

## Влияние работы энергопотребителей при возведении малоэтажных жилых зданий на состояние окружающей среды

Е.А.Король, НИУ МГСУ, Москва

А.А.Журавлева, НИУ МГСУ, Москва

На основании анализа структуры энергетических затрат при возведении малоэтажных жилых зданий со стенами из кирпича, керамзитобетонных блоков, несъёмной пенополистирольной опалубки и SIP-панелей установлены две основные группы потребителей – машины и механизмы и инфраструктура строительной площадки. Декомпозиция расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на строительной площадке для каждого из приведённых выше конструктивно-технологических решений малоэтажных зданий позволила получить потребление электроэнергии (в кВт) и жидкого топлива (в литрах). Посредством приведения различных количественных значений энергозатрат к универсальной единице – килограмму условного топлива, был осуществлён сравнительный анализ общего (суммарного) энергопотребления строительной площадки.

Поскольку при возведении зданий работа энергопотребителей неразрывно связана с характерными выбросами вредных веществ в окружающую среду, были рассчитаны их количественные и качественные показатели. Они использованы для сравнительной оценки состояния окружающей среды при возведении малоэтажных жилых зданий различных конструктивно-технологических систем.

*Ключевые слова:* малоэтажное строительство, эксплуатация машин и механизмов, топливно-энергетические ресурсы, энергопотребление строительной площадки, вредные выбросы, окружающая среда.

### **Influence of the Operation of Energy Consumers during the Construction of Low-Rise Residential Buildings on Environmental Pollution**

E.A.Korol, NIU MGUSU, Moscow

A.A.Zhuravleva, NIU MGUSU, Moscow

Based on the analysis of the structure of energy costs during the construction of low-rise residential buildings with walls made of bricks, expanded clay concrete blocks, permanent polystyrene foam formwork and SIP panels, two main groups of consumers were established – machines and mechanisms and infrastructure of the construction site. The performed decomposition of the consumption of fuel and energy resources (FER) at the construction site for each of the above design and technological solutions of low-rise buildings made it possible to obtain the consumption of electricity (in kW) and liquid fuel (in liters). By converting various quantitative values of energy consumption to a universal unit – kilogram of standard

fuel, a comparative analysis of the total energy consumption of the construction site was carried out. Since the work of energy consumers during the construction of buildings is inextricably linked with the characteristic emissions of harmful substances into the environment, their quantitative and qualitative indicators were calculated. They were used for a comparative assessment of the state of the environment during the construction of low-rise residential buildings of various structural and technological systems.

*Keywords:* low-rise construction, operation of machines and mechanisms, fuel and energy resources, energy consumption of a construction site, harmful emissions, environment.

Одной из задач государственной энергетической политики в сфере обеспечения экологической безопасности энергетики является сокращение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и снижение образования отходов в различных отраслях производственной деятельности. При этом строительная отрасль является ёмким потребителем различных видов топливно-энергетических ресурсов как в период возведения зданий, так и на стадии эксплуатации.

В последнее время динамично возрастают объёмы строительства малоэтажных жилых зданий в составе комплексной застройки пригородных районов в виде коттеджных кварталов или посёлков наряду с индивидуальным жилищным строительством. Для комплексной малоэтажной жилой застройки расходы ТЭР могут быть существенными, поскольку появляются дополнительные энергозатраты, связанные с формированием и функционированием инфраструктуры строительной площадки.

Учитывая требования нормативно-правовых документов в области энергетической эффективности и рационального использования ТЭР, актуальным является вопрос расчёта показателей их расхода на строительной площадке с целью определения на стадии планирования наиболее энергоэкологичного варианта возведения. Такой подход позволит производить оценку качественных и количественных параметров выбросов вредных веществ в окружающую среду.

