

Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 101–110.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (10): 101–110.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 697.7:504.5

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-101-110

## **СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Светлана Вячеславовна Шилкина**

Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),  
Москва, Россия

**Аннотация.** Определены наиболее предпочтительные регионы России для строительства объектов электрогенерации на основе возобновляемых источников энергии: населенные пункты в изолированных и труднодоступных районах, получающих электроэнергию за счет эксплуатации дизельных электростанций. Рассчитаны объемы снижения вредных выбросов при реализации предложенного проекта и определены основные финансово-экономические критерии возможности привлечения стороннего инвестора для строительства объектов электрогенерации. Подтверждено, что участие инвесторов вносит значительный вклад в улучшение экологической ситуации и является не только взаимовыгодным, но и экономически обоснованным.

**Ключевые слова:** энергопотребление, экологическая ситуация, выбросы CO<sub>2</sub>, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, энергосервисный контракт, оценка эффективности инвестиций

**Для цитирования:** Шилкина С.В. Снижение уровня выбросов углекислого газа при реализации энергоэффективных решений в системе электроснабжения изолированных территорий // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 101–110. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-101-110.

Original article

## **REDUCTION OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS DURING THE IMPLEMENTATION OF ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF ISOLATED AREAS**

**Svetlana V. Shilkina**

Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

**Abstract.** The most preferred regions of Russia for the construction of power generation facilities based on renewable energy sources have been identified – these are settlements in isolated and hard-to-reach areas that receive electricity through the

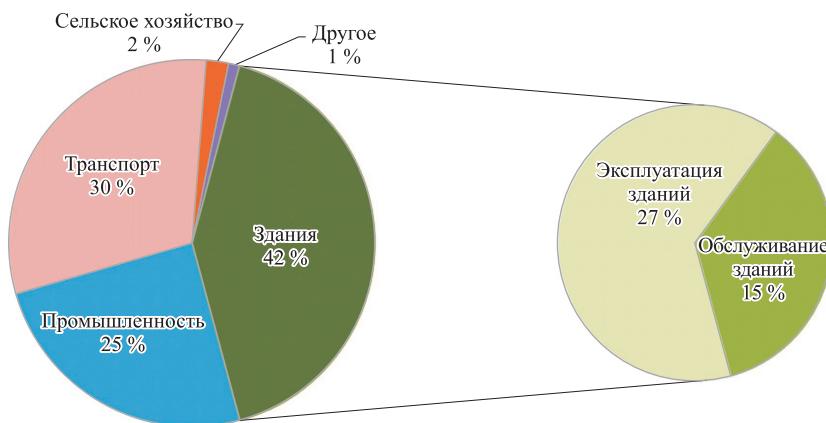
operation of diesel power plants. The volumes of harmful emissions reduction during the project implementation are calculated and the main financial and economic criteria for the possibility of attracting a third-party investor for the construction of such facilities are determined. It has been confirmed that the participation of investors in the implementation of such projects makes a significant contribution to improving the environmental situation and is not only mutually beneficial, but also economically justified.

**Keywords:** energy consumption, environmental situation, CO<sub>2</sub> emissions, energy efficiency, renewable energy sources, energy service contract, investment efficiency assessment

**For citation:** Shilkina S.V. Reduction of carbon dioxide emissions during the implementation of energy efficient solutions in the power supply system of isolated areas. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (10): 101–110. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-101-110.

**Введение.** Здания являются одними из основных потребителей энергии в мире. Например, в ЕС расходы на содержание здания лидируют среди потребителей энергии (рис. 1)<sup>1</sup>. Кроме того, на эксплуатацию зданий прямо и косвенно приходится более 30 % выбросов CO<sub>2</sub> мирового энергетического сектора [1]. Общий объем прямых выбросов CO<sub>2</sub> от строительного сектора в ЕС на 2020 г. составил примерно 3 Гт.

