



сuzить группу наиболее ответственных элементов конструкции (с 40 до двух стержней).

Используя разработанный подход, процедуры вычисления характеристик надежности много-

кратно статически неопределимых стержневых систем можно перевести в практическую плоскость инженерных расчетов.

Список литературы

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. Основные положения. – Введен 2014–11–14, изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 14 с.
2. ГОСТ Р ИСО 2394-2016. Конструкции строительные. Основные принципы надежности. – Введен 2016–11–28, изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 62 с.
3. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. – Введен 2018–07–05, изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
4. UFC 4-023-03. Design of buildings to resist progressive collapse. – 14 July 2009. – Change 3, 1 November 2016.
5. GSA Alternate Path Analysis and Design Guidelines for Progressive Collapse Resistance. – October 24, 2013. – Revision 1, January 28, 2016.
6. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее обрушение / И.И. Ведяков, П.Г. Еремеев, П.Д. Одесский и др. // Вестник НИЦ «Строительство». – 2019. – №2 (21). – С. 15–29. – Режим доступа: <https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/view/18/18>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Рекунов С. С. Расчет многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение при сейсмическом воздействии / С. С. Рекунов, А. Ю. Косова, С. Ю. Иванов, И. С. Завьялов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 3 (36). – С. 15–20.
8. Лепешкина Д.О. Прогрессирующее обрушение в областях высокой сейсмической активности с применением PushoverAnalysis / Д.О. Лепешкина // Alfabuild. – 2017. – № 2(2). – С. 45–48.
9. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования / И. И. Ведяков, П. Г. Еремеев, П. Д. Одесский и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 4. – С. 16–24. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.04.16-24.
10. Корноухов Н.В. Прочность и устойчивость стержневых систем. Упругие рамы, фермы и комбинированные системы / Н.В. Корноухов. – Москва : Москва, 1949. – 376 с.
11. Новожилов В.В. Основы нелинейной теории упругости. Современные проблемы механики / В.В. Новожилов; под общ. ред. А.И. Лурье и Л.Г. Лойцянского. – Ленинград – Москва: ОГИЗ Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1948. – 214 с.
12. Стрелецкий Н. С. Избранные труды / сост. : Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Н. П. Мельников и др. ; под общ. ред. Е.И. Беленя.–Москва :Стройиздат, 1975. – 422 с.
13. Лебедева И.В. Экспериментальные исследования для установления расчетных параметров снеговых нагрузок /И. В. Лебедева, А. В. Маслов, М. М. Березин // Вестник НИЦ «Строительство». – 2020. – № 25(2). – С. 66–76. – Режим доступа: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2\(25\)-66-76](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2(25)-66-76), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© В. Ф. Муцанов, А. Н. Оржеховский

Ссылка для цитирования:

Муцанов В. Ф., Оржеховский А. Н. Анализ степени ответственности элементов для определения характеристик надежности и склонности к лавинообразному разрушению стержневых конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (42). С. 5–10.

УДК 624.071.22:531.62

DOI 10.52684/2312-3702-2022-42-4-10-15

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ ГИБКИХ НИТЕЙ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Д. А. Тарасов

Тарасов Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление», Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Российская Федерация; e-mail: den517375@ya.ru

Рассмотрена одна из основных проблем, возникающих при обследовании зданий и инженерных сооружений, связанная с определением несущей способности разного рода конструкций. Поставлена задача по оценке предельных нагрузок способных воспринимать конструктивными элементами, исходя из требований прочности и жесткости на изменившиеся условия эксплуатации с учетом реальных свойств материала. В качестве объекта исследования рассматриваются элементы, обеспечивающие общую прочность покрытий общественных зданий и инженерных сооружений, расчетной моделью которых является гибкая нить.

Сформулированная цель достигается с помощью разработанной методики численного моделирования путем решения задачи условной оптимизации. Проведена оценка адекватности результатов, получаемых с помощью разработанной методики, посредством выполнения тестовых задач и сопоставления с данными, полученными общепризнанным методом конечных элементов.

Ключевые слова: гибкая нить, геометрическая нелинейность, предельная нагрузка, несущая способность, оптимизация, нелинейное программирование, физическая нелинейность, пластические деформации.

