информационных технологий и систем ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», e-mail: a.a.krysko@donnasa.ru.*

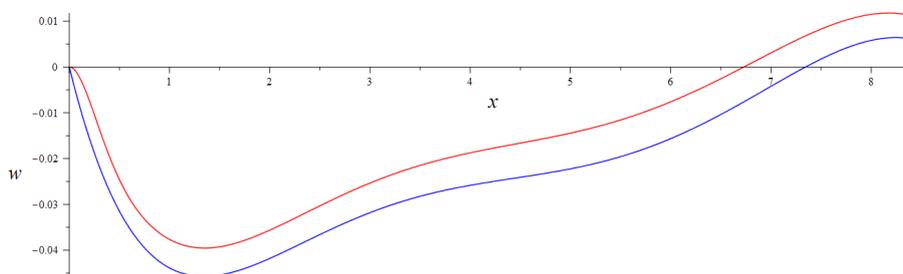


Рис. 1. Сравнение результатов решения ДУ: синяя линия – эталонное решение; красная линия – математически точное решение

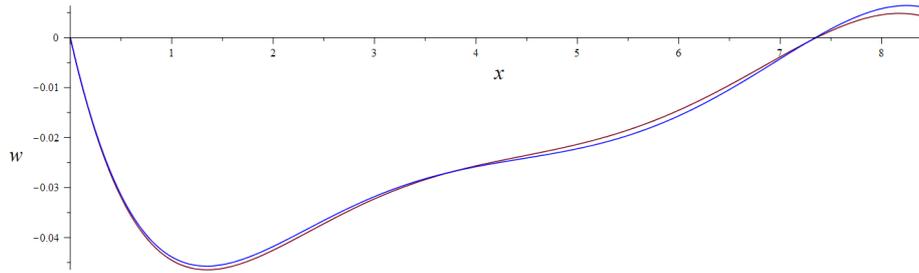


Рис. 2. Сравнение результатов решения ДУ (1): синяя линия – эталонное решение; коричневая линия – численное решение (2)

# COMPUTER MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF AN EXPLOITED STORAGE TANK FOR PETROLEUM PRODUCTS

**E.V. Konopatskiy, O.A. Shevchuk, A.A. Krysko**  
*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka*

**Abstract** – The aim of the study is to develop methods of multidimensional interpolation and approximation as tools for mathematical and computer modeling of the stress-strain state of thin-walled shells of engineering structures. To achieve this goal, we improved the differential equation for modeling the stress-strain state of an elastic cylindrical shell under axisymmetric loading for the numerical analysis of the stress-strain state of a cylindrical tank with geometric form imperfections and obtained its numerical solution using geometric interpolators. Also realized a new approach to taking into account the initial conditions of the differential equation, which is a parallel transfer of the numerical solution to the desired point, the coordinates of which correspond to the initial conditions. The proposed approach for the numerical solution of the differential equations is based on the geometrical theory of multidimensional interpolation realized in the point calculus. To compare the results of modeling the stress-strain state of a storage tank for petroleum products with regard for geometric form imperfections, a reference solution was obtained by approximating the values of displacements from the hydrostatic load with regard for geometric and structural nonlinearity in modeling the stress-strain state in the software package of finite element analysis SCAD. Calculations were performed in accordance with the strength theory of octahedral tangential stresses (Huber-Hancke-Miser energy theory). The proposed approach of using geometrical interpolants as finite superelements that include not only geometrical information but also information on physical parameters can be used for numerical solutions and other differential equations of mathematical modeling of multifactor processes and phenomena. The advantage of this approach is that it eliminates the need to coordinate geometric information in the process of interaction between CAD and FEA systems by analogy with the isogeometric method.

