

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рухов А.В., Образцова Е.Ю., Черникова О.В., Зарипов А.Р., Джусупкалиева Р.И.

Рухов Артем Викторович (ORCID 0000-0001-9194-8099), Образцова Елена Юрьевна (ORCID 0000-0002-7628-0198), Черникова Ольга Вячеславовна

Тамбовский государственный технический университет,

г. Тамбов, Россия, 39200, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106

E-mail: artem1@inbox.ru, nikif83@mail.ru, oltchernickowa@yandex.ru

Зарипов Андрей Ринатович (ORCID 0000-0002-9573-7819)

ООО "Сен-Гобен Строительная Продукция Рус",

г. Москва, Россия 125047, Никитский пер., д. 5

E-mail: artem1@inbox.ru

Джусупкалиева Роза Ибраимовна (ORCID 0000-0001-8916-0008)

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,

г. Уральск, Республика Казахстан, 090009, улица Жангир хана, 51

E-mail: Rozaid2@mail.ru

В работе рассмотрены основные направления совершенствования процессов и аппаратов химических технологий. Предложено обобщенное уравнение, позволяющее провести анализ и оценить допустимые диапазоны целесообразности проведения научно-исследовательских работ направленных на: повышение срока службы технологического оборудования, снижение себестоимости, увеличение качества и/или объема выпускаемой химической продукции, уменьшение стоимости ремонта и обслуживания машин и аппаратов химических технологий. Обобщающее уравнение позволяет установить минимальный и рациональные показатели, для составления технического задания на проведение научно-исследовательских работ. Установлено, что зависимость ожидаемой выгоды в результате реализации научно-исследовательских работ от продления срока службы оборудования имеет не линейный вид. Приведен пример расчета с использованием предложенного уравнения условий проведения научно-исследовательских работ для предприятия химической технологии строительных материалов.

Ключевые слова: химическая технология, научные исследования, экономическая эффективность

FORECASTING THE PROSPECTS OF CONDUCTING SCIENTIFIC RESEARCH TO IMPROVE THE PROCESSES AND DEVICES OF CHEMICAL TECHNOLOGIES

Rukhov A.V., Obratsova E.Yu., Chernikova O.V., Zaripov A.R., Dzhusupkalieva R.I.

Rukhov Artem Viktorovich (ORCID 0000-0001-9194-8099), Obratsova Elena Yuryevna (ORCID 0000-0002-7628-0198), Chernikova Olga Vladimirovna

Tambov State Technical University,

Tambov, Russia, 39200, Tambov Region, Tambov, Sovetskaya St., 106

E-mail: artem1@inbox.ru, nikif83@mail.ru, oltchernickowa@yandex.ru

Zaripov Andrey Rinatovich (ORCID 0000-0002-9573-7819)

Saint-Gobain Construction Products Rus LLC,

Moscow, Russia 125047, Moscow Region, Moscow, Nikitsky Lane, 5

E-mail: artem1@inbox.ru

Dzhusupkalieva Rosa Ibraimovna (ORCID 0000-0001-8916-0008)

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University

Uralsk, Republic of Kazakhstan, 090009, Zhangir Khan Street, 51

E-mail: Rozaid2@mail.ru

The paper considers the main directions of improving the processes and devices of chemical technologies. A generalized equation is proposed that makes it possible to analyze and evaluate the acceptable ranges of feasibility of conducting research aimed at: increasing the service life of technological equipment, reducing cost, increasing the quality and/or volume of chemical products, reducing the cost of repair and maintenance of chemical technology machines and apparatuses. The generalizing equation allows you to set the minimum and rational indicators for drawing up technical specifications for conducting research. It has been established that the dependence of the expected benefits resulting from the implementation of scientific research on the prolongation of the equipment's service life is not linear. An example of a calculation using the proposed equation of the conditions for conducting research for a chemical technology enterprise builds