NUMERICAL ESTIMATION OF LIMIT LOADS FOR FLEXIBLE FILES IN THE ELASTOPLASTIC STATE

D. A. Tarasov

Tarasov Denis Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Automation and Control Department, Penza State Technological University, Penza, Russian Federation; e-mail: den517375@ya.ru

One of the main problems that arise during the inspection of buildings and engineering structures, related to the determination of the bearing capacity of various types of structures, is considered. The task was set to assess the ultimate loads capable of being taken by structural elements, based on the requirements of strength and rigidity for changed operating conditions, taking into account the real properties of the material. As an object of study, elements are considered that provide the overall strength of the coatings of public buildings and engineering structures, the calculation model of which is a flexible thread. The formulated goal is achieved with the help of the developed numerical modeling technique by solving the problem of conditional optimization. An assessment of the adequacy of the results obtained using the developed methodology was carried out by performing test tasks and comparing them with the data obtained by the generally recognized finite element method.

Keywords: flexible thread, geometric nonlinearity, ultimate load, load-bearing capacity, optimization, nonlinear programming, physical nonlinearity, plastic deformation.

Введение

В инженерной практике часто, например, при обследовании зданий и сооружений, возникает вопрос по определению способности несущих конструкций воспринимать нагрузки, действующие в данный момент [1]. Это обусловлено тем, что во время эксплуатации может уточняться действительная работа силовых элементов или возникать нагрузка, не предусмотренная проектом [2]. С годами меняются нормативные документы, что подразумевает проверку на актуальные требования существующих конструкций [3]. Вместе с тем такие проверки должны вестись с учетом реальных свойств материала, причем в ряде случаев нормами проектирования допускается возникновение пластических деформаций [4].

Сформулируем цель исследования следующим образом. Исходя из требований прочности и жесткости, ввиду изменившихся условий эксплуатации, необходимо найти в физически нелинейной постановке задачи предельную нагрузку на существующий конструктивный элемент.

Под предельной нагрузкой понимается нагрузка, вызывающая максимально допустимые напряжения в материале или прогибы в заданных сечениях по длине элемента [5, 18].

Предметом исследования является методика, позволяющая достичь поставленной цели.

Объектом исследования выступают конструктивные элементы, обеспечивающие общую прочность покрытий общественных зданий и инженерных сооружений, расчетной моделью которых является гибкая нить [6].

Научная новизна предлагаемой технологии моделирования для элементов с геометрической и физической нелинейностью заключается в возможности решать обратные задачи, в отличие от существующих коммерческих систем компьютерного моделирования, ориентированных на прямое определение напряженно-деформированного состояния по изначально известным параметрам, включая действующую нагрузку на конструкцию.

Материалы и методы

Рассмотрим гибкую нить, закрепленную на упругоподатливых опорах, расположенных на разных уровнях, с первоначальной стрелой провеса f_0 в середине пролета l , расчетная модель которой представлена на рисунке 1 [7].

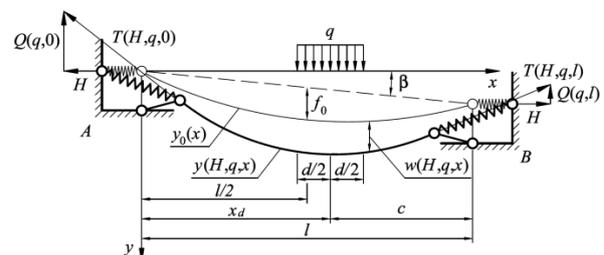


Рис. 1. Расчетная модель гибкой нити

Достижение поставленной цели по нахождению предельной нагрузки, действующей на рассматриваемый элемент, можно представить в виде задачи условной оптимизации. В качестве целевой функции примем уравнение по определению напряжений, ранее полученное в работе [8]:

$$\sigma(H, q) = \frac{H}{A \cdot L_0} \cdot \int_0^l \left[1 + \left(\frac{Q(q, x)}{H} + tg\beta \right)^2 \right] dx \rightarrow \max \quad (1)$$

где H – распор, горизонтальная составляющая продольного усилия, Н; q – предельная равномерно-распределенная нагрузка, Н/м; A – площадь поперечного сечения, м²; L_0 – длина в недеформированном состоянии, м; l – пролет, м; $Q(q, H)$ – функция балочной поперечной силы, Н; x – текущая абсцисса ($0 \leq x \leq l$), м; β – угол наклона хорды AB , соединяющей точки крепления, град.

При этом запишем ряд ограничений.

Первым и обязательным из них является условие неразрывности деформаций [9]:

$$L_0 + \Delta L(H, q) = L(H, q), \quad (2)$$

где $\Delta L(H, q)$ – упругопластическое удлинение, м; $L(H, q)$ – длина в деформированном состоянии, м.