Непосредственно и сам процесс строительства также оказывает значительное влияние на окружающую среду как по потреблению энергии, так и по образованию вредных выбросов. Например, на добычу или изготовление и на транспортировку строительных материалов, занимающих большую долю в этой сфере потребления, используется много энергии. В мировом сообществе растет озабоченность по поводу потребления энергии при строительстве и эксплуатации зданий и их негативного воздействия на окружающую среду. Решением этих проблем занимаются во всем мире самые разные



*Rис. 1. Потребление энергии по секторам экономики в ЕС*

*Fig. 1. Energy consumption by economic sectors in the EU*

<sup>1</sup> European Court of Auditors (ECA). Energy efficiency in buildings: greater focus on cost-effectiveness still needed. Special Report. URL: [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20\\_11/SR\\_Energy\\_efficiency\\_in\\_buildings\\_EN.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_11/SR_Energy_efficiency_in_buildings_EN.pdf)



*Рис. 2. Сравнение удельных значений выброса CO<sub>2</sub> на выработку электрической энергии*

*Fig. 2. Comparison of specific values of CO<sub>2</sub> emissions for electric power generation*

специалисты строительной отрасли от инженеров-проектировщиков до сантехников и отделочников.

Основное направление в достижении заданных целей – это существенное повышение энергоэффективности вновь строящихся зданий и реконструируемых<sup>2</sup>. Энергоэффективные подходы в строительной отрасли и в жилищно-коммунальном комплексе должны привести к значительной экономии энергии, учитывая, что жизненный цикл большинства эксплуатируемых зданий составляет более 50 лет [2, 3].

**Анализ энергопотребления в России.** В России около 80 % многоквартирных домов были построены до 1999 г. в соответствии с действующими тогда строительными нормами и правилами. Новое законодательство в области энергоэффективности устанавливает стандарты регулирования энергопотребления для стимулирования энергосбережения и вносит изменения в действующее законодательство для обеспечения соблюдения правил энергосбережения<sup>3</sup>.

Следует отметить, что ситуация с выбросами CO<sub>2</sub> при выработке электрической энергии в России одна из наиболее благоприятных среди промышленных стран [4] (рис. 2). Кроме того, себестоимость выработки электроэнергии в стране одна из самых низких в мире, учитывая в структуре большую долю электростанций, работающих на добываемом у нас газе, а также значительную долю ГЭС и АЭС<sup>4</sup>. Поэтому в ближайшее время массовый переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) не произойдет в связи с их дороговизной по сравнению с традиционными ис-

<sup>2</sup> Energy Efficiency, IEA. Paris, 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>

<sup>3</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.

<sup>4</sup> Бюллетень социально-экономического кризиса в России: Динамика потребления электроэнергии как индикатор экономической активности / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. М., 2016. 20 с.

точниками энергии. Однако «точечное» внедрение ВИЭ в ряде регионов оправдано и с экологической, и с экономической точек зрения.

Особенно актуальным этот вопрос является для изолированных и труднодоступных территорий (ИТТ). Ведь практически вся электрогенерация в них построена на сжигании дизельного топлива. Это не только очень дорогостоящий способ получения электрической энергии, но и один из самых «грязных» процессов с точки зрения экологии. Переход на газовую генерацию практически невозможен ввиду большой удаленности населенных пунктов от источников газоснабжения. Поэтому необходимо искать альтернативные пути улучшения экологической ситуации и привлекать частных инвесторов к решению этих задач.

**Электроснабжение изолированных и труднодоступных территорий.** Электроэнергетика в ИТТ России характеризуется увеличением выбросов CO<sub>2</sub>, ростом производственных издержек и себестоимости производимой электроэнергии, что вызвано, прежде всего, моральным и физическим износом оборудования, использованием устаревших технологий, а также увеличением цен на привозное топливо для электростанций<sup>5</sup>. Рост издержек и себестоимости объясняется как удаленностью таких территорий, так и климатическими условиями. Разница между экономически обоснованными расходами на выработку электроэнергии и установленными приемлемыми тарифами на электроэнергию в ИТТ для населения компенсируется за счет бюджетного субсидирования.