В современном секторе малоэтажного строительства получила развитие застройка в виде коттеджных поселков. Производство работ по возведению зданий сопровождается потреблением различных видов энергетических ресурсов [1]. Их расход сопоставим со среднегодовым потреблением ТЭР в период эксплуатации зданий [2]. Однако состав энерго-

**Таблица № 1. Энергопотребление машинами, оборудованием и инструментом**

| № п/п                        | Энергопотребители  | Общие расходы ТЭР |
|------------------------------|--|-------------------|
| <b>Вариант возведения №1</b> |  |                   |
| 1                            | Земляные машины: бульдозер, экскаватор   | 972 л             |
| 2                            | Грузоподъемные машины: автомобильный кран  | 5 574 л           |
| 3                            | Технологическое оборудование: бетономеситель, растворосмеситель, растворонасос   | 9 006 кВт         |
| 4                            | Ручной механизированный инструмент: пневмотрамбовка с компрессором, дисковая пила, угловая шлифмашина  | 565 кВт           |
| Итого Д* и Б**, л:           |  | 6 546             |
| Итого, кВт:                  |  | 9 571             |
| <b>Вариант возведения №2</b> |  |                   |
| 1                            | Земляные машины: бульдозер, экскаватор   | 588 л             |
| 2                            | Грузоподъемные машины: автомобильный кран  | 3 786 л           |
| 3                            | Технологическое оборудование: бетономеситель, растворосмеситель, растворонасос   | 8 856 кВт         |
| 4                            | Ручной механизированный инструмент: пневмотрамбовка с компрессором, дисковая пила, угловая шлифмашина  | 546 кВт           |
| Итого Д* и Б**, л:           |  | 4 374             |
| Итого, кВт:                  |  | 9 402             |
| <b>Вариант возведения №3</b> |  |                   |
| 1                            | Земляные машины: бульдозер, экскаватор   | 972 л             |
| 2                            | Грузоподъемные машины: автомобильный кран  | 3 990 л           |
| 3                            | Технологические машины: автобетононасос  | 2 514 л           |
| 4                            | Технологическое оборудование: бетономеситель, растворосмеситель, растворонасос   | 9 804 кВт         |
| 5                            | Ручной механизированный инструмент: пневмотрамбовка с компрессором, насосная станция с прессом арматурным, сварочный инвертор, вибратор глубинный, аппарат пескоструйный с компрессором, дисковая пила, угловая шлифмашина | 2 609 кВт         |
| Итого Д* и Б**, л:           |  | 7 476             |
| Итого, кВт:                  |  | 12 413            |
| <b>Вариант возведения №4</b> |  |                   |
| 1                            | Земляные машины: бульдозер, сваебойная установка   | 630 л             |
| 2                            | Грузоподъемные машины: кран-манипулятор  | 4 080 л           |
| 3                            | Ручной механизированный инструмент: сварочный инвертор, шуруповерт электрический   | 2 874 кВт         |
| Итого Д* и Б**, л:           |  | 4 710             |
| Итого, кВт:                  |  | 2 874             |

\* – дизельное топливо;

\*\* – бензин автомобильный.

потребителей при возведении малоэтажных жилых зданий различных конструктивных систем варьируется, что предопределяет и количественные показатели расхода различных видов топлива, а также их суммарное значение. На основании проведенного анализа выделены следующие группы энергопотребителей на строительной площадке при производстве работ по возведению малоэтажных жилых зданий [3]:

- группа № 1 – выполнение строительных механизированных, полумеханизированных и ручных механизированных процессов (строительная техника, машины, оборудование, инструменты);
- группа № 2 – энергообеспечение временной инфраструктуры строительной площадки, бытового городка, рабочих помещений (освещение, отопление, водоснабжение и др.).

Для проведения исследования было выбрано несколько технологий строительства, получивших наибольшее распространение в практике малоэтажного домостроения, среди них:

- возведение зданий из кирпича (вариант № 1);
- возведение зданий из керамзитобетонных блоков (вариант № 2);
- возведение зданий с использованием несъемной опалубки с заполнением межопалубочного пространства лёгкобетонной смесью (вариант №3);
- возведение зданий из SIP-панелей (вариант № 4).

Исследование проводилось для жилого комплекса, состоящего из тридцати однотипных малоэтажных зданий (площадь каждого здания 190 м<sup>2</sup>).

По каждому варианту, исходя из технологических особенностей возведения, были определены состав, количество и требуемые технические характеристики для строительных машин, оборудования и инструментов, необходимые для выполнения работ на строительной площадке. Энергозатраты, приходящиеся на каждую группу, вычислялись умножением часового расхода ТЭР, определяемого согласно техническим паспортам, и рассчитанной продолжительности работы соответствующих машин и механизмов:

$$E_i = n \cdot Q_i \cdot T \quad (1),$$

где  $E_i$  – расход ТЭР  $i$ -го потребителя, л, кВт и др.;  $n$  – количество  $i$ -го потребителя;  $Q_i$  – часовой расход ТЭР  $i$ -го потребителя, л/час, кВт·час и др.;  $T$  – продолжительность работы, час.