Keywords: chemical technology, scientific research, economic efficiency

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Химическая промышленность является основой современной жизни [1]. Все окружающие нас материалы или изделия в той или иной степени получены с использованием приемов химической технологии: минеральные удобрения, полимерные и лакокрасочные материалы, герметики и мастики, топливо и смазки, строительные материалы и многое другое. Развитие химической производства не представляется возможным без тесного сотрудничества с научным сообществом [2-5]. Это касается как вопросов создания новых производств [6], так и модернизации существующих [7]. Последняя задача представляет наибольший интерес, так как накладывается большее количество явных и неявных ограничений при решении с позиций оптимального проектирования [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Проводя обобщение объективных причин модернизации существующих химических предприятий, можно выделить следующие:

- снижение себестоимости;
- увеличение объемов выпуска;
- увеличение качества продукции;
- повышение срока службы технологического оборудования;
- уменьшение затрат на ремонт и обслуживание технологического оборудования.

Каждая модернизация ведет к увеличению валовой выручки [9]. В тоже время модернизация химического производства требует затрат на проведение научно-исследовательских работ (НИР) и реализацию тех или иных мероприятий [9]. При этом последние могут иметь разовый или периодический характер. Принятие решение о целесообразности проведения модернизации - это многосторонняя задача и не редко может решаться с использованием субъективных факторов. В связи с этим предлагается подход, заключающийся в принятии решения в рамках комплексного инжи-

ниринга [10] на основе решения обобщающего уравнения, включающего прибыль от реализации модернизации производства и затраты на них, в том числе включающее траты на НИР.

Это позволяет оценить инновационный потенциал технологических процессов, реализуемых на химическом предприятии [11].

Разность между выручкой и затратами будет экономическим эффектом реализации проекта. Обобщающее уравнение, отнесенное к единице времени эксплуатации, можно представить в следующем виде:

$$nCA + CP + Q + OV + nR = SW + nCM + E \quad (1)$$

где n – количество модернизируемых единиц технологического оборудования; CA – годовая прибыль от продления срока службы технологического оборудования; CP – годовая прибыль от снижения себестоимости, Q – годовая прибыль от повышения качества выпускаемой химической продукции; OV – годовая прибыль от увеличения объемов выпуска; R – годовая прибыль за счет снижения затрат на ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования; SW , CM – стоимость НИР и мероприятий по внедрению модернизации отнесенная ко всему сроку эксплуатации производства или конкретной единицы технологического оборудования, соответственно; E – годовая экономическая эффективность предлагаемой модернизации.

Рассмотрим каждую составляющую обобщающего уравнения. Годовую прибыль за счет повышения срока службы оборудования можно оценить следующим образом:

$$CA = C_{об} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_m} \right), \quad (2)$$

где $C_{об}$ – цена единицы технологического оборудования; τ , τ_m – срок эксплуатации оборудования до модернизации и после модернизации, соответственно.

Годовую прибыль от снижения себестоимости и повышения качества предлагается рассматривать совместно.

Это обусловлено тем, что повышение качества химической продукции позволяет повысить ее сорт, а соответственно отпускную цену. Тогда разность отпускной цены и себестоимости будет прибылью на единицу количества продукции. Сумму годовой прибыли в результате снижения себестоимости и повышения качества можно оценить следующим образом:

$$CP + Q = G_{ГМ} ((C_{ПМ} - C_{ПМ}) - (C_{П} - C_{П})), \quad (3)$$

где $G_{ГМ}$ – годовая производительность после модернизации; $C_{П}$, $C_{ПМ}$ – цена химической продукции до и после модернизации, соответственно; $C_{П}$, $C_{ПМ}$ – себестоимость химической продукции до и после модернизации, соответственно.

Годовую прибыль от увеличения объемов выпуска можно оценить с использованием выражения:

$$OV = (G_{ГМ} - G_{Г}) (C_{ПМ} - C_{ПМ}), \quad (4)$$

где $G_{Г}$ – годовая производительность до модернизации. Годовую прибыль за счет снижения затрат на ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования можно рассчитать следующим образом:

$$R = \frac{C_{Р} - C_{РМ}}{\tau_{М}}, \quad (5)$$

где $C_{Р}$, $C_{РМ}$ – стоимость ремонта и обслуживания до и после модернизации.