Вторым ограничением может выступать условие прочности [10]:

$$\frac{T(H, q, x_1)}{A} \leq [\sigma], \quad (3)$$

где $T(H, q, x_1)$ – значение функции продольного усилия в заданном сечении с абсциссой x_1 , Н; $[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, Па.

Вместе с тем может накладываться ограничение по допустимым вертикальным перемещениям [11]:

$$w(H, q, x_2) \leq [w], \quad (4)$$

где $w(H, q, x_2)$, $[w]$ – значение и предельно допустимое значение прогиба в заданном сечении с абсциссой x_2 , м.

Наряду с этим устанавливается ряд ограничений, вытекающих из физического смысла задачи [12]:

$$H > 0; \quad (5)$$

$$q > 0. \quad (6)$$

Далее запишем все члены, составляющие целевую функцию и накладываемые ограничения.

Функции изгибающего момента и поперечной силы для однопролетной шарнирно закрепленной балки при действии равномерно-распределенной нагрузки на произвольной части пролета имеют вид [13]:

$$M(q, x) = \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot x \cdot (x \geq 0) - q \cdot \frac{\left[x - \left(x_d - \frac{d}{2} \right) \right]^2}{2} \cdot \left(x > x_d - \frac{d}{2} \right) + \quad (7)$$

$$+ q \cdot \frac{\left[x - \left(x_d + \frac{d}{2} \right) \right]^2}{2} \cdot \left(x > x_d + \frac{d}{2} \right);$$

$$Q(q, x) = \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot (x \geq 0) - q \cdot \left[x - \left(x_d - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left(x > x_d - \frac{d}{2} \right) + \quad (8)$$

$$+ q \cdot \left[x - \left(x_d + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left(x > x_d + \frac{d}{2} \right),$$

где d – ширина зоны действия нагрузки, м; c – расстояние от центра зоны действия

нагрузки до опоры B , м; x_d – абсцисса центра зоны действия нагрузки, м.

Функция продольного усилия равна [14]:

$$T(H, q, x) = \sqrt{H^2 + (Q(q, x) + H \cdot tg\beta)^2}. \quad (9)$$

Первоначальная линия очертания гибкой нити с достаточной степенью точности описывается квадратичной функцией [15]:

$$y_0(x) = \frac{4 \cdot f_0}{l^2} \cdot x^2 - \frac{4 \cdot f_0}{l} \cdot x - x \cdot tg\beta, \quad (10)$$

где f_0 – первоначальная стрела провеса по середине пролета, м.

Длина нити в недеформированном состоянии определяется так [15]:

$$L_0 = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} y_0(x) \right)^2} dx. \quad (11)$$

Конечная длина равна [15]:

$$L(H, q) = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{Q(q, x)}{H} + tg\beta \right)^2} dx, \quad (12)$$

где u – жесткость упругоподатливых опор, Н/м.

Для нахождения упругопластического удлинения гибкой нити, возникающего под действием приложенной нагрузки, воспользуемся аграммой одноосного деформирования материала, представленной на рисунке 2 [16].

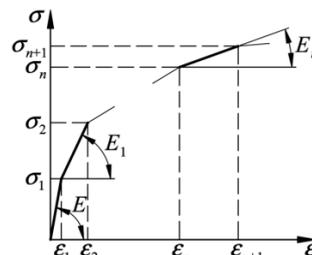


Рис. 2. Диаграмма деформирования

Выражение по определению упругопластического удлинения получено в ранее опубликованных работах [8]:

$$\Delta L(H, q) = \begin{cases} \frac{\sigma(H, q) \cdot L_0}{E} \text{ при } \sigma(H, q) < \sigma_1; \\ L_0 \cdot \left(\frac{\sigma(H, q) - \sigma_1}{E_1} + \varepsilon_1 \right) \text{ при } \sigma_1 \leq \sigma(H, q) < \sigma_2; \\ \dots \\ L_0 \cdot \left(\frac{\sigma(H, q) - \sigma_n}{E_n} + \varepsilon_n \right) \text{ при } \sigma_n \leq \sigma(H, q) < \sigma_{n+1}, \end{cases} \quad (13)$$

где E_n – модуль упрочнения материала на n -м сегменте диаграммы деформирования, Па; $\sigma_n, \sigma_{n+1}, \varepsilon_n, \varepsilon_{n+1}$ – значения напряжений и относительных деформаций основных параметрических точек.

