

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 62-408

doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-20-26

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАПСУЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛ УДОБРЕНИЙ В АППАРАТЕ БАРАБАННОГО ТИПА

Шамама Гаджибала кызы Мамедова^{1✉}, Гусейн Алескер оглы Карамамедов²

^{1,2} Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Республика Азербайджан

¹ samama-mamedova@mail.ru

² huseyn.qaramamedov@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен вопрос моделирования процесса капсулирования гранул удобрений в аппарате барабанного типа.

Объектом исследования взяли товарную фракцию гранул суперфосфата с диаметром 2 мм. Установлено, что процесс капсулирования гранул удобрений происходит в двух этапах. В первом этапе осуществляется процесс покрытия гранул суперфосфата с 15 %-ным раствором калийкарбоксиметилцеллюлозой.

Во втором этапе осуществляется сушка капсулированных гранул.

С использованием взаимосвязи между основным параметром написано уравнение движения капсулированных гранул по поперечной и переменной траекториям. На основе закона теплообмена составлены балансовое уравнение, математическая модель процесса и алгоритм расчета. Полученное уравнение используется в различных сферах народного хозяйства.

Ключевые слова: процесс, капсулирование, гранулы, удобрения, аппарат, теплоноситель, теплота, нагревание, угол охвата.

Ссылка для цитирования:

Мамедова Ш.Г. Моделирование процесса капсулирования гранул удобрений в аппарате барабанного типа / Ш.Г. Мамедова, Г.А. Карамамедов // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 1. – С.20-26. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-20-26.

Original article

Open Access Article

SIMULATION OF FERTILIZER GRANULES ENCAPSULATING IN A DRUM-TYPE APPARATUS

Shamama Hajibala gazy Mamedova^{1✉}, Huseyn Alesker ogly Karamamedov²

^{1,2} Sumgayit State University, Sumgayit, Republic of Azerbaijan

¹ samama-mamedova@mail.ru

² huseyn.qaramamedov@mail.ru

Abstract

The problem of modeling fertilizer granules encapsulation in a drum-type apparatus is considered.

The object of the study is a commodity fraction of superphosphate granules with 2 mm diameter. It is found out that fertilizer granules are encapsulated in two stages. In the first stage, superphosphate granules are covered with 15% solution of potassium carboxymethyl cellulose.

In the second stage, the encapsulated granules are dried.

Using the relationship between the main parameter, the equation of encapsulated granules motion along transverse and variable paths is written. Based on the law of heat transfer, a balance equation, a mathematical model of the process and a calculation algorithm are made. The resulting equation is used in various spheres of national economy.

Keywords: process, encapsulation, granules, fertilizers, apparatus, coolant, heat, heating, angle of contact.

Reference for citing:

Mamedova ShG, Karamamedov HA. Simulation of fertilizer granules encapsulating of in a drum-type apparatus. *Transport Engineering*. 2024;1:20-26. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-20-26.

Введение

Известно, что для непрерывного обеспечения питательными элементами в период вегетации нужно регулировать усваивание питательных элементов удобрениями растениями. Одним из наиболее экономичных способов непрерывного обеспечения и регулирования усваивания является капсулирование гранул биоразлагаемыми полимерами в аппаратах барабанного типа. При этом формирование толщины капсулы и сушка гранул происходят в сложных технологических услови-

ях. Для управления процессом необходима его математическая модель.

Целью статьи является моделирование процесса капсулирования гранул удобрений в аппаратах барабанного типа.

Постановка и решение задачи. В качестве объекта использовали товарное суперфосфатное удобрение диаметром 2 мм, изготовленное по ГОСТ 5956-78, опыты проводили на лабораторной установке, представленной на рис.1.