Для улучшения экологической ситуации, снижения нагрузки на бюджет и повышения энергоэффективности производства электроэнергии необходимо провести модернизацию генерирующих объектов, в том числе за счет внедрения объектов ВИЭ-генерации. Даже частичный перевод выработки электроэнергии с устаревших дизельных электростанций (ДЭС) на генерацию, использующую возобновляемые источники энергии, например, солнечные электростанции (СЭС), даст ощутимый экономический эффект и значительно снизит вредные выбросы за счет уменьшения объемов сжигаемого топлива<sup>6</sup>.

В статье предлагается проанализировать возможность привлечения «частного капитала» для реализации данного проекта.

Большая часть установленной мощности объектов генерации в ИТТ (около 63 % 525 МВт) сосредоточено в четырех регионах: Республика Саха (Якутия), Камчатский и Красноярский края и Ямало-Ненецкий АО<sup>7</sup>. Несмотря

<sup>5</sup> Рекомендации «круглого стола» Комитета Государственной Думы по энергетике на тему «Возобновляемые источники энергии: состояние российского законодательства, перспективы развития и пути совершенствования, в том числе на примере энергообеспечения изолированных территорий» / Утв. решением Комитета Государственной Думы по энергетике № 3.25-5/154 от 16 сентября 2020 г.

<sup>6</sup> Башмаков И.А., Дзедзичек М.Г. Оценка расходов на энергоснабжение в регионах Крайнего Севера. URL: [http://www.cenef.ru/file/Bashmakov\\_20.pdf](http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_20.pdf)

<sup>7</sup> Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России: Аналитический доклад, март 2020 / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. URL: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/генерации\\_в\\_ИТТ.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/генерации_в_ИТТ.pdf)

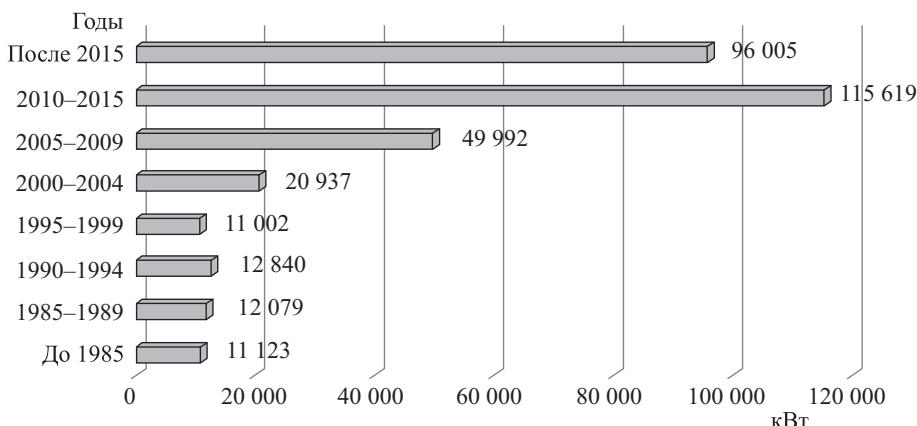


Рис. 3. Срок ввода в строй объектов генерации в ИТТ в России

Fig. 3. Term of commissioning of generation facilities in ITT in Russia

ря на то что в последние десятилетия была проведена замена генерирующего оборудования, существует значительная доля мощностей, введенных в эксплуатацию в XX в. (рис. 3). Это неизбежно приводит к значительному расходу дизельного топлива при работе агрегатов и повышению стоимости выработки электроэнергии.

Анализ, проведенный Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации, показал, что самые высокие усредненные по региону удельные расходы на выработку электроэнергии на объектах генерации в ИТТ отмечаются в Республике Саха (Якутия) – 42,7 руб./кВт·ч, при тарифе для населения около 5 руб./кВт·ч (табл. 1)<sup>7</sup>.