Стоимость НИР, отнесенную к единице времени эксплуатации производства или конкретной единицы технологического оборудования можно оценить с использованием выражения:

$$SW = \frac{C_{НИР}}{\tau_{М}}, \quad (6)$$

где $C_{НИР}$ – стоимость НИР.

Стоимость внедрения результатов НИР в виде мероприятий по модернизации производства:

$$CM = \frac{C_{М}}{\tau_{М}}, \quad (7)$$

где $C_{М}$ – стоимость модернизации за весь срок

$$nC_{об} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{k_{\tau}\tau} \right) + G_{Г} k_{Г} ((C_{ПМ} - C_{ПМ}) - (C_{П} - C_{П})) + \\ + G_{Г} (k_{Г} - 1) (C_{ПМ} - C_{ПМ}) + n \frac{C_{Р}}{k_{\tau} p_{Р}} - n \frac{C_{РМ}}{p_{Р}} = \frac{C_{НИР}}{k_{\tau}\tau} + n \frac{C_{М}}{p_{М}} + E. \quad (11)$$

Полученное обобщенное уравнение позволяет решать, как прямую, так и обратную задачу. Прямая задача заключается в определении экономической эффективности реализации НИР с заявленными достигаемыми значениями по повышению срока службы оборудования, снижения стоимости ремонта и технического обслуживания, снижения себестоимости, повышения качества. В тоже время обратная задача представляет больший практический интерес, так как позволяет ус-

эксплуатации производства, в том числе с учетом их возможного периодического характера.

Подставив (2) - (7) в (1) получим обобщенное уравнение (8):

$$nC_{об} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_{М}} \right) + G_{ГМ} ((C_{ПМ} - C_{ПМ}) - (C_{П} - C_{П})) + \\ + (G_{ГМ} - G_{Г}) (C_{ПМ} - C_{ПМ}) + \frac{C_{Р} - C_{РМ}}{\tau_{М}} = \frac{C_{НИР}}{\tau_{М}} + \frac{C_{М}}{\tau_{М}} + E \quad (8)$$

Ввиду отсутствия информации об абсолютных значениях срока службы оборудования и производительности на этапе прогнозирования целесообразности проведения НИР введем коэффициенты прироста срока службы оборудования (k_{τ}) и производительности ($k_{Г}$):

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{М}}{\tau}; \quad k_{Г} = \frac{G_{ГМ}}{G_{Г}}. \quad (9)$$

Стоимость внедрения результатов НИР и прибыль за счет экономии в результате снижения стоимости ремонта и технического обслуживания технологического оборудования можно представить через произведения средней стоимости единичного мероприятия на их количество за весь срок эксплуатации производства или оборудования. Тогда можно записать:

$$C_{Р} = {}^1C_{Р} \frac{\tau}{p_{Р}}; C_{РМ} = {}^1C_{РМ} \frac{\tau k_{\tau}}{p_{Р}}; C_{М} = {}^1C_{М} \frac{\tau k_{\tau}}{p_{М}}, \quad (10)$$

где ${}^1C_{Р}$, ${}^1C_{РМ}$, ${}^1C_{М}$ – средние стоимости единичного ремонта и обслуживания технологического оборудования до и после модернизации и модернизации в следствии внедрения результатов НИР, соответственно; $p_{Р}$ – периодичность проведения ремонта и технического обслуживания технологического оборудования в год; $p_{Р}$, $p_{М}$ – периодичность проведения ремонта и технического обслуживания технологического оборудования и мероприятий по внедрению результатов НИР в год, соответственно.

Подставив (9) и (10) в (8) получим окончательное обобщенное уравнение (11):

тановить требования по улучшению процессов и аппаратов, позволяющих достигнуть желаемой экономической эффективности НИР. Это позволяет использовать решение обратной задачи при составлении технического задания на проведения НИР. Также обратная задача позволяет оценить точку рентабельности проведения научно-исследовательской работы, когда экономический эффект от внедрения рекомендаций полностью компенсируется затратами на проведение НИР и

их внедрение, т.е. определение минимально допустимых показателей улучшения процессов и аппаратов химической технологии. Это позволяет использовать решение обратной задачи при установлении диапазонов параметров улучшения химического производства в процессе составления технического задания на проведения НИР.