Модуль упрочнения материала на n -м сегменте диаграммы деформирования определяется по уравнению [17]:

$$E_n = \frac{\sigma_{n+1} - \sigma_n}{\varepsilon_{n+1} - \varepsilon_n}. \quad (14)$$

Линия равновесия гибкой нити в деформированном состоянии описывается функцией [8]:

$$y(H, q, x) = \frac{M(q, x)}{H} + x \cdot tg\beta. \quad (15)$$

Из рисунка 1 видно, что прогиб в произвольном сечении гибкой нити равен разности соответствующих ординат конечной и начальной линий равновесия:

$$w(H, q, x) = y(H, q, x) - y_0(x). \quad (16)$$

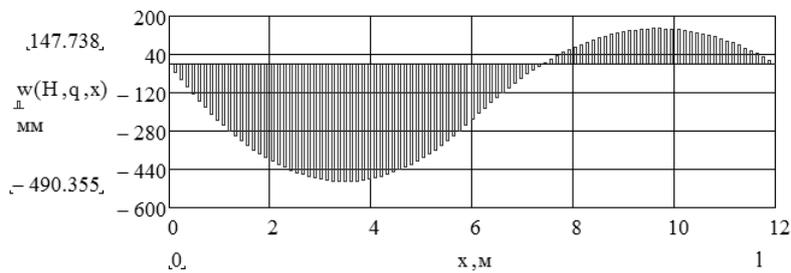
Для апробации предложенной методики рассмотрим ряд тестовых задач, сравнив результаты, полученные в ходе решения общепризнанным методом конечных элементов (МКЭ) и разработанной технологией моделирования.

На первом этапе выполним по предложенной методике численное решение задачи для гибкой нити площадью поперечного сечения $A=3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ с первоначальной стрелой провеса $f_0=1 \text{ м}$ в середине пролета $l=12 \text{ м}$,

закрепленной на упругоподатливых опорах с жесткостью $u=5 \text{ МН/м}$. Хорда, соединяющая точки крепления, расположена под углом к горизонту $\beta=7 \text{ град}$. Материал нити упругопластический, заданный диаграммой одноосного деформирования со значениями основных параметрических точек: $\varepsilon_1=0,0019, \sigma_1=400 \text{ МПа}$, $\varepsilon_2=0,015, \sigma_2=800 \text{ МПа}$. Допустимое напряжение материала $[\sigma]=700 \text{ МПа}$ в максимально нагруженном сечении $x_1=0 \text{ м}$ над опорой А. Предполагается, что равномерно распределенная нагрузка q действует на левой половине пролета $d=6 \text{ м}$, $x_d=3 \text{ м}$.

Необходимо найти значение предельной нагрузки q , исходя из заданных геометрических и физических параметров, а также определить НДС гибкой нити.

а)



б)

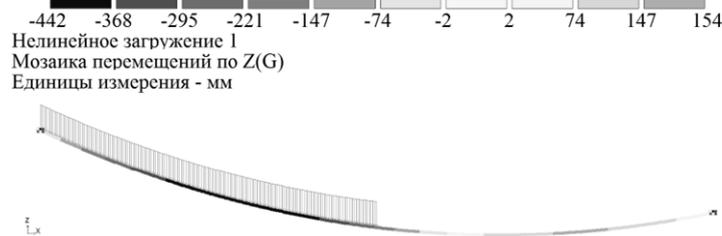
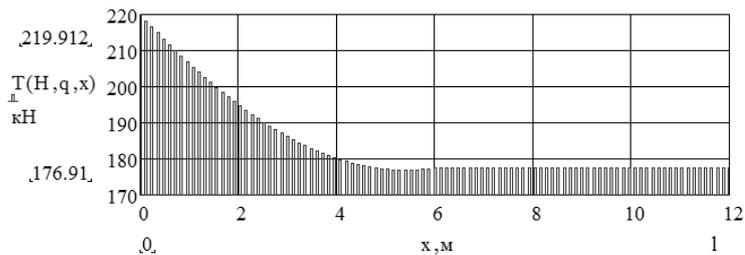


Рис. 3. Распределение вертикальных перемещений:

а – предложенная методика; б – метод конечных элементов

а)



б)

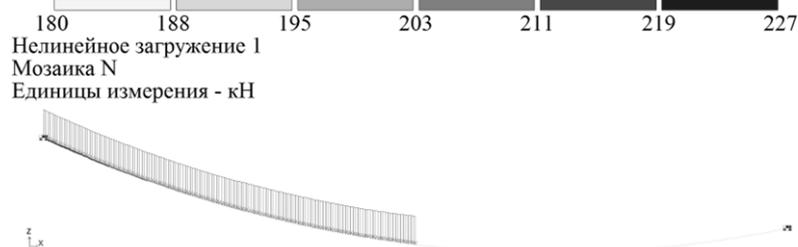


Рис. 4. Распределение продольного усилия:

