

7. Тишков, Н. Л. Оптимальное усилие предварительного напряжения болтов во фланцевом стыке / Н.Л. Тишков, А.Н. Степаненко, А.В. Белов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 1 (31). С. 8-11.
8. Тишков, Н. Л. Действительное (абсолютное) удлинение растянутого болта / Н. Л. Тишков, А. Н. Степаненко, А. В. Белов, А. А. Иодчик // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1 (35). – С. 8–11.
9. Металлические конструкции : учеб. для вузов / под ред. Ю. И. Кудишина. – М. : Академия, 2007. – С. 73.
10. Чарикова, И. Н. Математическое моделирование при проектировании балочной площадки / И. Н. Чарикова, М. Н. Шевченко // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сборник материалов Международной научной конференции / отв. ред. Т. И. Квитка, И. П. Молчанова. – Москва, 2015. – С. 335–340.
11. Медведев, А. В. Механизмы усталостного разрушения сварных соединений / А. В. Медведев, Н. Ю. Филимонов // Техника и технология современных производств : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2019. – С. 67–74.
12. Марутян, А. С. Разработка и исследование управляемых металлических конструкций нового поколения / А. С. Марутян // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – № 5 (238). – С. 75–83.

© А. В. Белов, А. Н. Степаненко

Ссылка для цитирования:

Белов А. В., Степаненко А. Н. О напряженном состоянии элементов балки коробчатого сечения вблизи стыка с наклонным фланцем // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 2 (40). С. 14–19.

УДК 624.071.22:531.62

DOI 10.52684/2312-3702-2022-40-2-19-23

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНОГО УДАРА

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

Объектом исследования выступают основные силовые элементы, обеспечивающие при кратковременном динамическом воздействии общую прочность конструкции таких механических систем, как противотаранные устройства. Предметом исследования является методика моделирования напряженно-деформированного состояния рассматриваемых элементов, учитывающая упругопластическую работу материала. Основана на положениях сопротивления материалов, математического моделирования, закона сохранения энергии, а также аппарате интегрального и дифференциального исчисления функций одной или нескольких переменных. Дает возможность определять истинное распределение напряжений и деформаций по длине изгибаемых элементов, вызванное поперечным ударом с учетом реальных свойств материала. Может найти применение на этапе проектирования противотаранных устройств, выполненных в виде шлагбаума.

Ключевые слова: изгибаемый элемент, удар, пластические деформации, физическая нелинейность, напряжения, перемещения, прогибы.

NUMERICAL SIMULATION OF THE OPERATION OF BENDING ELEMENTS IN THE ELASTIC-PLASTIC REGION UNDER THE ACTION OF A TRANSVERSAL IMPACT

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

The object of the study is the main power elements that provide, with a short-term dynamic impact, the overall structural strength of such mechanical systems as anti-ram devices. The subject of the study is a technique for modeling the stress-strain state of the elements under consideration, taking into account the elastic-plastic work of the material. It is based on the provisions of the strength of materials, mathematical modeling, the law of conservation of energy, as well as the apparatus of integral and differential calculation of functions of one or more variables. It makes it possible to determine the true distribution of stresses and deformations along the length of the bent elements caused by transverse impact, taking into account the real properties of the material. It can be used at the design stage of anti-ram devices made in the form of a barrier.

Keywords: bending element, impact, plastic deformations, physical nonlinearity, stresses, deflections.

Введение

Для обеспечения защиты транспортных проездов, а также контрольно-пропускных пунктов особо важных объектов, таких как атомные электростанции, аэропорты, объекты инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта, предприятия с опасными производствами, используют противотаранные устройства, различного конструктивного исполнения

[1, 2]. Применение данных устройств является обязательным компонентом комплекса мер по физической защите объектов, повреждение которых в результате таранного удара транспортным средством может нанести значительный ущерб в масштабах всей страны [3].

Наиболее широко внедрение на действующих объектах нашли противотаранные устрой-

ства, выполненные в виде шлагбаумов. Неотъемлемой частью любого шлагбаума помимо двух опор является стрела, представляющая собой конструктивный элемент, непосредственно перекрывающий проезд и в случае таранного удара транспортным средством, первым воспринимающий динамическую нагрузку [4–6].

В настоящее время с целью подтверждения заявленной производителем степени устойчивости к таранному удару проводят натурные испытания противотаранных устройств методом «краш-тестов» [7]. Данные мероприятия являются дорогостоящими и материально затратными, поэтому их применение не оправдано на начальных этапах вариантного конструирования и разработки подобных устройств [8, 9]. В связи с этим становится актуальной задача по созданию методики расчета основных конструктивных элементов рассматриваемых изделий с возможностью ее дальнейшего использования на этапе принятия компоновочных решений.