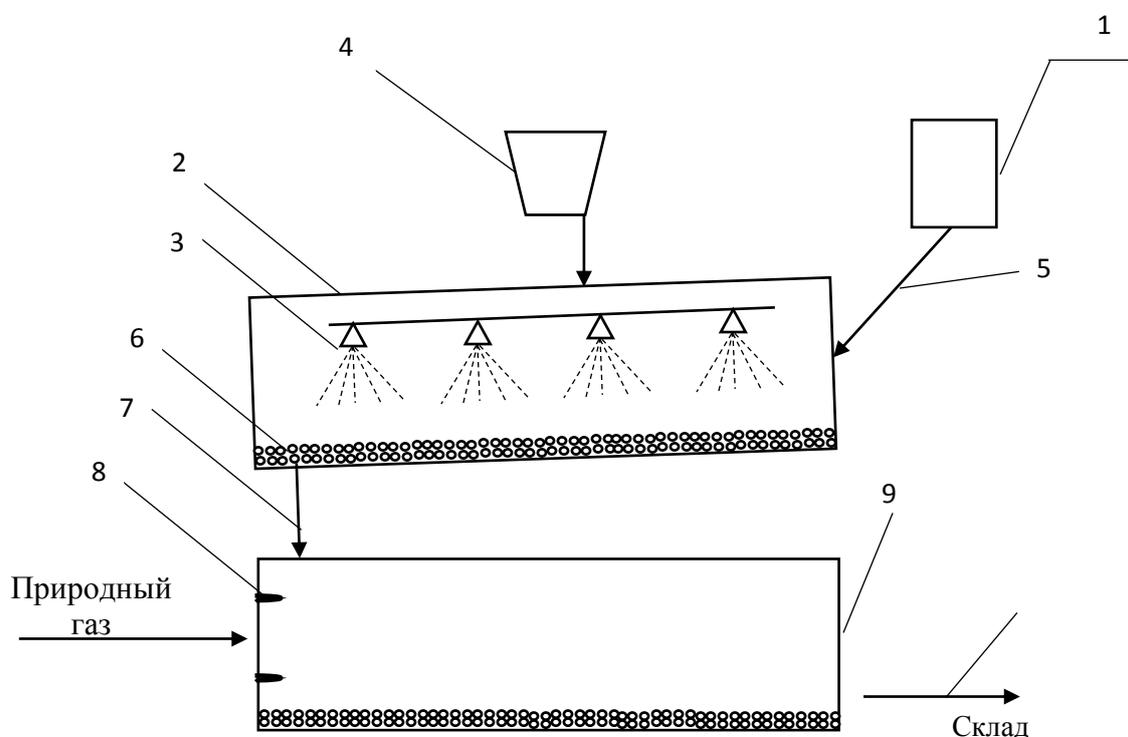


Рис. 1. Схема капсулирующего и сушильного барабана:
1 – емкость для зерен суперфосфата; 2 – капсулирующий барабан; 3 – пневматический распылитель; 4 – емкость для полимерного раствора; 5-7 – направляющие каналы; 8 – газовые горелки; 9 – сушильный барабан; 10 – конвейерная лента; 11 – природный газ

Fig. 1. Diagram of encapsulating and drying drum:
1 – container for superphosphate grains; 2 – encapsulating drum; 3 – pneumatic sprayer; 4 – container for polymer solution; 5-7 – guide channels; 8 – gas burners; 9 – drying drum; 10 – conveyor belt; 11 – natural gas

Гранулы суперфосфатного удобрения подаются из емкости 1 через направляющие каналы 7 в барабанный капсулятор – 2. Барабанный капсулятор установлен под

углом 15° и вращается со скоростью 10 оборотов в минуту. Диаметр барабана составляет 1,5 м при длине 7 м.

Изучим процесс капсулирования и опишем их горизонтальное, вертикальное и винтовое перемещения (рис. 2).

Гранулы удобрения, поступающие в барабанный аппарат, принимают объем, ограниченный точками А, В, С. При вра-

щении барабана с угловой скоростью ω гранулы перемещаются и поднимаются до точки А', затем под действием силы тяжести движутся вниз по траектории А'В'С' до точки С' и совершают зигзагообразное движение к выходу из аппарата.

