(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

УДК: 677.024.54

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.27

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА РАБОТНИКОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА



Лазаренков Александр Михайлович
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Охрана труда» Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь
E-mail: lazarenkov@bntu.by
ORCID ID: 0000-0001-6939-592X



Поздняков Владимир Михайлович
Ректор учреждения образования Федерации профсоюзов Беларуси Международный университет "МИТСО", Минск, Беларусь
E-mail: mitso@mitso.by

Аннотация. *Цель работы заключается в установлении связи между оценкой тепловой нагрузки в литейном производстве, выполняемыми операциями и условиями в зоне отдыха, а также в формировании количественной основы для выбора режима труда и отдыха. Использованы целевой анализ литературы, сопоставление опубликованных агрегированных показателей и детерминированный сценарный расчёт для 36 вариантов. Опубликованные средние значения WBGT представлены на графике со стандартными отклонениями; отдельно сопоставлены результаты мероприятий по снижению теплового воздействия. В расчётах приняты значения WBGT в рабочей зоне 32, 34 и 36 °C, в зоне отдыха – 24, 27 и 29 °C, а продолжительность перерыва – 10, 20, 30 и 40 минут в течение часа. Расчётные средние значения WBGT составили 26,67–34,83 °C. При выделении половины часа на отдых снижение WBGT в зоне отдыха с 29 до 24 °C уменьшало средний индекс на 2,50 °C. Результаты показывают необходимость совместного учёта продолжительности и условий отдыха. Статья основана на вторичном анализе опубликованных данных и расчётном анализе; новые результаты производственных измерений не представлены.*

Ключевые слова: *литейное производство, тепловая нагрузка, WBGT, тепловое излучение, стандартное отклонение, анализ чувствительности, режим труда и отдыха.*

Received: 20.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

QUYUV ISHLAB CHIQARISHIDA ISHCHILARNING ISSIQLIK YUKLAMASINI BAHOLASH VA MEHNAT HAMDA DAM OLISH REJIMINI ASOSLASH

Lazarenkov Aleksandr Mixayilovich
Texnika fanlari doktori, professor, Belarus milliy texnika universiteti "Mehnat muhofazasi" kafedrasi professori, Minsk, Belarus

Pozdnyakov Vladimir Mixaylovich
Belarus kasaba uyushmalari federatsiyasining "MITSO" xalqaro universiteti» ta'lim muassasasi rektori, Minsk, Belarus

Annotatsiya. *Ishning maqsadi quyuv ishlab chiqarishida issiqlik yuklamasini baholashni bajariladigan operatsiyalar va dam olish zonasidagi sharoitlar bilan bog‘lash, shuningdek, mehnat va dam olish rejimini tanlash uchun miqdoriy asos yaratishdan iborat. Maqsadli adabiyotlar tahlili, chop etilgan umumlashtirilgan ko‘rsatkichlarni taqqoslash hamda 36 ta variant bo‘yicha deterministik ssenariy hisobidan foydalanildi. Nashrlardagi o‘rtacha WBGT qiymatlari standart og‘ishlari bilan grafikda ko‘rsatildi; issiqlik ta’sirini kamaytirish tadbirlarining natijalari alohida taqqoslandi. Hisoblarda ish zonasidagi WBGT qiymatlari 32, 34 va 36 °C, dam olish zonasida 24, 27 va 29 °C, tanaffus davomiyligi esa bir soat ichida 10, 20, 30 va 40 daqiqa deb qabul qilindi. Hisoblangan o‘rtacha WBGT qiymatlari 26,67–34,83 °C oralig‘ini tashkil etdi. Bir soatning 30 daqiqasi dam olishga ajratilganda, dam olish zonasidagi WBGTni 29 dan 24 °C gacha pasaytirish o‘rtacha indeksni 2,50 °C ga kamaytirdi. Natijalar dam olish davomiyligi va sharoitlarini birgalikda hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. Maqola chop etilgan ma’lumotlarning ikkilamchi tahlili va hisobiy tahlilga asoslangan; ishlab chiqarish sharoitidagi yangi o‘lchov natijalari taqdim etilmagan.*