На основании представленных данных для анализа нами выбран «усредненный» населенный пункт в Республике Саха, т.е. поселок, в котором проживает 700 человек, мощность установленной генерации (дизельная электростанция) – 1,5 МВт с годовой выработкой электроэнергии 2 млн кВт·ч. Расчеты показывают, что стоимость произведенной за год электроэнергии составляет около 85 млн руб. Учитывая, что средний расход

**Таблица 1. Технико-экономические показатели выработки электроэнергии в ИТТ ряда регионов**

Table 1. Technical and economic indicators of electricity generation in ITT in a number of regions

Субъект Российской Федерации	Количество генерирующих объектов, ед.	Мощность генерации, кВт	Выработка электроэнергии, млн кВт·ч	Удельные расходы на выработку электроэнергии, руб./кВт·ч	Субсидии на компенсацию выпадающих доходов, млн руб.
Республика Саха	141	205 988	280,9	42,7	8 496,1
Камчатский край	42	116 794	182,3	35,0	3 630,0
Красноярский край	112	114 063	174,8	23,9	1 425,2
Ямало-Ненецкий АО	44	88 467	155,4	22,3	1 896,3

удельного топлива по ДЭС в Дальневосточном федеральном округе 568 г у. т./кВт·ч, с учетом поправочного коэффициента для дизеля (1,45) получаем среднегодовой расход дизельного топлива для выбранного поселения – около 800 т. При этом надо учитывать значительные расходы на приобретение топлива, порядка 40–70 млн руб., в зависимости от маршрута транспортировки. Расчеты помогают оценить объем ущерба, который наносится окружающей среде, а он колossalный, поскольку сжигание такого количества дизельного топлива приводит к выбросам более 2 тыс. т эквивалентов CO<sub>2</sub> [5].

**Методы исследования.** Решением данной экологической проблемы мог бы служить перевод части генерирующих мощностей на выработку электроэнергии с применением «безуглеродных» технологий с одновременной разработкой проектов по экономии энергоресурсов, связанных с модернизацией энергопотребляющих систем.

В качестве альтернативы дизельной генерации широкое распространение получает модернизация генерирующих объектов за счет внедрения генерации на основе ВИЭ, в результате которой будет обеспечено значительное сокращение вредных выбросов, а также снижение расходов на приобретение топлива. Однако надо учитывать, что внедрение ВИЭ-технологий и модернизация устаревшего оборудования требуют единовременного вложения значительных денежных средств. Например, для строительства СЭС это составляет приблизительно 2,5–3 тыс. долларов США за 1 кВт. Такая сумма вряд ли может быть выделена из бюджета маленького поселка в несколько сотен жителей. Поэтому в последнее десятилетие широкое распространение получило привлечение инвестора на основе энергосервисного контракта.

Как было указано выше, в качестве объекта исследования был выбран «усредненный» населенный пункт в Республике Саха. Исходя из предварительного анализа ситуации, для расчета финансово-экономических последствий реализации проекта по энергосбережению в качестве исходных данных принимаем:

внедряется СЭС мощностью 350 кВт в качестве частичного замещения существующей ДЭС;

требуются инвестиции в размере 68 млн руб. (350 кВт · 3000\$/кВт · 65руб./\$);  
при условии, что коэффициент использования установленной мощности равен 16,5 %, т.е. среднегодовое время работы около 1450 ч (рис. 4), годовая выработка электроэнергии СЭС составляет 506 000 кВт·ч.

Для приведения всех параметров качества электрической энергии к ГОСТ 32144–2013 было предложено использовать программно-технический комплекс (ПТК), построенный по принципам FACTS-устройств<sup>8</sup> [7]. Это должно повысить надежность работы оборудования и продлить срок его службы. Исходя из практики, данные мероприятия позволяют снизить расход электроэнергии на 7 %. Стоимость внедрения подобного комплекса около 15 млн руб.

---

<sup>8</sup> Flexible Alternative Current Transmission System – управляемые (гибкие) системы электропередачи переменного тока.