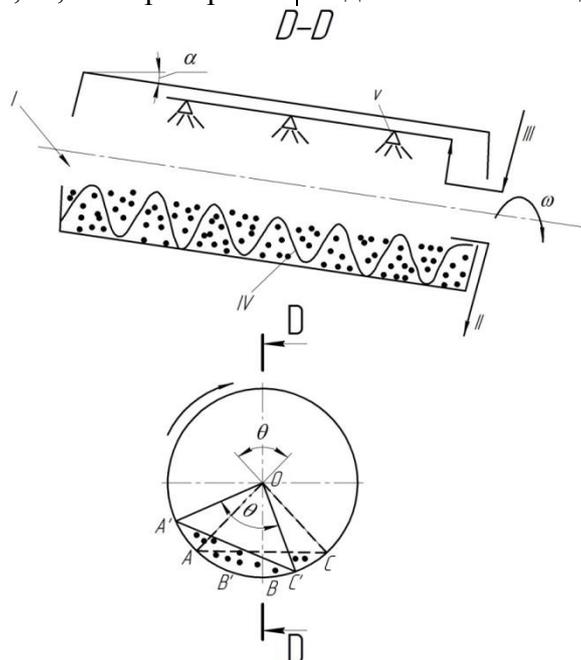


Рис. 2. Процесс в капсулирующем барабанном аппарате

Fig. 2. The process in the encapsulating drum apparatus

Во время движения зерен на них из сборника 4, пневмораспылителем – 3 распыляют 15 %-ный раствор калий-карбоксиметилцеллюлозы (К-КМЦ). Угол охвата потока раствора К-КМЦ можно рассчитать по зависимости:

$$\cos \theta = 2 \frac{d}{R}, \quad (1)$$

$$\theta = \arccos \frac{d}{2},$$

где θ – угол охвата полимерного раствора поверхность гранул; R – расстояние от пневматического распылителя до точки А

или С; d – расстояние от поверхности гранула до пневматического распылителя. Примерно можно принять

$$R \approx h + d = \frac{h}{2} + \frac{c^2}{8h}.$$

Высота сегмента определяется следующей формулой:

$$h = R \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) = R - \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{4}}, \quad (2)$$

учитывая, что длина хорды сегмента

$$c = 2R \sin \frac{\theta}{2} = R \sqrt{(2 - 2 \cos \theta)} = 2 \sqrt{h(2R - h)} \quad (3)$$

тогда, площадь полукруглого сегмента можно определить следующим образом:

$$S = \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta) = \frac{1}{4} \left(h^2 + \frac{c^4}{16h^2} + \frac{c^2}{2} \right) \arccos \left(\frac{c^2 - 4h^2}{c^2 + h^2} \right) - \frac{1}{4} \left(\frac{c^2}{4h} - hc \right). \quad (4)$$

Учитывая то, что длина траектории гранул равна

$$L_t = \frac{360}{\beta} n_b R_b \tau_b \left(\sin \frac{\beta}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right), \quad (5)$$

можно рассчитать количество гранул, поступающих в капсулирующий аппарат:

$$Q_0 = \rho S L_t = \rho \left[\left(\frac{1}{4} \left(h^2 + \frac{c^4}{16h^2} + \frac{c^4}{2} \right) \arccos \left(\frac{c^2 - 4h^4}{c^2 + h^2} \right) - \frac{1}{4} \left(\frac{c^2}{4h} - hc \right) \right) \right] \left[\frac{360}{\beta} n_b R_b \tau_b \left(\sin \frac{\beta}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) \right] \quad (6)$$

Количество (массу) гранул, поступающих в аппарат за единицу времени, можно определить по зависимости:

$$m_0 = \frac{Q_0}{\tau_0},$$

где m_0 – масса гранул, поступающих в капсулирующий аппарат барабанного типа за единицу времени.

С учетом выше изложенного можно определить расход полимерного раствора на единицу массы гранул:

$$Q_n = \frac{dV_n}{dt},$$

$$Q_n = \left(\frac{Q_k}{m_k} - \frac{Q_0}{m_0} \right).$$

Отсюда количества капсулированных гранул, поступающих в сушильный барабан за единицу времени, составляет:

$$Q_k = Q_0 + \frac{Q_n}{\tau}.$$

На этом завершается первый этап процесса капсулирования. Использование представленных уравнений позволяет проводить необходимые расчеты процесса капсулирования гранул в растворе К-КМЦ.

После первого этапа капсулированные гранулы удобрения с полимерным слоем К-КМЦ поступают в сушильный барабан 6.

Для сушки капсулированных гранул используется природный газ. С учетом свойства гранул удобрений направления движения теплоносителя и капсулированных удобрений считаем прямолинейными. Так же принимаем, что процес происходит в режиме непрерывного идеального вытеснения (рис. 3) [7].