Kalit so‘zlar: *quyuv ishlab chiqarishi, issiqlik yuklamasi, WBGT, issiqlik nurlanishi, standart og‘ish, sezgirlik tahlili, mehnat va dam olish rejimi.*

ASSESSMENT OF HEAT STRESS AMONG FOUNDRY WORKERS AND JUSTIFICATION OF WORK–REST REGIMENS

Lazarenkov Alexander
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Occupational Safety, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Pozdniakov Vladzimir
Rector of the Educational Institution of the Federation of Trade Unions of Belarus International University “MITSO”, Minsk, Belarus

Abstract. *This study aims to link heat stress assessment in foundry production to the operations performed and conditions in rest areas, and to establish a quantitative basis for selecting work–rest regimens. The methods included a targeted literature review, comparison of published aggregate data, and deterministic scenario calculations for 36 combinations. Published mean wet-bulb globe temperature (WBGT) values were plotted with their standard deviations, while the outcomes of measures to reduce heat exposure were compared separately. The calculations assumed work-area WBGT values of 32, 34, and 36 °C, rest-area values of 24, 27, and 29 °C, and rest periods of 10, 20, 30, and 40 minutes per hour. The calculated mean WBGT values ranged from 26.67 to 34.83 °C. With 30 minutes per hour allocated to rest, reducing rest-area WBGT from 29 to 24 °C lowered the mean index by 2.50 °C. The results demonstrate the need to consider both the duration and conditions of rest. The article is based on secondary analysis of published data and scenario calculations; no new workplace measurement results are presented.*

Keywords: *foundry production, heat stress, WBGT, thermal radiation, standard deviation, sensitivity analysis, work–rest regimen.*

Введение. Тепловое воздействие на работника в литейном цехе изменяется в зависимости от близости к печи, вида металла, технологической операции и продолжительности пребывания на данном участке. Температура воздуха в одной точке не характеризует воздействие в течение всей смены. Кроме того, прекращение работы на горячем участке и отдых в прохладной зоне происходят в разных условиях. Поэтому при оценке необходимо одновременно фиксировать место, продолжительность и характер выполняемой работы.

Имеющиеся натурные исследования показывают взаимосвязь теплового излучения, тяжести работы и физиологических реакций [1–5]. Однако значение, полученное на другом предприятии, нельзя использовать в качестве готового норматива или гарантии эффективности для конкретного рабочего места. Задачи настоящей работы состоят в критическом сопоставлении опубликованных

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

данных, расчёте результатов усреднения по времени и определении сведений, необходимых для практической проверки.

Литературный анализ и методы. Лазаренков [1] рассматривает рабочие места заливщиков металла с учётом типа производства и выполняемых операций. Приведённые значения интенсивности излучения подтверждают, что для характеристики воздействия одной температуры воздуха недостаточно. Вместе с тем непосредственно определить WBGT по интенсивности излучения невозможно, поскольку это разные физические величины. Представленный в источнике подход с выделением отдельных операций использован в настоящей работе для выбора единицы наблюдения.

Chen и соавторы [2] связали предварительную оценку среды по WBGT с моделью прогнозируемого теплового напряжения организма (PHS). Учёт рабочей нагрузки и излучения помогает выбирать меры по снижению воздействия. Применяемая в настоящей статье упрощённая модель усреднения по времени не заменяет PHS и не рассчитывает тепловой баланс организма.

Измерения Giahi и соавторов [3], выполненные до и после внедрения мероприятий, позволяют количественно оценить технические решения. Однако возможности переноса результата одного промышленного объекта на другие печи, комплекты защитной одежды или планировочные решения цеха ограничены. Поэтому опубликованные величины снижения использованы как обоснование необходимости проверки инженерных мероприятий, а не как готовые показатели эффективности конкретного проекта.