Материалы и методы

Для реализации поставленной задачи рассмотрим представленный на рисунке 1 изгибаемый элемент прямоугольного коробчатого поперечного сечения высотой H , шириной B с толщиной стенки h пролетом l с шарнирными опорами на концах. В результате поперечного удара горизонтально движущимся со скоростью v телом массой m в первоначально прямолинейном элементе возникают прогибы $y(q, x)$. В параметры функции прогибов добавлена равномерно-распределенная нагрузка q , являющаяся эквивалентом силы инерции, поскольку не известно время соударения, а, следовательно, и значение самой силы инерции [10–12].

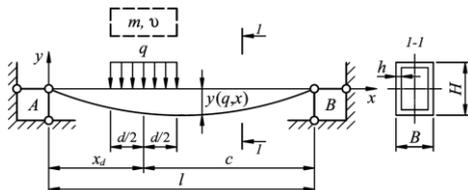


Рис. 1. Расчетная модель изгибаемого элемента

Предположим, что энергия, которой обладает движущееся тело до момента полной остановки в процессе удара, полностью переходит в работу по перемещению рассматриваемого элемента возникающей силой инерции [13]:

$$\Delta \left(\frac{m \cdot v^2}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \int_{x_d - \frac{d}{2}}^{x_d + \frac{d}{2}} y(q, x) dx' \quad (1)$$

где m – масса ударяющего тела, кг; v – скорость ударяющего тела, м/с; q – поперечная равномерно-распределенная нагрузка, являющаяся эквивалентом силы инерции, Н/м; x_d – абсцисса центра зоны соударения, м; d – ширина зоны соударения, м; $y(q, x)$ – функция прогиба, м; x – текущая абсцисса ($0 \leq x \leq l$), м; l – пролет, м.

При расчете статически определимых изгибаемых элементов независимо от вида возникающих в них деформаций, будь то упругих, либо упругопластических, внутренние усилия находят методом сечений по формулам [16, 17]:

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

$$Q(q, x) = \frac{q \cdot d \cdot c}{l} \cdot (x \geq 0) - q \cdot \left[x - \left(x_d - \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left(x > x_d - \frac{d}{2} \right) + q \cdot \left[x - \left(x_d + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot \left(x > x_d + \frac{d}{2} \right), \quad (3)$$

где c – расстояние от центра зоны соударения до опоры B , м.

Из условия эквивалентности напряжений и внутренних усилий запишем уравнение по определению напряжений в верхних и нижних волокнах изгибаемого элемента [14]:

$$\sigma(q, x) = \frac{M(q, x)}{\frac{H}{2} \cdot 2 \cdot \int_0^{\frac{H}{2}} b(y) \cdot y dy}, \quad (4)$$

где для прямоугольного коробчатого поперечного сечения:

$$b(y) = \begin{cases} B & \text{при } y \geq \frac{H}{2} - h \\ 2 \cdot h & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad (5)$$

где y – координата по высоте поперечного сечения изгибаемого элемента, м; H – высота коробчатого поперечного сечения, м; B – ширина поперечного сечения, м; h – толщина стенки сечения, м.

Между напряжениями и относительными деформациями в упругой и упругопластической областях работы материала существует функциональная зависимость. Данная зависимость принята в виде кусочно-линейной диаграммы деформирования и представлена на рисунке 2. Запишем ее в математическом виде [15]:

$$\sigma = \begin{cases} E \cdot \varepsilon & \text{при } 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1; \\ \sigma_1 + E_1 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_1) & \text{при } \varepsilon_1 < \varepsilon \leq \varepsilon_2; \\ \dots & \dots \\ \sigma_n + E_n \cdot (\varepsilon - \varepsilon_n) & \text{при } \varepsilon_n < \varepsilon \leq \varepsilon_{n+1}, \end{cases} \quad (6)$$

где E_n – модуль упрочнения материала на n -м сегменте диаграммы деформирования, Па.

Модуль упрочнения материала на n -м сегменте диаграммы деформирования можно определить из уравнения [15]:

$$E_n = \frac{\sigma_{n+1} - \sigma_n}{\varepsilon_{n+1} - \varepsilon_n}, \quad (7)$$

где $\sigma_n, \sigma_{n+1}, \varepsilon_n, \varepsilon_{n+1}$ – значения напряжений и относительных деформаций основных параметрических точек диаграммы деформирования.