Рассчитанные соответствующие им расходы ТЭР при возведении малоэтажных жилых зданий по различным технологиям представлены в таблице 1.

Энергопотребители временной инфраструктуры строительной площадки для рассматриваемых вариантов возведения определялись согласно их функциональному назначению:

- освещение административных и санитарно-бытовых помещений: лампы люминесцентные мощностью до 38 Вт;
- обогрев административных и санитарно-бытовых помещений: электрические конвекторные обогреватели мощностью до 1,5 кВт;
- нагрев воды для бытовых нужд: электрические поточные водонагреватели мощностью до 5,5 кВт;

- отопление сушильных: электрические котлы мощностью до 6 кВт;
- освещение стройплощадки: прожекторы мощностью до 2 лк;
- обогрев помещений и осушение воздуха при производстве внутренних отделочных работ: нагреватель воздуха мощностью до 5 кВт, осушитель воздуха мощностью до 0,6 кВт.

Потребное количество и продолжительность работы указанных энергопотребителей рассчитывалось исходя из численности рабочих и общего числа инвентарных зданий (для всех источников), продолжительности светового дня (для внутреннего освещения помещений), а также времени года (для обогрева рабочих помещений и бытового городка). Рассчитанные значения расходов ТЭР указанными энергопотребителями представлены в таблице 2.

Для сопоставимости рассчитанные значения, представленные согласно таблицам 1 и 2 в литрах и киловаттах, были приведены к универсальной единице измерения – килограмму условного топлива (кг у.т.). Перевод осуществляется согласно п. 6.3.2.4 ГОСТ 51750-2001<sup>1</sup> на основании следующих соотношений: 1 кВт·ч = 0,12 кг у.т., 1 кг дизельного топлива = 1,45 кг у.т., 1 кг автомобильного бензина = 1,52 кг у.т. В результате произведённых расчётов для рассматриваемых вариантов возведения малоэтажных зданий получена матрица энергопотребления (табл. 3).

<sup>1</sup> ГОСТ 51750-2001. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения (<https://docs.cntd.ru/document/1200012994>).

**Таблица 2. Энергопотребление временной инфраструктуры строительной площадки**

| Вариант и период возведения (число-месяц) | Освещение помещений бытового городка | Рабочее и охранное освещение стройплощадки | Обогрев помещений бытового городка, электронагрев воды для бытовых нужд | Обогрев рабочих помещений и осушение воздуха |
|---|--------------------------------------|--|---|--|
|   | кВт                                  |  |   |  |
| №1 (1.05–30.11)                           | 2417                                 | 16 783                                     | 108 106   | 21 158                                       |
| №2 (1.05–09.09)                           | 817                                  | 8 200                                      | 8 842   | 2 250  |
| №3 (1.05–03.10)                           | 975                                  | 10 683                                     | 31 275  | 9 142  |
| №4 (1.05–30.08)                           | 500                                  | 7 075                                      | 5 458   | –  |

**Таблица 3. Матрица энергопотребления при возведении малоэтажных жилых зданий**

| Наименование                    |  | Индекс i-го | Вариант №1           | Вариант №2 | Вариант №3 | Вариант №4 |
|---------------------------------|--|-------------|----------------------|------------|------------|------------|
| энергопотребителя               |  |             | Расходы ТЭР, кг у.т. |            |            |            |
| Группа №1                       | Строительная техника (на жидком топливе)     | E1          | 9 492                | 6 342      | 10 840     | 6 854      |
|                                 | Электрооборудование и инструмент             | E2          | 1 149                | 1 128      | 1 490      | 345        |
|                                 | Суммарные значения по группе №1              | ∑E1-2       | 10 641               | 7 470      | 12 330     | 7 199      |
| Группа №2                       | Освещение помещений                          | E3          | 290                  | 98         | 117        | 60         |
|                                 | Рабочее и охранное освещение                 | E4          | 2 014                | 984        | 1 282      | 849        |
|                                 | Обогрев помещений, электронагрев воды        | E5          | 12 973               | 1 061      | 3 753      | 655        |
|                                 | Обогрев рабочих помещений и осушение воздуха | E6          | 2 539                | 270        | 1 097      | –          |
| Суммарные значения по группе №2 |  | ∑E3-6       | 17 816               | 2 413      | 6 249      | 1 564      |

Выполненные расчёты позволили установить соотношение между отдельными группами энергопотребителей по расходу ТЭР на строительной площадке и внутри каждой группы (рис. 1).