Sharma и соавторы [4] сообщили о значениях WBGT 33,54 °C на печном участке и 32,93 °C на участке заливки металла, а также о корреляции между WBGT и субъективным индексом HSSI: r = 0,831. Это наблюдение свидетельствует о полезности дополнения показателя среды субъективной оценкой работника, однако корреляция не доказывает причинного воздействия и не служит индивидуальным диагнозом. Поскольку в аннотации не указан объём выборки, новый доверительный интервал для данной корреляции не рассчитывался.

Norloei и соавторы [5] сравнили 25 акклиматизированных к теплу работников и 10 офисных сотрудников; среднее значение WBGT составило 35 °C. Межгрупповые различия по гормонам T3 и T4 не были статистически значимыми (соответственно p = 0,79 и p = 0,17). Следовательно, высокое значение индекса среды не означает однонаправленного изменения всех биологических показателей. Из снижения индекса среды нельзя автоматически делать вывод о физиологическом эффекте.

Источники проверены 15 сентября 2026 года посредством тематического веб-поиска, PubMed, J-STAGE и сайтов издательств. Использованы поисковые выражения «foundry workers heat stress WBGT», «radiant heat controls», а также русскоязычные названия работ об условиях труда заливщиков металла. Для получения количественных данных отбирались первичные исследования, в которых можно проверить показатель и единицу его измерения. Работа не является систематическим обзором или метаанализом.

Использованы открытые полные тексты [1, 2], открытые аннотации [3–5], официальные описания [6, 7] и открытое руководство [8]. Неоднородные показатели не объединялись в общую оценку эффекта. Сохранены опубликованные стандартные отклонения (SD); ввиду отсутствия исходных наблюдений новые p-значения и доверительные интервалы не рассчитывались.

Результаты. Chen и соавторы [2] обследовали два сталелитейных (S1, S2) и два чугунолитейных (I1, I2) предприятия. На каждом предприятии выбраны пять точек мониторинга среды; наблюдение охватывало два последовательных рабочих цикла. В оценке индивидуальных факторов участвовал в общей сложности 21 работник. Это число не является объёмом независимой выборки измерений среды.

Наибольшая разница между средними значениями четырёх предприятий составляет 2,3°C. Хотя разброс на S2 выше, по агрегированным данным нельзя определить статистическую значимость этого различия.

Временная зависимость наблюдений также препятствует принятию предположения о независимости выборки. Поэтому график представляет собой описательное сопоставление, а не рейтинг безопасности предприятий.

Таблица 1.

Опубликованные значения WBGT по предприятиям [2, таблица 2]

Код предприятия	Вид литья	Среднее WBGT, °C	Стандартное отклонение, °C
S1	Стальное	31,8	0,65
S2	Стальное	34,1	3,32
I1	Чугунное	33,9	0,83
I2	Чугунное	32,8	0,83

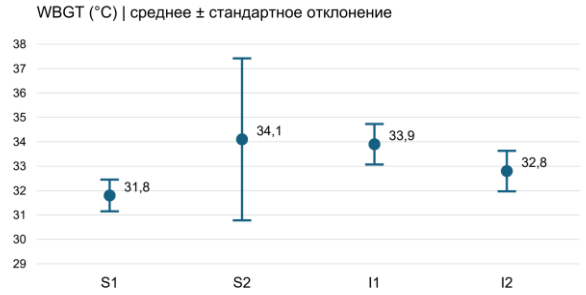


Рис.1. Средние значения WBGT и ±1 SD по предприятиям. График построен по данным Chen и соавторов [2]. Вертикальные отрезки не являются доверительными интервалами или диапазонами от минимума до максимума.

Из полученных данных не следует, что аналогичное среднее значение WBGT на другом производственном объекте требует точно такого же графика отдыха. Метаболические затраты при работе, одежда, акклиматизация и продолжительность воздействия при каждой операции могут различаться. Статистические характеристики среды служат исходными данными для выбора режима.

Таблица 2.