а – предложенная методика; б – метод конечных элементов

В ходе численного моделирования по предложенной методике получено значение предельной нагрузки $q=24,202 \text{ кН/м}$. На рисунках 3а и 4а

представлены результаты определения НДС в графическом виде посредством эпюр распределения вертикальных перемещений и продольного

усилия по длине гибкой нити. Вместе с тем следует отметить, что при заданной площади поперечного сечения и полученном значении продольного усилия в сечении над опорой А напряжения составили заданную допустимую величину.

В роли коммерческой системы компьютерного моделирования выбран программный комплекс ЛИРА-САПР 2015 R4, позволяющий решать нелинейные задачи. Моделирование гибкой нити в программном комплексе велось с помощью 300 универсальных пространственных стержневых конечных элементов с учетом физической и геометрической нелинейности типа

410. Упругоподатливые опоры задавались одноузловыми конечными элементами упругой связи по направлению глобальной оси X типа 51. Расчет велся методом с автоматическим выбором шага для геометрически и физически нелинейных задач. В результате моделирования получены мозаики распределения вертикальных перемещений и продольного усилия, представленные на рисунках 3б и 4б соответственно.

Сведем в таблицу принятые критерии оценки, полученные в результате моделирования предложенной методикой и МКЭ.

Таблица

Сопоставление результатов моделирования

Критерий оценки	Предложенная методика	МКЭ	Расхождение значений, %
Максимальное продольное усилие, кН	219,912	227	3,12
Минимальное продольное усилие, кН	176,91	180	1,72
Максимальный прогиб, мм	-490,355	-442	9,86
Максимальный подъем, мм	147,738	154	4,07

Из таблицы видно, что значения, полученные с помощью предложенной последовательности действий по определению НДС гибкой нити и ее несущей способности, согласуются с величинами усилий и перемещений, найденными с помощью МКЭ. Их расхождение не превышает 10%, что является хорошим показателем для инженерных расчетов.

Заключение

В данном исследовании предложена методика численного моделирования, позволяющая

определять предельные нагрузки на гибкие нити, исходя из условий прочности и жесткости, с учетом развития пластических деформаций в материале путем решения задачи условной оптимизации [19].

Проведена оценка адекватности результатов, получаемых с помощью разработанной методики, посредством выполнения тестовых задач и сопоставления с данными, полученными общепринятым методом конечных элементов.

Список литературы

1. Якубсон В. М. Обследование зданий и сооружений: наука и практика / В. М. Якубсон // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 7(33). – С. 3–4. – EDN PHGQNR.
2. Ломтев И. А. Этапы и проблемы при обследовании жилых зданий и сооружений / И. А. Ломтев // Наука и инновации в строительстве : сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова), Белгород, 17 апреля 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 300–305. – EDN YTKHQ7.
3. Снегирев, А. И. К вопросу обследования строительных конструкций, зданий и сооружений / А. И. Снегирева, В. Г. Мурашкин // Эксперт: теория и практика. 2021. – № 6(15). – С. 45–51. – DOI 10.51608/26867818_2021_6_45. – EDN JKHDNA.
4. Тарасов Д. А. Исследование влияния пластических деформаций при моделировании напряженно-деформированного состояния гибкой нити / Д. А. Тарасов, А. В. Липов, А. М. Ирышков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 1(33). – С. 98–110. – DOI 10.21685/2227-8486-2020-1-8. – EDN UPNSKH.
5. Александров А. С. Определение первой критической нагрузки для дорожных конструкций / А. С. Александров, А. Л. Калинин, Т. В. Семенова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 1(86). – С. 116–131. – EDN FMCMMZ.
6. Тарасов Д. А. Комплекс программ моделирования напряженно-деформированного состояния стальных канатов / Д. А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12(16). – С. 114–120. – EDN RXKIEH.
7. Тарасов Д. А. Комплекс программ моделирования работы стальных канатов при действии поперечной динамической нагрузки / Д. А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 2(24). – С. 48–55. – EDN TYVZGT.
8. Mathematical modeling of the stress-strain state of flexible threads with regard to plastic deformations / D. Tarasov, V. Konovalov, V. Zaitsev, Y. Rodionov // Journal of Physics: Conference Series : 4, Tambov, 15–17 ноября 2017 года. – Tambov, 2018. – Pp. 012008. – DOI 10.1088/1742-6596/1084/1/012008. – EDN NHMMBV.
9. Тарасов Д. А. Математическое моделирование работы нитей конечной жесткости при ударном воздействии / Д. А. Тарасов, В. В. Волков, Е. А. Аксенова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 4(56). – С. 113–116. – DOI 10.46548/21vek-2021-1056-0023. – EDN LHAPPP.