Согласно представленной структуре, для вариантов возведения стен зданий из керамзитобетонных блоков, несъёмной опалубки и SIP-панелей в удельном выражении (кг у.т.) наибольшее энергопотребление приходится на расходование жидкого топлива: 64%, 58%, 78%, для варианта возведения из кирпича – на электроэнергию (67%). Превалирование потребления жидкого топлива для вариантов возведения № 1–3 объясняется технологическими особенностями, связанными с преобладанием механизированной техники и сроками возведения преимущественно в тёплый период времени.

Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов связана не только с экономным их расходом, но и сокращением загрязняющих окружающую среду выбросов в атмосферу как в процессе их производства, так и при дальнейшем использовании.

Согласно Указу Президента РФ № 176 утверждена Стратегия экологической безопасности РФ на период до 2025 года, которая направлена на «формирование эффективной, конкурентоспособной и экологически ориентированной модели развития экономики, обеспечивающей наибольший эффект

при сохранении природной среды, её рациональном использовании и минимизации негативного воздействия на окружающую среду»<sup>2</sup>. Указанные требования относятся ко всем отраслям народного хозяйства, в том числе строительной.

В последние десятилетия ведутся комплексные исследования в области сбалансированности развития биотехносферы региона и человеческой деятельности, основанные на принципах биосферной совместимости [4–5]. При возведении объектов строительства одним из немаловажных факторов, влияющих на состояние окружающей среды, является наличие вредных выбросов при работе машин и механизмов с использованием различных видов топлива, а также режимов и условий работы.

Как показал проведённый выше анализ расходования ТЭР при возведении малоэтажных жилых зданий наибольшее энергопотребление приходится на электроэнергию и жидкое дизельное топливо. Получение электроэнергии осуществляется посредством топливных электростанций, гидроэлектростанций, атомных станций, солнечных, ветряных,

<sup>2</sup> О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71559074/>).