Опубликованные диапазоны интенсивности излучения при заливке металла [1, таблица 3]

Операция	Стальное литьё, Вт/м²	Чугунное литьё, Вт/м²
Наполнение ковша жидким металлом	3200–4800	2800–4300
Удаление шлака с поверхности металла	3800–5900	3600–5200
Заливка металла в формы	4550–7400	3350–6400

Эти диапазоны характеризуют интенсивность излучения; они не являются SD или 95-процентными доверительными интервалами. Наибольшие из приведённых значений относятся к заливке металла в формы. Таблицу необходимо использовать совместно с данными о доле времени воздействия: кратковременное интенсивное и продолжительное воздействие нельзя считать равнозначными.

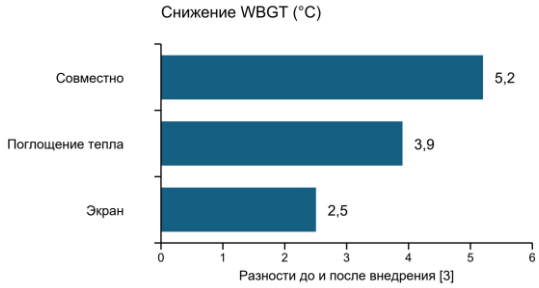


Рис.2. Снижение WBGT, приведённое Giahi и соавторами [3]. Значения взяты из аннотации публикации; отрезки погрешностей не нанесены, поскольку дисперсия не указана.

В источнике зафиксировано снижение на 3,9 °C при применении системы поглощения тепла, на 2,5 °C при использовании отражающего экрана и на 5,2 °C при совместном применении мероприятий. Для снижения индексов при совместном применении авторы сообщили $p < 0{,}001$ [3]. Это не результат нового статистического теста, выполненного в настоящей статье.

Суммирование значений для отдельных мероприятий не даёт их совместного эффекта: 3,9+2,5=6,4°C, тогда как опубликованное снижение при совместном применении составляет 5,2 °C. Поэтому независимость и аддитивность их воздействия не предполагались. При выборе мероприятия необходимы повторные измерения с учётом расположения оборудования и технологических условий.

Для среды без прямого солнечного облучения WBGT рассчитывается по температуре смоченного термометра с естественной вентиляцией t_nw и температуре чёрного шара tg следующим образом [8, 9]:

$$WBGT = 0{,}7t_nw + 0{,}3tg \quad (1)$$

Для рабочей зоны и зоны отдыха выбран единый расчётный период продолжительностью

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

60 минут. Обозначим через W_i значение WBGT в рабочей зоне, через W_r – в зоне отдыха (°C), через r – продолжительность отдыха (мин), а через $\bar{W}$ – средневзвешенный по времени индекс:

$$\bar{W} = [W_i(60 - r) + W_r r] / 60 = W_i + (W_r - W_i)r/60 \quad (2)$$

Расчётный набор сформирован из значений $W_i \in \{32; 34; 36\}$ °C, $W_r \in \{24; 27; 29\}$°C и $r \in \{10; 20; 30; 40\}$ мин и включает все $3 \times 3 \times 4 = 36$ комбинаций. Эти числа являются условными входными значениями, заданными для анализа чувствительности; они не представляют новые измерения на предприятии или случайную выборку. Варианты сопоставлялись в пределах заданных значений; проверка статистических гипотез не проводилась.

Таблица 3.

Расчётные значения $\bar{W}$ при W_i = 32 °C

Работа / отдых, мин	W_r = 24 °C	W_r = 27 °C	W_r = 29 °C
50 / 10	30,67	31,17	31,50
40 / 20	29,33	30,33	31,00
30 / 30	28,00	29,50	30,50
20 / 40	26,67	28,67	30,00

Например, при 40 минутах работы и 20 минутах отдыха, если W_r = 24 °C, получаем $\bar{W}$ = (32 × 40 + 24 × 20)/60 = 29,33 °C. При том же распределении времени и W_r = 29 °C получаем $\bar{W}$ = 31,00 °C. Разница составляет 1,67 °C и обусловлена исключительно изменением условий в зоне отдыха.