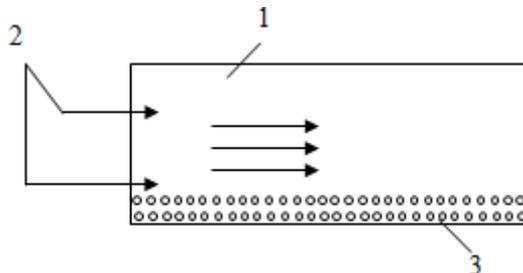


Рис. 3. Схема процесса сушки гранул суперфосфата, капсулированного К-КМЦ в режиме непрерывного идеального вытеснения: 1 – сушильный барабан; 2 – теплоноситель; 3 – капсулированные гранулы

Fig. 3. Diagram of the drying process of superphosphate granules encapsulated by K-KMЦ in continuous ideal displacement mode: 1 – drying drum; 2 – coolant; 3 – encapsulated granules

Согласно законам теплообмена [6] процесс сушки происходит в двухфазной системе (твердая и газообразная). Количество тепла, подводимого агентом теплоносителем, используется для нагрева материала и испарения влаги с поверхности капсулированных гранул. Его можно рассчитать по зависимости:

$$dQ = dQ_H + dQ_N \quad (7)$$

или

$$dQ = \alpha F d \Delta t, \quad (8)$$

где Q , Q_H , Q_N – соответственно, количества тепла, подаваемое в систему теплоносителем, которое необходимо для нагрева материала и испарения воды с поверхности капсулированных гранул, ккал/кг.

Если проинтегрировать уравнение (8):

$$\int_{Q_0}^Q dQ = \int_0^t aF\Delta t$$

получим

$$Q = \alpha F \Delta t, \quad (9)$$

где F – площадь поверхностей капсулированных гранул, встречающихся теплоносителю, m^2 , α – коэффициент теплоотдачи, $(BT / (m^2 \cdot K))$; Δt – перепад температур теплоносителя, °С.

Количество тепла, которое будет использовано для нагрева капсулированных гранул можно определить по зависимости:

$$dQ_H = (m_k + m_{H_2O}) C_k dt \quad (10)$$

проинтегрировав уравнение (10) $t_q \leq t \leq t_m$, получим

$$Q_H = (m_k + m_{H_2O}) C_k (t_k - t'_k) \quad (11)$$

$$t_H = t_k - t'_k$$

m_k, m_{H_2O} – массы гранул капсулированного удобрения и воды, кг.

Количество теплоты, затраченное на испарение воды, определяется по следующим зависимостям:

$$Q_N = m_{H_2O} (t_N - t_H).$$

$$\text{Учитывая, что } Q_n = m_n C_n t_n; \quad Q_g = m_q C_q t_g; \quad Q_q = m_q C_q t_m,$$

можно записать:

$$Q_b = m_{H_2O} r = Q'_n = m_n C_n t'_n; \quad Q_i = 0,3 m_n C_n t_n, \quad (17)$$

$$m_n C_n t_n = (m_q C_q t_m + m_{H_2O} C_{H_2O} t'_n + m_n C_n t'_n + 0,3 m_n C_n t_n) - m_q C_q t_g \quad (18)$$

или

$$0,97 m_n C_n t_n = m_q C_q t_m + m_{H_2O} C_{H_2O} t'_n + m_n C_n t'_n + m_n C_n t_n - m_q C_q t_g. \quad (19)$$

С учетом приведенных зависимостей выражение для расчета количество теплоносителя имеет вид:

$$m_n = \frac{m_q C_q t_m + m_{H_2O} C_{H_2O} t'_n + m_n C_n t'_n + m_n C_n t_n - m_q C_q t_g}{C_n (0,97 t'_n)}, \quad (20)$$

где m_n – количество теплоносителя, поданное в систему, кг.

На основе вышеприведенных уравнений составлен алгоритм расчета основ-

$$Q_H = m_{H_2O} (t_N - t_H) \quad (12)$$

$$t_N = t_H + 20.$$

Подставив уравнения (9), (10) и (11) в уравнение (7), получим:

$$\alpha F \Delta t = m_k C_k (t_m - t_q) + m_{H_2O} t_N \quad (13)$$

или

$$\alpha F \Delta t = m_k C_k t_k - m_{H_2O} = m'_q C'_q t'_q \quad (14)$$

Решив уравнение (14) относительно температуры среды (t_m), получим:

$$t_m = \frac{\alpha F \Delta t - m'_q C'_q t'_q + m_{H_2O} r}{m_k m_q}, \quad (15)$$

где m'_q – масса высушенных гранул удобрения, кг; t'_q – температура капсулированных гранул удобрения на выходе сушильного барабана, °С; r – теплота испарения, ккал/кг.