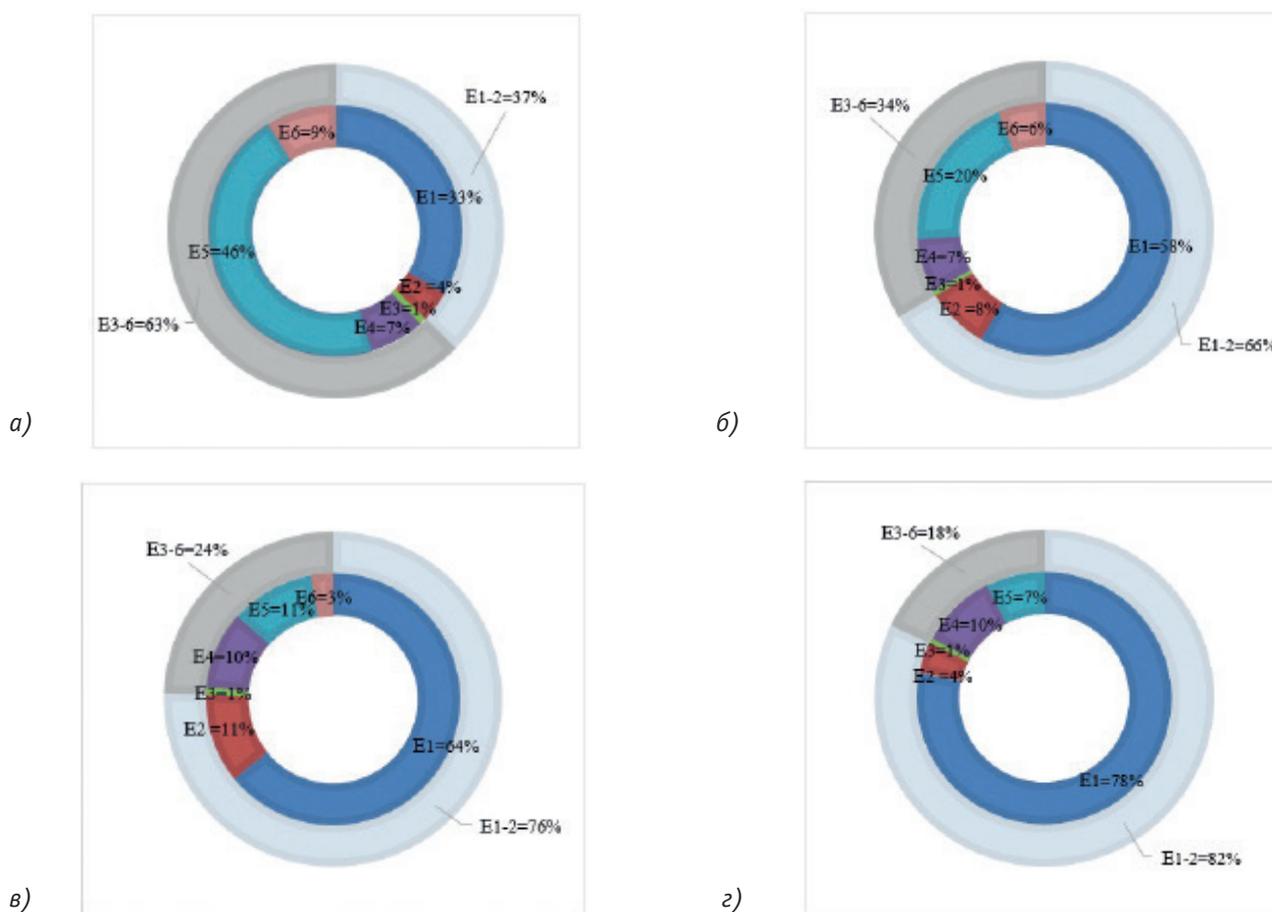


Рис. 1. Структура энергопотребления вариантов возведения малоэтажных жилых зданий по вариантам возведения: а) № 1; б) № 2; в) № 3; г) № 4. Схема авторов статьи

гидротермальных источников и проч. Согласно данным Росстата основную нагрузку по обеспечению спроса на электроэнергию в России в 2020 году несли тепловые электростанции (ТЭС), выработка которых составила 556 млрд кВт·ч. Известно, что объекты теплоэнергетики являются определяющими в потреблении воды и кислорода, а также в тепловом загрязнении окружающей среды [6–11]. Несмотря на существующие методики и разработки, направленные на сокращение выбросов вредных веществ [12–16], ТЭС по-прежнему работают на органическом топливе, в качестве которого используют природные ресурсы: природный газ, уголь, мазут. С продуктами сжигания различных видов топлива выбрасываются вредные вещества, удельные показатели которых приведены в таблице 4 [17].

При работе строительных машин, оборудования и инструмента на жидком топливе также выделяются вредные вещества, загрязняющие атмосферу. В зависимости от эксплуатационной мощности дизельного двигателя определяются значения выбросов вредных веществ (согласно ГОСТ Р 56163-2019<sup>3</sup>), основные из которых представлены в таблице 5.

Для рассматриваемых вариантов возведения были рассчитаны показатели выбросов основных вредных веществ: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, твёрдые частицы. Расчёт выбросов при получении электроэнергии осуществлялся на примере работы ТЭЦ-22 (Московская область, город Дзержинский) при работе на каменном угле. Для расчёта выбросов при работе машин и механизмов на дизельном топливе были приняты следующие мощности двигателей: бульдозер – 53 кВт (для всех вариантов); экскаватор – 90 кВт (для варианта № 1), 84 кВт (для вариантов № 2 – 3); кран автомобильный – 169 кВт (для вариантов № 1–3); кран-манипулятор – 65 кВт (для варианта № 4). Для сравнения значения выбросов представлены на рисунке 2.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 56163-2019. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчёта выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными дизельными установками (новыми и после капитального ремонта) различной мощности и назначения при их эксплуатации (<https://docs.cntd.ru/document/1200167789>).