Рис. 4. Количество солнечных часов/дней по регионам России [6]

Fig. 4. Number of sunny hours/days by regions of Russia [6]

Внедрение СЭС в качестве альтернативы части ДЭС приводит к снижению доли топливной составляющей и увеличению налога на имущество (рис. 5).

**Результаты расчетов.** По условиям соглашения инвестор за счет собственных средств вводит в эксплуатацию СЭС и проводит модернизацию системы электропередачи. Доходом инвестора будут платежи заказчика в течение 10 лет по тарифам, существующим на дату подписания контракта, в размере стоимости поставляемой и сэкономленной СЭС стоимости электроэнергии за счет внедрения программно-технического комплекса.

По истечении десяти лет СЭС безвозмездно переходит на баланс владельца ДЭС. Результаты итоговой оценки эффективности инвестиций представлены в табл. 2.

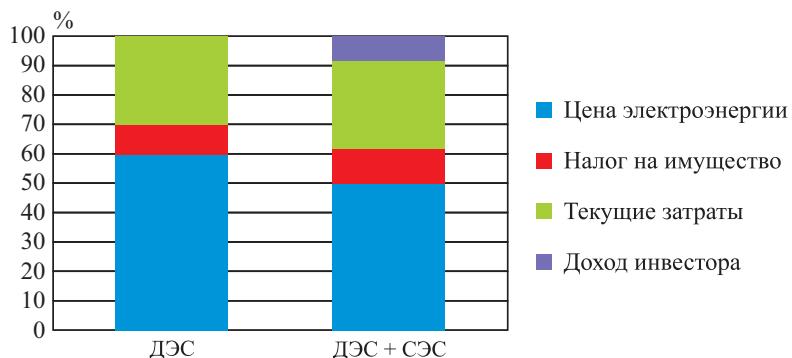


Рис. 5. Изменение структуры себестоимости выработки при внедрении СЭС

Fig. 5. Change in the structure of the cost of production during the introduction of solar power plant

**Таблица 2. Итоговая оценка эффективности инвестиций для инвестора**

**Table 2. The final assessment of the effectiveness of investments for the investor**

Показатель	Проект		Итоговые результаты по двум проектам
	замена части ДЭС на СЭС	внедрение ПТК	
Капитальные вложения, млн руб.	68	15	83
Приведенный денежный поток (NPV), млн руб.	18,38	10,53	28,91
Простой срок окупаемости (PB), лет	5,45	4,32	5,19
Дисконтированный срок окупаемости (DPB), лет	7,74	5,50	7,17
Внутренняя норма рентабельности (IRR), %	18,29	27,46	20,01

За счет внедрения СЭС снизится расход сжигаемого на ДЭС дизельного топлива и топлива, расходуемого при доставке дизеля на объекты. При реализации рассмотренного в статье проекта произойдет снижение выбросов эквивалентов CO<sub>2</sub> более чем на 500 т.

**Заключение.** Внедрение в отдаленных и труднодоступных районах генерирующих мощностей на основе ВИЭ является привлекательным вариантом для населения, инвестора и владельцев генерирующих мощностей. Потенциала солнечной энергии для реализации подобных проектов достаточно. Например, уровень инсоляции в Якутии сопоставим с южными районами нашей страны: 0,7–1,2 тыс. кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год. Излишки вырабатываемой в течение светового дня энергии, как правило, сохраняются в накопителях, что позволяет использовать ее в темное время суток. Подобная система помогает уменьшить зависимость солнечных станций от времени суток и погодных условий.

В дальнейшем из-за роста цен на топливо и снижения себестоимости выпуска оборудования для генерации на основе ВИЭ прогнозируется положительная тенденция, связанная с тем, что выгода от их внедрения будет еще выше. Поэтому в России возобновляемые источники энергии все чаще становятся дополнением к традиционной генерации. Стабильно фиксируется рост ввода в эксплуатацию новых мощностей. Так, за 2021 г. в стране прибавилось 232,9 МВт электростанций на основе солнечной энергии и 1008,89 МВт ветровых электростанций (ВЭС). Суммарная мощность СЭС достигла 1960,6 МВт, а ВЭС выросла до 2035,4 МВт. В результате доля ВИЭ по итогам 2021 г. составила 1,6 % в структуре установленной мощности ЕЭС России, при этом годовая выработка ВЭС увеличилась на 162,4 % до 3619,8 млн кВт·ч. Однако надо иметь в виду, что раз-

вление альтернативной энергетики в России наиболее перспективно только в регионах с благоприятными природными условиями для этого направления энергетики<sup>9</sup>.