Минимальное расчётное значение среди 36 вариантов составляет 26,67 °C (W_i = 32; W_r = 24; r = 40), максимальное – 34,83 °C (W_i = 36; W_r = 29; r = 10). Эти минимум и максимум относятся к выбранной области расчёта, а не к диапазону естественной изменчивости показателей у работников.

В расчёте не учтены поправка на одежду и метаболические затраты. Поэтому значения таблицы 3 не определяют безопасную продолжительность работы. При практической оценке метаболическая нагрузка также усредняется за тот же период в одинаковых единицах измерения по формуле $\bar{M} = \Sigma(M_j\tau_j)/\Sigma\tau_j$ [8].

Анализ чувствительности и обсуждение. Увеличение продолжительности отдыха на дополнительные 10 минут снижает индекс на $(W_i - W_r)/6$ °C. Например, при WBGT в рабочей зоне 32 °C для зоны отдыха с WBGT 24 °C это снижение составляет 1,33 °C, при 27 °C – 0,83°C, а при 29 °C – 0,50 °C. Следовательно, расчётный эффект одинакового дополнительного перерыва зависит от условий в зоне отдыха.

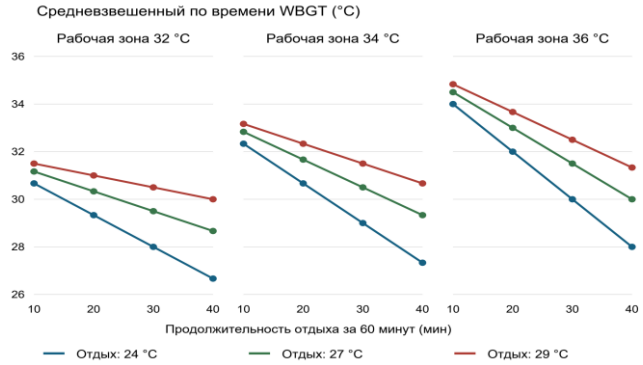


Рис.3. Средневзвешенный по времени WBGT для 36 условных комбинаций. Точки соответствуют расчётным значениям, линии показывают линейную зависимость между ними. Граница безопасности на графике не обозначена.

Снижение WBGT в зоне отдыха с 29 до 24°C уменьшает средний индекс на 5r/60. При продолжительности перерыва 10, 20, 30 и 40 минут разница составляет соответственно 0,83; 1,67; 2,50 и 3,33 °C. В данной модели эта разница не зависит от значения в рабочей зоне, поскольку остальные условия остаются одинаковыми.

Вклад снижения WBGT в рабочей зоне на 2 °C равен 2(60 − r)/60. Таким образом, доля времени определяет, улучшение условий в какой зоне сильнее влияет на средний показатель. Эта арифметическая зависимость не означает возможности замены технического мероприятия перерывом и не является расчётом физиологического восстановления работника.

Модель нечувствительна к последовательности воздействия: при одинаковых долях времени, даже если операции выполняются в разном порядке, получается одинаковое $\bar{W}$. Поэтому максимальную продолжительность непрерывной операции в условиях нагревающего микроклимата и кратковременные высокие значения необходимо сохранять в карте наблюдения. Это ограничение

определяет назначение алгоритма как средства предварительного сопоставления вариантов.

Обсуждение. ISO 7243 предусматривает предварительную оценку по WBGT, а ISO 7933 – аналитическую интерпретацию с использованием PHS [6, 7]. Для практического выбора режима сведения о среде, метаболических затратах, одежде и акклиматизации к теплу приводятся к единому расчётному периоду. Источник применяемого критерия и условия его использования указываются явно. В настоящей статье заключение о соответствии на основе полных таблиц стандартов не выносилось.

Таблица 4.

Минимальный состав данных для регистрации на рабочем месте

Группа данных	Регистрируемые сведения
Операция и время	Код работника, операция, зона, время начала и окончания
Среда	Температура смоченного термометра с естественной вентиляцией и чёрного шара, WBGT; прибор и калибровка
Работа и одежда	Метод и единицы оценки метаболических затрат, состав комплекта одежды
Отдых	Место, фактическая продолжительность, WBGT в зоне отдыха
Условия сравнения	Вид металла, темп производства, сезон, состояние экрана и вентиляции

Проверка организуется на основе повторных измерений на одном и том же рабочем месте до и после внедрения мероприятия. По возможности включается участок сравнения с аналогичной технологией. Число повторов определяется исходя из разброса предварительных наблюдений и практически значимого различия, которое необходимо выявить; необоснованный объём выборки заранее не задаётся.