На основе схемы, представленной на рис. 3, уравнение баланса можно записать в следующем виде:

$$Q_H + Q_N = Q_H + Q_N + Q'_c + Q_N \quad (16)$$

отсюда

$$Q_n = (Q_q + Q_b + Q'_i + Q_i) - Q_g.$$

ных параметров процесса и необходимого количество тепла для удаления воды с поверхности капсул (рис. 4).

Заключение

Проведенные исследования имеют теоретическую и практическую значимость. Теоретический анализ позволил выполнить моделирование процесса кап-

сулирования гранул удобрений в аппарате барабанного типа. Получены математические зависимости, описывающие процессы двух стадий создания гранулированных

удобрений: капсулирование в полимерную оболочку и сушка капсул. На основе полученных зависимостей, описывающих взаимосвязи между основными параметрами процесса, были составлены уравнения для расчета расхода материалов на капсулирование гранул и их сушку в сушильном

барабане. На основе анализа процесса и полученных зависимостей предложен алгоритм расчета, который можно использовать для создания программного обеспечения и последующего автоматического управления процессом.

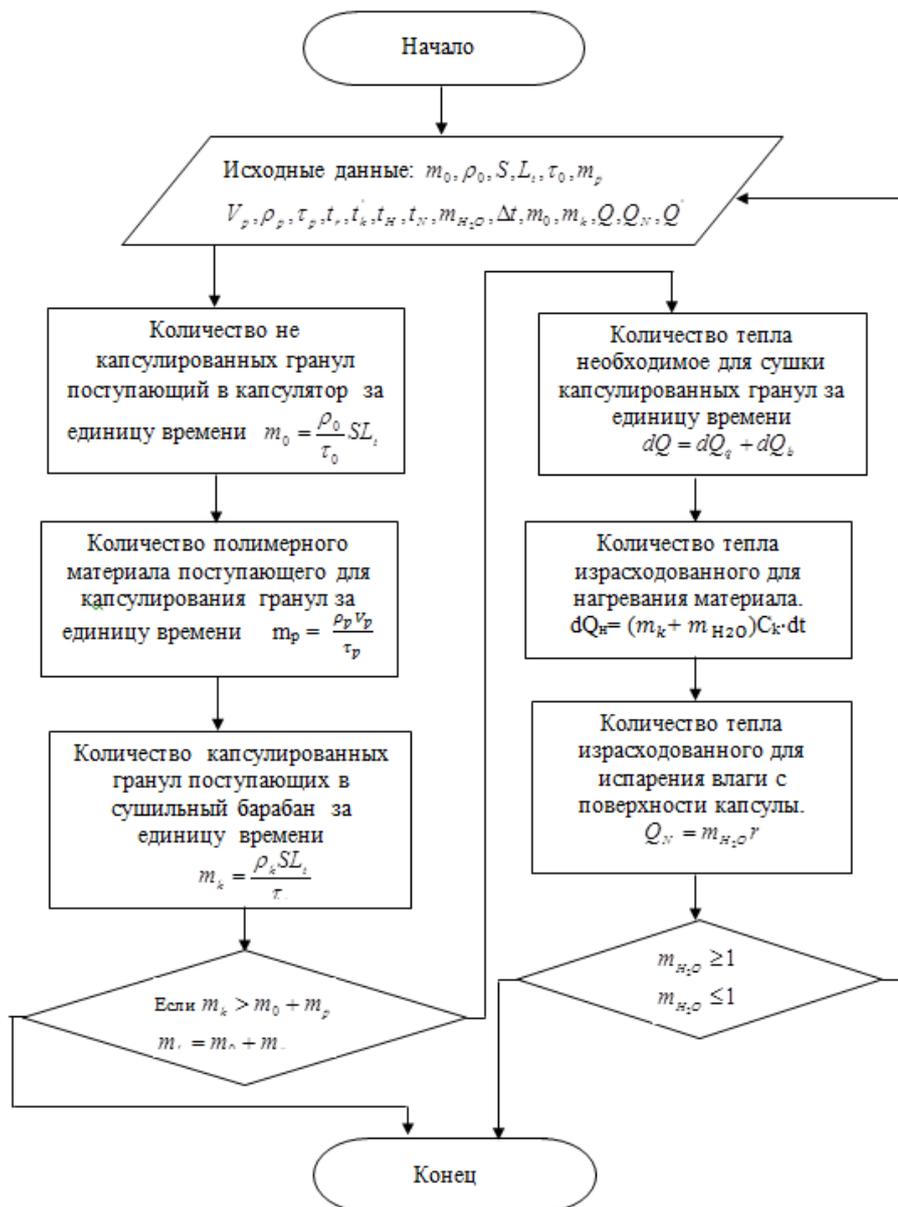


Рис. 4. Алгоритм расчета основных параметров процесса капсулирования
Fig. 4. Algorithm for calculating the main parameters of encapsulating