10. Тарасов Д. А. Параметрическая оптимизация стальных канатов при действии поперечного удара / Д. А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 2(24). – С. 56–62. – EDN TYVZHD.
11. Определение области несущей способности гибкой нити при действии поперечного удара / Д. А. Тарасов, В. В. Коновалов, А. Л. Данилов, А. И. Бобылев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 2(54). – С. 40–43. – DOI 10.46548/21vek-2021-1054-0007. – EDN FKUILU.
12. Аннин Б. Д. Определение предельных состояний упругопластических тел / Б. Д. Аннин, В. В. Алехин, С. Н. Коробейников // Прикладная механика и техническая физика. – 2000. – Т. 41, № 5(243). – С. 196–204. – EDN ONTIND.
13. Тарасов Д. А. Алгоритм моделирования напряженно-деформированного состояния изгибно-жестких нитей / Д. А. Тарасов, Н. Ю. Митрохина, Е. В. Маньченкова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 1(41). – С. 82–93. – DOI 10.21685/2227-8486-2022-1-9. – EDN GILUNU.
14. Оценка влияния конструктивной нелинейности при моделировании работы гибкой нити / Д. А. Тарасов, Г. С. Большаков, В. В. Коновалов, А. М. Ирышков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2020. – Т. 9, № 2(50). – С. 117–123. – DOI 10.46548/21vek-2020-0950-0022. – EDN GTMCZR.
15. Тарасов Д. А. Математическое моделирование работы нитей конечной жесткости при ударном воздействии / Д. А. Тарасов, В. В. Волков, Е. А. Аксенова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 4(56). – С. 113–116. – DOI 10.46548/21vek-2021-1056-0023. – EDN LHAPPP.
16. Зернов В. В. Определение критической нагрузки для стропильных ферм в упругой и упругопластической стадиях работы / В. В. Зернов, М. Б. Зайцев, Н. Н. Ласьков // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 4. – С. 85–89. – EDN TFQFNL.
17. Исаков Е. Г. Расчет предельных нагрузок и остаточных напряжений в элементах конструкций / Е. Г. Исаков, А. О. Корольков, А. Н. Литвинов // Надежность и качество : труды Международного симпозиума. – 2018. – Т. 1. – С. 162–165. – EDN YAFHTV.
18. Серазутдинов М. Н. Оценка границ предельной нагрузки для тонкостенных конструкций / М. Н. Серазутдинов // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 12. – С. 159–164. – EDN YVSYWL.
19. Георгиев Н. Г. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций / Н. Г. Георгиев, К. А. Шумилов, А. А. Семенов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4(38). – С. 117–123. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-117-123. – EDN ZPSGJ.

© Д. А. Тарасов

Ссылка для цитирования:

Тарасов Д. А. Численная оценка предельных нагрузок для гибких нитей в упругопластическом состоянии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (42). С. 10–15.

УДК 69.036.2; 691.316
DOI 10.52684/2312-3702-2022-42-4-15-22

**АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

А. В. Исанова, Е. Д. Кретова, Д. А. Драпалюк, Н. А. Драпалюк

Исанова Анна Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7-906-677-97-73; e-mail: a.isanova@bk.ru;

Кретова Екатерина Дмитриевна, магистрант, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7-980-341-66-49; e-mail: shiroi.kretova@yandex.ru;

Драпалюк Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7-950-750-38-13; e-mail: drapaluyk@yandex.ru;

Драпалюк Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7-903-858-25-60; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

В статье рассмотрены два варианта снижения теплопотерь зданий: использование методов архитектурно-планировочной организации пространства и применение современной аэрогелевой теплоизоляции. Подобные пассивные в ежедневном использовании и обслуживании решения способствуют снижению расхода энергетических ресурсов на обеспечения требуемых характеристик микроклимата. В работе приведено сравнение теплопотерь здания заданного строительного объема, имеющего в первом случае несколько вариантов объемно-планировочного решения, а во втором – разные типы ограждающих конструкций. На основе анализа были описаны индивидуальные