**Keywords:** geometric interpolant, differential equation, numerical solution, stress-strain state, exploited tank.

## REFERENCES

1. Aleshina, O.O., V.N. Ivanov, and D. Cajamarca-Zuniga, "Stress state analysis of an equal slope shell under uniformly distributed tangential load by different methods", *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, vol. 17, no. 1, pp. 51-62, 2021, DOI: 10.22363/1815-5235-2021-17-1-51-62.
2. Egorov, E.A., B.G. Ismagulov, and Y.V. Fedoryaka, "Problems of stability of steel vertical cylindrical tanks in the problems of technical diagnostics", *Bulletin of the Pridneprovskaya State Academy of construction and architecture*, no. 11(152), pp. 19-28, 2010.
3. Krysko, A.A., et al, "Technique of numerical analysis of the intense deformed state of steel vertical cylindrical tanks with taking into account the defects of geometrical form", *Metal structures*, vol. 22, no. 1, pp. 45-57, 2016.
4. Krysko, A.A., "Calculation of the intense deformed state of tank's wall under the action of the hydrostatic load in a nonlinear setting with geometric imperfections", *Metal structures*, vol. 23, no. 3, pp. 97-106, 2017.
5. Krysko, A.A., "Numerical studies of local defects in the geometric shape of a vertical cylindrical tank", *Builder of Donbass*, no. 1(10), pp. 13-17, 2020.
6. Konopatskiy, E.V., "Modeling approximating the 16-point compartment the response surface with respect to the solution of the inhomogeneous heat equation", *Geometry & Graphics*, vol. 7, no. 2, pp. 39-46, 2019, DOI: 10.12737/article\_5d2c1a551a22c5.12136357.
7. Konopatskiy, E.V. et al, "About one method of numeral decision of differential equalizations in partials using geometric interpolants", *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2763, pp. 213-219, 2020, DOI: 10.30987/conferencearticle\_5fce27708eb353.92843700.
8. Konopatskiy, E.V., A.A. Bezdityni, and O.A. Shevchuk, "Modeling geometric varieties with given differential characteristics and its application", *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2744, 2020, DOI: 10.51130/graphicon-2020-2-4-31.
9. Shevchuk, O.A., and E.V. Konopatskiy, "Solving differential equations using geometric interpolants", *Information technologies in design and production*, no. 3, pp. 29-33, 2020.
10. Postnov, V.A., et al, "The method of superelements in calculations of engineering structures", Leningrad: Shipbuilding, 1979.
11. Li, W., N. Nguyen-Thanh, and K. Zhou, "Geometrically nonlinear analysis of thin-shell structures based on an isogeometric-meshfree coupling approach", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 336, pp. 111-134, 2018, DOI: 10.1016/j.cma.2018.02.018.
12. Israfilova, I.A., et al, "Isogeometric analysis as an alternative to standard finite element method", *Construction of unique buildings and structures*, no. 9(84), pp. 7-21, 2019, DOI: 10.18720/CUBS.84.1.
13. Lessig, E.N., A.F. Lileev, and A.G. Sokolov, "Sheet metal structures", Moscow: Stroyizdat, 1970.
14. Timoshenko, S.P., and C. Voinovsky-Krieger, "Plates and shells", Moscow: Science, 1966.
15. Konopatskiy, E.V., A.A. Krysko, A.I. Bumaga, "Computational algorithms for modeling of one-dimensional contours through  $k$  in advance given points", *Geometry & Graphics*, vol. 6, no. 3, pp. 20-32, 2018, DOI: 10.12737/article\_5bc457ece18491.72807735.

*Konopatskiy Evgeniy Viktorovich – doctor of engineering, professor of the department of specialized information technologies and systems, Donbass national academy of civil engineering and architecture, e-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru.*

*Shevchuk Oksana Aleksandrovna – assistant of the department of specialized information technologies and systems, Donbass national academy of civil engineering and architecture, e-mail: o.a.shevchuk@donnasa.ru.*

*Krysko Aleksandra Anatolievna – candidate of engineering, docent of the department of specialized information technologies and systems, Donbass national academy of civil engineering and architecture, e-mail: a.a.krysko@donnasa.ru.*