Обобщающее уравнение имеет ряд частных решений, представляющих практический интерес, среди которых можно выделить зависимость коэффициентов прироста срока службы оборудования (12) и производительности (13), а также экономической эффективности проведения НИР (14), соответственно:

$$k_{\tau} = \frac{\frac{U_{НИР}}{\tau} + n \frac{^1U_M}{p_M} + n \frac{U_{об}}{\tau} - n \frac{^1U_P}{p_P}}{n \frac{U_{об}}{\tau} + k_G G ((U_{n_M} - C_{n_M}) - (U_n - C_n)) + G (k_G - 1) (U_{n_M} - C_{n_M}) - E - n \frac{^1U_{P_M}}{p_P}}, \quad (12)$$

$$k_G = \frac{\frac{U_{НИР}}{k_{\tau} \tau} + n \frac{^1U_M}{k_{\tau} p_M} + E + n \frac{U_{об}}{\tau} \left(\frac{1}{k_{\tau}} - 1 \right) + G (U_{n_M} - C_{n_M}) - \frac{n}{k_{\tau}} \frac{^1U_P}{p_P} + \frac{n}{p_P} \frac{^1U_{P_M}}{p_{P_M}}}{G ((U_{n_M} - C_{n_M}) - (U_n - C_n)) + G (U_{n_M} - C_{n_M})}, \quad (13)$$

$$E = n U_{об} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{k_{\tau} \tau} \right) + G_z k_G ((U_{n_M} - C_{n_M}) - (U_n - C_n)) + G_z (k_G - 1) (U_{n_M} - C_{n_M}) + n \frac{^1U_P}{k_{\tau} p_P} - n \frac{^1U_{P_M}}{p_P} - \frac{U_{НИР}}{k_{\tau} \tau} - n \frac{^1U_M}{p_M}. \quad (14)$$

Требуется отметить, что зависимость (14) от коэффициента прироста срока службы оборудования имеет нелинейный характер. С увеличением срока службы технологического оборудования прирост экономической эффективности уменьшается. А если учесть, что с увеличением коэффициента прироста срока службы оборудования должны расти затраты на достижение этого прироста, то нелинейность зависимости будет выражена более ярко. Этот факт позволяет использовать обобщенное уравнение не только для нахождения минимально необходимого прироста срока экстракции химико-технологического оборудования, но и рационально максимального.

Рассмотрим пример оценки целесообразности проведения научно-исследовательской работы для повышения срока службы аппаратов используемых в производстве теплоизоляционных материалов. Аппараты представляют собой вертикальные колоны, которые сверху загружаются послойной минеральным сырьем и коксом. В нижней части технологического аппарата располага-

ются фурмы для подачи воздуха и чистого кислорода. В процессе горения кокса осуществляется плавления минеральных пород. Наличие в сырье и горючем соединения серы при их термической обработке приводит к образованию коррозионно-активных оксидов серы. Последние вызывают сквозной коррозии обечайки аппарата. В следствии того, что аппарат имеет водоохлаждаемую рубашку, коррозионные разрушения требуют проведения периодического ремонта и замены корпуса аппарата. Предлагается использование специализированных высокотемпературных антикоррозионных покрытий, требующих периодического обновления. Проведем расчет точки рентабельности проведения научно-исследовательской работы, значения экономической эффективности проведения НИР, например, при $k_{\tau} = 1,25$ и $1,50$ и получим зависимости экономической эффектности проведения НИР от коэффициента прироста срока службы оборудования (k_{τ}).