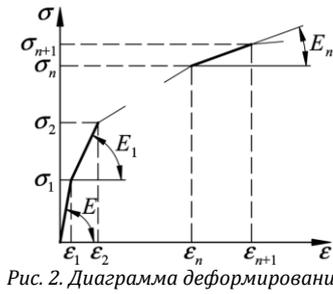


Рис. 2. Диаграмма деформирования

В свою очередь относительные деформации продольных волокон по высоте поперечного сечения от нейтральной оси определяются так [14]:

$$\varepsilon = \frac{y}{\rho}, \quad (8)$$

где ρ – радиус кривизны для координаты рассматриваемого поперечного сечения по длине изгибаемого элемента, м.

Из уравнения (8) выразим величину обратную радиусу кривизны через относительные деформации для крайних волокон поперечного сечения. В результате преобразований получим:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2 \cdot \varepsilon}{H}. \quad (9)$$

Из курса дифференциальной геометрии известно, что кривизна плоской кривой является обратной величиной радиуса кривизны и определяется по выражению:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2}{dx^2} y(x)}{\left(1 + \left(\frac{d}{dx} y(x)\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}. \quad (10)$$

Приравняв правые части уравнений (9) и (10), а также добавив в параметры функций инерционную нагрузку q , получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{2 \cdot \varepsilon(q, x)}{H} = \frac{\frac{d^2}{dx^2} y(q, x)}{\left(1 + \left(\frac{d}{dx} y(q, x)\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}. \quad (11)$$

Из выражения (6) найдем относительные деформации:

$$\varepsilon(q, x) = \begin{cases} \frac{\sigma(q, x)}{E} & \text{при } 0 \leq \sigma(q, x) \leq \sigma_1; \\ \frac{\sigma(q, x) - \sigma_1 + E_1 \cdot \varepsilon_1}{E_1} & \text{при } \sigma_1 < \sigma(q, x) \leq \sigma_2; \\ \dots & \dots \\ \frac{\sigma(q, x) - \sigma_n + E_n \cdot \varepsilon_n}{E_n} & \text{при } \sigma_n < \sigma(q, x) \leq \sigma_{n+1} \end{cases} \quad (12)$$

Дифференциальное уравнение (11) с заданными граничными условиями $y(q, 0) = 0$ и $y(q, l) = 0$ не будет иметь решения относительно прогибов только до тех пор, пока не известна инерционная нагрузка q . В первом приближении значение данной нагрузки можно принимать равное величине веса ударяющего тела. Расчет ведется методом последовательных приближений [19, 20], и итерационный процесс заканчивается только тогда, когда условие сохранения энергии (1) выполняется [18].

На рисунке 3 представлена в виде алгоритма общая последовательность действий при моделировании работы изгибаемого элемента с учетом развития пластических деформаций в материале при ударном воздействии.

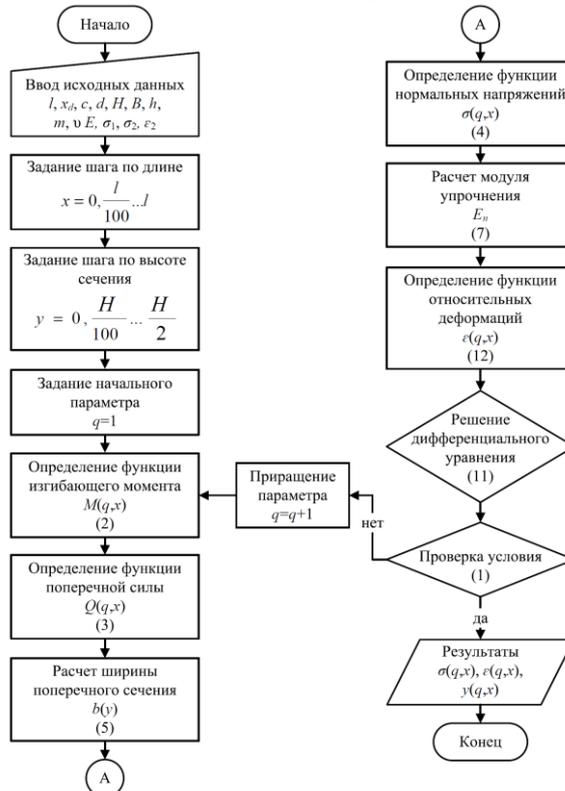


Рис. 3. Алгоритм моделирования работы изгибаемого элемента

В качестве примера применения предложенной методики моделирования рассмотрим задачу с исходными данными: ополетная шарнирно опертая балка сечением $H = 300$ мм, $B = 200$ мм, $h = 12$ мм испытывает горизонтальный поперечный удар по середине $x_d = 3$ м пролета $l = 6$ м телом массой $m = 7$ т, движущимся со скоростью $v = 20$ км/ч. При этом ширина зоны соударения составила $d = 1$ м. Балка выполнена из материала с модулем упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, условным пределом текучести $\sigma_1 = 240$ МПа, временным сопротивлением $\sigma_2 = 360$ МПа и относительным удлинением после разрыва $\varepsilon_2 = 0,1$.