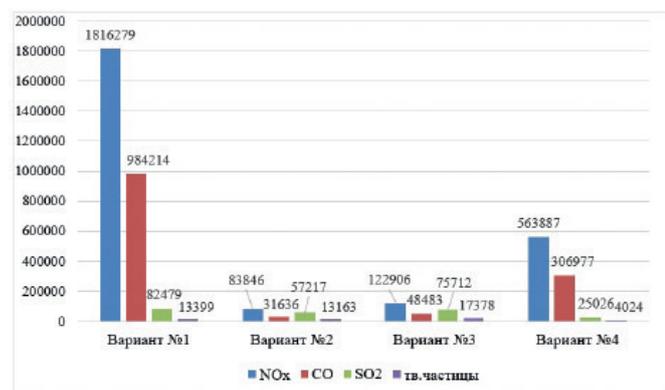


Рис. 2. Величина выбросов вредных веществ (в граммах) при возведении малоэтажных зданий

Согласно полученным значениям, наибольшие выбросы вредных веществ приходятся на возведение зданий из кирпича, наименьшие – из SIP-панелей.

Расчёт значений выбросов вредных веществ может быть использован при проектировании строительства жилых зданий с целью выбора наиболее энергоэкологичного варианта возведения из рассматриваемых.

\* \* \*

Энергетика любого государства является одним из решающих факторов развития её экономики, в связи с чем энергосберегающая политика направлена на эффективное и рационально-ответственное использование энергетических ресурсов в различных отраслях народного хозяйства. При этом потребление ТЭР неразрывно связано с проблемой экологической безопасности, возникающей в результате негативного воздействия вредных выбросов в окружающую среду.

Проведённые исследования показали, что структура энергопотребления периода возведения малоэтажных жилых зданий формируется в зависимости от применяемой технологии возведения, организации производства работ, инфраструктуры строительной площадки. Это находит отражение в комплектации вариативного состава и количества энергопотребителей на строительной площадке. Выполненная декомпозиция энергозатрат (в киловаттах, литрах) позволила установить для каждого из рассматриваемых вариантов возведения преобладающие значения расходования ТЭР (электроэнергия или жидкое топливо).

В целях развития научно-технических подходов к экологической безопасности строительного производства были рассчитаны выбросы основных вредных веществ, приходящиеся на выработку электроэнергии и потребление топлива в период

Таблица 4. Удельные показатели загрязнения атмосферы (г/кВт·ч) от сжигания различных видов топлива

| Выбросы                        | Вид топлива    |             |       |               |
|--------------------------------|----------------|-------------|-------|---------------|
|                                | Каменный уголь | Бурый уголь | Мазут | Природный газ |
| SO <sub>2</sub> (оксид серы)   | 6,0            | 7,7         | 7,4   | 0,002         |
| NO <sub>x</sub> (оксиды азота) | 2,8            | 3,4         | 2,4   | 1,9           |
| Твёрдые частицы                | 1,4            | 2,7         | 0,7   | –             |
| Гидрокарбонаты                 | 0,05           | 1,11        | 0,004 | –             |

Таблица 5. Значения выбросов при работе дизельных двигателей

| Период производства дизельных двигателей | Выброс, г/кВт·ч |                 |     |     |                 |
|--|-----------------|-----------------|-----|-----|-----------------|
|  | CO              | NO <sub>x</sub> | CH  | C   | SO <sub>2</sub> |
| С 2000 до 2021 гг.                       | 5,5             | 10,0            | 1,0 | 0,5 | 0,14            |

возведения малоэтажных жилых зданий. Такой подход позволяет на этапе планирования строительства выбирать наиболее энергорациональные и экологичные варианты возведения.