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Исходные данные для расчета
Table 1. Initial data for calculation

$U_{об}$, тыс. руб.	$U_{НИР}$, тыс. руб.	n	1U_P , тыс. руб.	$^1U_{P_M}$, тыс. руб.	1U_M , тыс. руб.	τ , лет	p_P , лет	p_M , лет
12000	2000	1	500	0	200	10	1	0,5

Проведенный расчет показал с использованием уравнения (12), что точка рентабельности проведения научно-исследовательской работы составляет $k_{\tau p} = 1,125$. То есть прирост срока

службы аппарата всего на 12,5% позволит покрыть расходы на НИР в размере 2 млн. руб. и затраты на обновление защитного покрытия в размере 200 тыс. руб. Ежегодная прибыль за счет

внедрения результатов НИР при $k_r = 1,25$ и $1,50$ (прирост срока службы 25% и 50%) составит 80 и 200 тыс. руб., соответственно. Зависимости экономической эффективности проведения НИР от коэффициента прироста срока службы оборудования (k_r) представлена на рис. 1.

Как было отмечено выше зависимость на рис. 1 имеет нелинейный характер, а ее анализ позволяет сделать вывод, что рациональный диапазон повышения срока службы аппарата для производства строительных материалов составляет от 12,5 до 200 %.

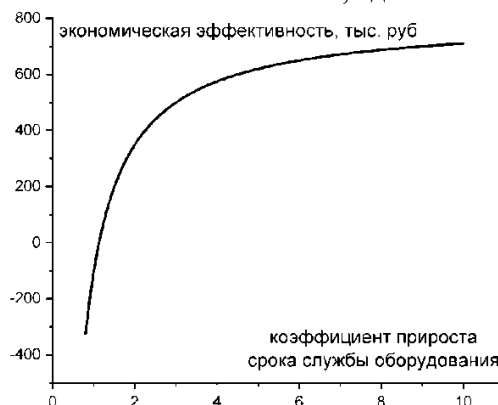


Рис. 1. Зависимости экономической эффективности проведения НИР от коэффициента прироста срока службы оборудования
Fig.1. Dependence of the economic efficiency of conducting R&D on the coefficient of increase in the service life of equipment

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное обобщенное уравнение позволяет проводить оценку целесообразности проведения научно-исследовательских работ направленных на: повышение срока службы технологического оборудования, снижение себестоимости, увеличение качества и/или объема выпускаемой химической продукции, уменьшение стоимости ремонта и обслуживания машин и аппаратов химических технологий.

Также рассмотренное уравнение можно использовать для установления минимальных и рациональных значений достигаемых параметрах в рамках технического задания. Дальнейшее развитие данной работы ведется в учете зависимости стоимости НИР от значений достигаемых результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шушунова Т.Н.** Анализ развития химической промышленности по сценариям научно-технологического развития Российской Федерации. Современные тенденции развития инвестиционного потенциала в России: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Москва. 2020. С. 100-102.
2. **Клепиков Д.Н., Лопаткин Д.С., Гринев Н. Н.** Прогноз технологического развития химической промышленности. Москва: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. 2020. 104 с. EDN: OWFXJJ
3. **Вagner Л.Е.** Достижения науки как потенциал развития химической промышленности. Россия молодая: Сборник материалов VI всероссийской, 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. 2014. С. 673.
4. **Ясакова Е.А., Бугров С.М.** Проблемы и перспективы развития химической промышленности. Проблемы комплексного освоения полезных ископаемых: Материалы IV Молодежного экологического форума, посвященного 300-летию Кузбасса и 70-летию КузГТУ, Кемерово. 2019. С. 123-126. EDN NWLUUN.

REFERENCES

1. **Shushunova T.N.** Analysis of the development of the chemical industry according to the scenarios of scientific and technological development of the Russian Federation. Current trends in the development of investment potential in Russia: Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow. 2020. P. 100-102.
2. **Klepikov D.N., Lopatkin D.S., Grinev N.N.** Forecast of technological development of the chemical industry. Moscow: D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology. 2020. 104 p. EDN: OWFXJJ
3. **Wagner L.E.** Achievements of science as a potential for the development of the chemical industry. Young Russia: Collection of materials of the VI All-Russian, 59th scientific and practical conference of young scientists with international participation. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev. 2014. P. 673.
4. **Yasakova E.A., Bugrov S.M.** Problems and prospects of the chemical industry development. Problems of integrated mining: Materials of the IV Youth Environmental Forum dedicated to the 300th anniversary of Kuzbass and the 70th anniversary of KuzSTU, Kemerovo. 2019. P. 123-126. EDN NWLUUN.