В процессе моделирования получено значение равномерно-распределенной нагрузки, являющейся статическим эквивалентом силы инерции, которая возникает в процессе удара. Оно составило $q = 269,5$ кН/м.

На рисунках 4–6 в графическом виде отражены результаты моделирования работы изгибаемого элемента с заданными физическими и геометрическими параметрами при кратковременном динамическом воздействии. Представленные эпюры, показывают распределение максимальных нормальных напряжений и относительных деформаций в крайних волокнах сечений, а также прогибов в зависимости от значения абсциссы пролета рассматриваемого элемента.

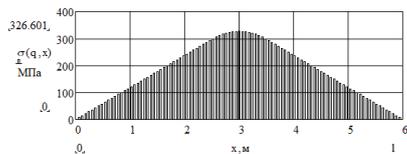


Рис. 4. Эпюра нормальных напряжений

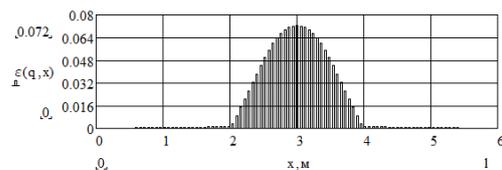


Рис. 5. Эпюра относительных деформаций

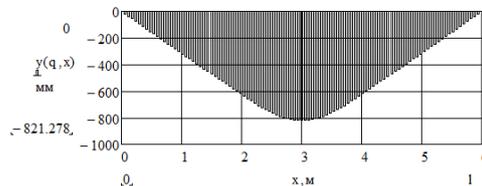


Рис. 6. Эпюра прогибов

Из рисунка 5 видно, что пластические деформации в поперечных сечениях при заданных исходных данных приведенного примера присутствуют только на участке с координатами от 2 до 4 м по длине элемента.

Заключение

Предложена методика по моделированию напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов при действии поперечного удара с учетом развития пластических деформаций в материале. Данная методика может найти применение на этапе проектирования таких механических систем, как противотаранные устройства шлагбаумного типа при расчете основных силовых элементов, обеспечивающих общую прочность конструкции. Приведен пример, демонстрирующий результаты моделирования по предложенной методике.

Список литературы

1. Патент № 2694376 С1 Российская Федерация, МПК E06B 3/46, E06B 5/10, E06B 11/02. Противотаранные откатные ворота : № 2019102145 : заявл. 24.12.2018 : опубл. 12.07.2019 / А. А. Кодоров, Д. А. Тарасов, Г. С. Большаков [и др.] ; заявитель Центр специальных инженерных сооружений научно-исследовательского и конструкторского института радиоэлектронной техники.
2. Патент № 2621774 Российская Федерация, МПК E01F 13/10. Противотаранный барьер : № 2015145382 : заявл. 21.10.2015 : опубл. 07.06.2017 / Д. А. Тарасов, П. А. Косяков, Н. А. Шалашилин, О. Л. Шаповал ; заявитель Центр специальных инженерных сооружений научно-исследовательского и конструкторского института радиоэлектронной техники.
3. Анализ динамического поведения мобильного ограждения на основе модели механической цепи / Д. А. Тарасов, Г. С. Большаков, В. В. Волков, Е. А. Аксенова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 3 (55). – С. 77–80. – DOI 10.46548/21vek-2021-1055-0014.
4. Демьянушко, И. В. Моделирование наезда автомобиля на стойку дорожного ограждения / И. В. Демьянушко, И. А. Карпов // Транспортное строительство. – 2013. – № 10. – С. 16–19.
5. 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.
6. 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.
7. Елисеев, В. В. Деформация и пластическое разрушение балок дорожного ограждения при наезде автомобиля / В. В. Елисеев, Е. А. Оборин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 1 (67). – С. 9–11.
8. 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.
9. Елисеев, В. В. Моделирование и расчет противотаранного шлагбаума / В. В. Елисеев, Е. А. Оборин // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 351–357.
10. Использование виртуального эксперимента для определения технических параметров боковых удерживающих дорожных ограждений / И. В. Демьянушко, И. А. Карпов, Б. Т. Тавшавадзе, А. О. Крылов // Транспортное строительство. – 2017. – № 6. – С. 5–8.
11. Mathematical modeling of deformations of flexible threads under their dynamic loading in the zone of material plasticity / D. Tarasov, V. Kononov, V. Zaitsev, Y. Rodionov // Journal of Physics: Conference Series (Tambov, 14–16 ноября 2018 г.). – Tambov, 2019. – P. 012014. – DOI 10.1088/1742-6596/1278/1/012014.
12. Mathematical modeling of the stress-strain state of flexible threads with regard to plastic deformations / D. Tarasov, V. Kononov, V. Zaitsev, Y. Rodionov // Journal of Physics: Conference Series (Tambov, 15–17 ноября 2017 г.). – Tambov, 2018. – P. 012008. – DOI 10.1088/1742-6596/1084/1/012008.
13. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния гибкой нити при действии поперечного удара / В. В. Коновалов, Д. А. Тарасов, В. Ю. Зайцев, Ю. В. Родионов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : труды XXI Международной конференции (г. Самара, 3–6 сентября 2019 г.) : в 2 т. / под редакцией С. А. Никитова, Д. Е. Быкова, С. Ю. Боровика, Ю. Э. Плешивцевой. – Самара : Офорт, 2019. – С. 313–317.