Для статистического анализа заранее определяется независимая единица, например пара сопоставимых наблюдений для сочетания «рабочее место — смена». Каждая запись датчика в течение одной смены не рассматривается как отдельный независимый работник. При наличии фактических данных приводятся среднее и SD либо медиана и квартили, парная разность и её 95-процентный доверительный интервал; при повторных наблюдениях учитывается кластеризация. Данный этап представляет собой план последующей эмпирической проверки.

Заключения.

1. Опубликованные количественные данные служат основанием для оценки тепловой среды по операциям и применяемым мероприятиям. WBGT, интенсивность излучения и физиологические показатели не являются взаимозаменяемыми.

2. Расчёт для 36 вариантов показал, что совместный учёт продолжительности и места отдыха существенно меняет результат. При 30 минутах отдыха в течение часа снижение WBGT в зоне отдыха с 29 до 24 °C уменьшает $\bar{W}$ на 2,50°C.

3. Графики и расчётная модель служат для предварительного сопоставления вариантов. Для заключения о безопасном режиме и практической эффективности необходима проверка на основе измерений на рабочем месте, учёта метаболических затрат, одежды и повторных наблюдений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Лазаренков, А. М. (2022). Условия труда на рабочих местах заливщиков металла. Литье и металлургия, (1), 130–134. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-130-134

[2] Chen, W.-Y., Lo, C.-L., Chen, C.-P., Juang, Y.-J., Yoon, C., & Tsai, P.-J. (2014). Prioritizing factors associated with thermal stresses imposed on workers in steel and iron casting industries using the Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. Journal of Occupational Health, 56(6), 505–510. https://doi.org/10.1539/joh.14-0078-FS

[3] Giahi, O., Darvishi, E., Aliabadi, M., & Khoubi, J. (2016). The efficacy of radiant heat controls on workers' heat stress around the blast furnace of a steel industry. Work, 53(2), 293–298. https://doi.org/10.3233/WOR-152104

[4] International Organization for Standardization. (2023). Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain (ISO Standard No. 7933:2023). https://www.iso.org/standard/78240.html

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[5] Lazarenkov, A. M., Ivanov, I. A., Sadoha, M. A., Narziev, Sh. M., & Jumanazarov, S. S. (2024). Impact of production environment and labor process factors on the body of foundry workers. Science and Innovation, 3(A4), 285–292. https://doi.org/10.5281/zenodo.11079174

[6] Lazarenkov, A. M., & Narziev, Sh. M. (2025). Working conditions of employees in electroplating shops. Oscar Journal of Applied Science and Technology, 5(12), 83–88. https://oscarpubhouse.net/index.php/ojast/article/view/218

[7] National Institute for Occupational Safety and Health. (2016). Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to heat and hot environments (DHHS [NIOSH] Publication No. 2016-106). Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf

[8] Norloei, S., Jafari, M. J., Omidi, L., Khodakarim, S., Bashash, D., Abdollahi, M. B., & Jafari, M. (2017). The effects of heat stress on a number of hematological parameters and levels of thyroid hormones in foundry workers. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 23(4), 481–490. https://doi.org/10.1080/10803548.2016.1246122

[9] Sharma, M., Alam, M. S., Sharma, K., & Kataria, K. K. (2025). Assessing implications of occupational heat stress on the physiological and productive attributes of small-scale foundry workers in Northern India. Work, 82(3), 682–703. https://doi.org/10.1177/10519815241289664

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Лазаренков, А. М., & Поздняков, В. М. (2026). Оценка тепловой нагрузки на работников литейного производства и обоснование режима труда и отдыха. Цифровые технологии в промышленности, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.27