### **Список источников**

1. *Dubey Kankana, Dodonov Andrey.* United nations economic commission for Europe joint task force on energy efficiency standards in buildings, mapping of existing energy efficiency standards and technologies in buildings in the UNECE Region. Geneva, 2018.
2. *Yüksek I., Karadayi T.T.* Energy-efficient building design in the context of building life cycle // Yap E.H., editor. Energy efficient buildings. London: IntechOpen, 2017.
3. *Elsarrag E., Alhorrr Y.* Towards near zero energy home // Yap E.H., editor. Energy efficient buildings. London: IntechOpen, 2017.
4. *Белобородов С.С.* Снижение эмиссии CO<sub>2</sub>: развитие когенерации или строительство ВИЭ? // Энергосовет. 2018. № 1.
5. *Вавина Е.* Углеродный след российской электроэнергетики может в 3,5 раза превысить средний по миру // Ведомости. 2019. 05 сент.
6. *Слободян Е.* Количество солнечных часов и дней в году по городам России // Аргументы и факты. 2019. № 47.
7. *Shilkina S.V.* Application of the energy service contract to improve energy efficiency in use of resources in the housing and utility XXIV International Scientific Conference on Advances // Civil Engineering construction the formation of living environment. Moscow, 2021.

### **References**

1. *Dubey Kankana, Dodonov Andrey.* United nations economic commission for Europe joint task force on energy efficiency standards in buildings, mapping of existing energy efficiency standards and technologies in buildings in the UNECE Region. Geneva, 2018.
2. *Yüksek I., Karadayi T.T.* Energy-efficient building design in the context of building life cycle. Yap E.H., editor. Energy efficient buildings. London: IntechOpen, 2017.
3. *Elsarrag E., Alhorrr Y.* Towards near zero energy home. Yap E.H., editor. Energy efficient buildings. London: IntechOpen, 2017.
4. *Beloborodov S.S.* Reduction of CO<sub>2</sub> emissions: development of cogeneration or construction of RES? *Energosovet = Energy Council.* 2018; (1). (In Russ.).
5. *Vavina E.* The carbon footprint of the Russian power industry may be 3.5 times higher than the world average. *Vedomosti.* 2019; Sept. 05. (In Russ.).
6. *Slobodyan E.* The number of hours of sunshine and days per year in Russian cities. *Argumenty i fakty = Arguments and Facts.* 2019; (47). (In Russ.).
7. *Shilkina S.V.* Application of the energy service contract to improve energy efficiency in use of resources in the housing and utility XXIV International Scientific Conference on Advances. Civil Engineering construction the formation of living environment. Moscow, 2021.

---

<sup>9</sup> Необходимо создавать взаимозаменяемые объекты электрогенерации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 25.02.2022. URL: [https://ac.gov.ru/news/\\_page/neobhodimo-sozdavat-vzaimozamenaemye-obekty-elektrogeneracii-27146](https://ac.gov.ru/news/_page/neobhodimo-sozdavat-vzaimozamenaemye-obekty-elektrogeneracii-27146)

**Информация об авторе**

**С.В. Шилкина** – кандидат технических наук, доцент, shilkina@bk.ru

**Information about the author**

**S.V. Shilkina** – PhD, Ass. Professor, shilkina@bk.ru

Статья поступила в редакцию 20.09.2022

Одобрена после рецензирования 20.10.2022

Принята к публикации 27.10.2022

The article was submitted 20.09.2022

Approved after reviewing 20.10.2022

Accepted for publication 27.10.2022

---