14. Валиуллин, А. Х. Упругопластический изгиб балки / А. Х. Валиуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 21. – С. 221–224.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Прокопьев, В. И. Оценка точности решения краевой задачи для дифференциального уравнения прогиба балки методом конечных разностей / В. И. Прокопьев, П. Э. Стурник // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Сер. Механика предельного состояния. – 2021. – № 4 (50). – С. 53–58. – DOI 10.37972/chgpu.2021.50.4.009.
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 ZPSGCI.
20. Гусев, С. С. Численная реализация метода оптимизации для нахождения оптимального управления процессом нагрева диска / С. С. Гусев, Е. Ф. Анисимов, // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 107–113. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-107-113. – EDN XYCQMT.

© Д. А. Тарасов

Ссылка для цитирования:

Тарасов Д. А. Численное моделирование работы изгибаемых элементов в упругопластической области при действии поперечного удара // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 2 (40). С. 19–23.

УДК 696.42
DOI 10.52684/2312-3702-2022-40-2-23-28

**АПРОБАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ,
ВЫПОЛНЕННОЙ НА БАЗЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СТАЛАГМОМЕТРА,
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ
В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

С. П. Прокин, В. Я. Свинцов, Р. В. Муканов, Ю. А. Аляутдинова

Прокин Сергей Владимирович, магистрант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(927)281-17-93; e-mail: prosev606@yandex.ru;

Свинцов Владимир Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(917)186-86-43; e-mail: vladimir_svintsov@mail.ru;

Муканов Руслан Владимирович, старший преподаватель кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(917)186-86-43; e-mail: rvmukanov@mail.ru;

Аляутдинова Юлия Амировна, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7(917)186-86-43; e-mail: alautd@mail.ru

Сокращение ресурсов и повышение потребления топливных ископаемых ставит перед научно-техническим сообществом ряд вопросов. Один из них – повышение эффективности процессов горения в различного рода теплогенерирующих установках. Традиционным видом энергетических ресурсов является жидкое топливо, примером которого служит товарный мазут разных марок. Важным параметром, от которого напрямую зависит эффективность горения жидкого топлива, является однородность и степень дисперсности образующегося при диспергировании факела распыла из частиц жидкого топлива. Одним из перспективных методов, позволяющим получить оптимальные параметры образующегося жидкого топлива факела распыла является диспергирование с использованием энергии высокопотенциального электростатического поля (электростатическое диспергирование). В статье представлена информация по экспериментальным исследованиям процесса диспергирования модельной жидкости в высоковольтном электростатическом поле на разработанной авторами экспериментальной установке.

Ключевые слова: диспергирование, дисперсность частиц, модернизированный сталагмометр, высоковольтное электростатическое поле, напряжение.

**APPROBATION OF THE EXPERIMENTAL SETUP PERFORMED
ON THE BASIS OF THE MODERNIZED STALAGMOMETER AS APPLIED
TO THE STUDY OF THE DISPERSION PROCESS IN A HIGH-VOLTAGE ELECTROSTATIC FIELD**

S. P. Prokin, V. Ya. Svintsov, R. V. Mukanov, Yu. A. Alyautdinova

Prokin Sergey Vladimirovich, Master student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: +7(927)281-17-93; e-mail: prosev606@yandex.ru;