5. **Секлецова А.А., Секлецова О.В.** Проблемы и перспективы устойчивого развития химической промышленности. Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 9-ти частях, Новосибирск. 2019. С. 633-635.
6. **Петухова Е. А., Максимова Е.А., Данилова Е.А.** К химической технологии через прогноз и экономику. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2024. № 2(78). С. 113-116. DOI: 10.6060/snt.20247802.00016
7. **Карпушкин С.В., Краснянский М.Н.** Принципы автоматизированного проектирования технологического оборудования многоассортиментных химических производств. *Вестник Тамбовского государственного технического университета.* 2024. Т. 30. № 4. С. 640-651. DOI: 10.17277/vestnik.2024.04.pp.640-651
8. **Зотов Д.А., Гайфутдинова О.С.** Повышение экономической эффективности нефтепереработки российских предприятий на основе модернизации производства. *Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики.* 2023. Т. 1. С. 13-25.
9. **Мустаев Р.В., Туфетулов А.М.** Влияние энергосберегающего потенциала предприятий на экономическое развитие химической промышленности. *OpenScience.* 2022. Т. 4. № 3. С. 4-12. DOI: 10.51632/2658-7939_2022_4_3_4
10. **Шеварин П.Г.** Перспективы развития химической промышленности Российской Федерации за счет внедрения системы комплексного инжиниринга. Наука и инновации: исследование и достижения: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний. 2023. С. 147-153.
11. **Маленкина, Т.М., Посажеников А.А.** Оценка инновационного потенциала предприятий региона. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2023. № 4(76). С. 36-39. DOI:10.6060/snt. 2023 7604.0005
5. **Sekletsova A.A., Sekletsova O.V.** Problems and prospects of sustainable development of the chemical industry. Science. Technologies. Innovations: Collection of scientific papers. In 9 parts, Novosibirsk. 2019. P. 633-635.
6. **Petukhova E. A., Maksimova E.A., Danilova E.A.** Towards chemical technology through forecasting and economics. *Modern high technology. Regional application.* 2024. N 2(78). P. 113-116. DOI: 10.6060/snt.20247802.00016
7. **Karpushkin S.V., Krasnyansky M.N.** Principles of computer-aided design of technological equipment for multiassortment chemical industries. *Bulletin of Tambov State Technical University.* 2024. V. 30. N 4. P. 640-651. DOI: 10.17277/vestnik.2024.04.pp.640-651
8. **Zotov D.A., Gayfutdinova O.S.** Improving the economic efficiency of oil refining of Russian enterprises based on production modernization. *Actual problems of economics and management at enterprises of mechanical engineering, oil and gas industry in an innovation-oriented economy.* 2023. V. 1. P. 13-25
9. **Mustaev R.V., Tufetulov A.M.** The influence of energy-saving potential of enterprises on the economic development of the chemical industry. *OpenScience.* 2022. V. 4. N 3. P. 4-12. DOI: 10.51632/2658-7939_2022_4_3_4
10. **Shevarin P.G.** Prospects for the development of the chemical industry of the Russian Federation through the introduction of an integrated engineering system. Science and Innovation: research and achievements: Collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference. Penza: Volga House of Knowledge. 2023. P. 147-153.
11. **Malenkina, T.M., Posazhennikov A.A.** Assessment of the innovative potential of enterprises in the region. *Modern high technology. Regional application.* 2023. N 4(76). P. 36-39. DOI:10.6060/snt.20237604.0005

Поступила в редакцию(Received): 15.03.2025
Принята к опубликованию (Accepted): 27.04.2025