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гарамамедов Х.А. Инкапсулированные минеральные удобрения. //Научные новости №1, Сумгаитский государственный университет, 2012, стр. 56-61.
2. Мамедова Ш.Г., Гарамамедов Г.А., Исмаилова Ш.Г., Гулиева Г.Г. Изучение процесса изменения массы при инкапсулировании гранул удобрений полимерными материалами // Междуна-

родный научно-исследовательский симпозиум Egeastmus. Анкара, Турция, 6-7 марта 2020 г., стр. 744-748.

3. Келбалиев Г.И., Самедли В.М., Самедов М.М. Моделирование процесса грануло-образования порошкообразных материалов методом окатывания. //Теоретические основы химической тех-

нологии. Наука, сентябрь, октябрь, Т.45, 2011, с. 571.

4. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. Киев: Высшая школа, 1973. 274с.
5. Рустамов Я.И., Мамедова Ш.Г., Рустамова Г.Я. Некоторые аспекты синтеза и кинетическая модель растворения в воде наливных солей карбоксиметилцеллюлозы с различными содержа-

нием гидрофильных групп. Азербайджанский химический журнал №3, Баку, 2011, с.23-28.

6. Чернобыльский И.И., Бондорь А.Г., Гаевский Б.А. и др. Машины и аппараты химической промышленности. Москва: издательство машиностроительной литературы, 1962. 519 с.
7. Чичко А.Н., Сачек О.А., Чичко О.Н. Информатика. Практикум. Минск: БИТУ 2011, 379 с.

REFERENCES

1. Garamamedov HA. Encapsulated mineral fertilizers. Scientific News No.1, Sumgayit State University. 2012;1:56-61.
2. Mamedova ShG, Garamamedov GA, Ismailova ShG, Gulieva GG. Studying the process of mass change during encapsulation of fertilizer granules with polymer materials. Proceedings of the International Scientific Research Symposium *Eramacmus*, March 6-7, 2020: Ankara (Turkey); 2020. p. 744-748.
3. Kelbaliev GI, Samedli VM, Samedov MM. Modeling of granulating powdery materials by roll balling. //Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Nauka. 2011;45:571.

4. Bondar AG. Mathematical modeling in chemical engineering. Kiev: Visshaya Shkola; 1973.
5. Rustamov YaI, Mamedova ShG, Rustamova GYa. Some aspects of synthesis and kinetic model of dissolving salts of carboxymethylcellulose with different contents of hydrophilic groups in water. Azerbaijan Chemical Journal (Baku). 2011;3:23-28.
6. Chernobylsky II, Bondar AG, Gaevsky BA. Machines and apparatuses of the chemical industry. Moscow: Publishing House of Mechanical Engineering Literature; 1962.
7. Chichko AN, Sachek OA, Chichko ON. Computer Science: practical work. Minsk: BITU; 2011.

Информация об авторах:

Мамедова Шамама Гаджибала кызы – кандидат технических наук, доцент Сумгаитского Государственного Университета, заведующий кафедрой «Механика и технология транспортирования», тел. +994-50-428-70-15.

Mamedova Shamama Hajibala gazy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Sumgayit State University. Head of the Department of Mechanics and Technology of Transportation; phone: +994-50-428-70-15.

Карамамедов Гусейн Алескер оглы – кандидат технических наук, доцент Сумгаитского Государственного Университета, доцент кафедры «Механика и технология транспортирования», тел. +994-55-741-57-21.

Karamamedov Huseyn Alesker ogly – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Sumgayit State University, Associate Professor of the Department of Mechanics and Technology of Transportation; phone: +994-55-741-57-21.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023; одобрена после рецензирования 14.12.2023; принята к публикации 27.12.2023. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 10.07.2023; approved after review on 14.12.2023; accepted for publication on 27.12.2023. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.