#### Литература

1. Король, Е.А. Алгоритм выбора рациональных организационно-технологических решений при строительстве малоэтажных жилых зданий / Е.А. Король, А.А. Журавлёва // Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 7. – С. 51–53.
2. Грабовый, К.П. Анализ потребления энергоресурсов на строительной площадке и резервов их сокращения / К.П. Грабовый, О.А. Король // Естественные и технические науки. – 2014. – № 11-12 (78). – С. 399–401.
3. Король, Е.А. Анализ структуры энергозатрат при строительстве малоэтажных жилых зданий / Е.А. Король, А.А. Журавлёва // Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 3. – С. 62–64.
4. Бакаева, Н.В. Обеспечение безопасности среды жизнедеятельности города на принципах биосферной совместимости / Н.В. Бакаева, Д.В. Матюшин // Экономика строительства и природопользования. – 2020. – № 1 (74). – С. 5–16.
5. Ильичёв, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенева, А.Л. Поздняков // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 1. – С. 71–84.
6. Санеев, Б.Г. Оценка воздействия топливно-энергетического комплекса Иркутской области на природную среду / Б.Г. Санеев, Е.П. Майсюк // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – № 2. – С. 249–256.
7. Асланова, Э.Г. Распространение выбросов электростанций в атмосфере, их воздействие на состояние окружающей среды и человека [Электронный ресурс] / Э.Г. Асланова // Бюллетень науки и практики. – 2020. – № 10. – С. 118–123. – Режим доступа: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/10> (дата обращения 15.05.2021).
8. Чайкина, Е.А. Загрязнение атмосферного воздуха теплоэлектростанциями [Электронный ресурс] / Е.А. Чайкина // Современные научные исследования и инновации. – 2018. – № 6. – С. 18. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2018/06/86852> (дата обращения 16.05.2021).
9. Bobat, A. Thermal Pollution Caused by Hydropower Plants / A. Bobat // Energy Systems and Management. – Стамбул : Kocaeli University, 2015. – P. 19–32.
10. Aggarwal, T.M. Thermal Power Plants and Pollution / T.M. Aggarwal // Environmental Control in Thermal Power Plants. – Абингдон, 2021. – P. 473–513.
11. Tasnim, G. Environmental impacts of Thermal Power plants in India and its Abatement measures / G. Tasnim, M. Anwer // International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM). – 2020. – № 8. – P. 1–14.
12. Hanatani, A. General planning of thermal power plant / A. Hanatani, M. Ozawa // Advances in Power Boilers. – Chennai, 2021. – P. 107–118.

13. Storm, K. Solar thermal power plant / K. Storm // Industrial Process Plant Construction Estimating and Man-Hour Analysis. – Cambridge, USA, 2019. – P. 187–215.

14. Seok-Hyeon, Yu. Development Trend of High Efficiency and Low Emissions Thermal Power Plants / Yu Seok-Hyeon, Gang Seung-Gyu, Seok Jin-Ik and other // KEPCO journal on Electric Power and Energy. – 2016. – № 2. – P. 193–203.

15. Зайченко, В.М. Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям / В.М. Зайченко, Д.А. Соловьев, А.А. Чернявский // Окружающая среда и энерговедение. – 2020. – № 1. – С. 33–47.

16. Крылов, Д.А. Пути снижения экологического воздействия на окружающую среду угольных ТЭС России / Д.А. Крылов, Г.П. Сидорова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 11. – С. 277–285.

17. Канило, П.М. Анализ энергоэкологических показателей тепловых электростанций / П.М. Канило, М.В. Сарапина // Проблемы машиностроения. – 2013. – № 1. – С. 68–74.

#### References

1. Korol' E.A., Zhuravleva A.A. Algoritm vybora ratsional'nykh organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii pri stroitel'stve maloetazhnykh zhilykh zdaniy [Algorithm for choosing rational organizational and technological solutions in the construction of low-rise residential buildings]. In: *Byulleten' stroitel'noi tekhniki* [Construction machinery bulletin], 2018, no. 7, pp. 51–53. (In Russ., abstr.in Engl.)
2. Grabovyy K.P., Korol' O.A. Analiz potrebleniya energoresursov na stroitel'noi ploshchadke i rezervov ikh sokrashcheniya [Analysis of energy consumption at the construction site and reserves for their reduction]. In: *Estestvennye i tekhnicheskije nauki* [Natural and technical sciences], 2014, no. 11–12 (78), pp. 399–401. (In Russ.)
3. Korol' E.A., Zhuravleva A.A. m [Analysis of the structure of energy consumption in the construction of low-rise residential buildings]. In: *Byulleten' stroitel'noi tekhniki* [Construction machinery bulletin], 2020, no. 3, pp. 62–64. (In Russ., abstr. in Engl.)
4. Bakaeva N.V., Matyushin D.V. Obespechenie bezopasnosti sredy zhiznedeyatel'nosti goroda na printsipakh biosfernoi sovmestimosti [Ensuring the safety of the city life environment based on the principles of biosphere compatibility]. In: *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya* [Economics of construction and environmental management], 2020, no. 1 (74), pp. 5–16. (In Russ., abstr.in Engl.)
5. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bersenev A.V., Pozdnyakov A.L. Nekotorye voprosy proektirovaniya poselenii s pozitsii kontseptsii biosfernoi sovmestimosti [Some Issues of Designing Settlements from the Position of the Concept of Biosphere Compatibility]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2009, no. 1, pp. 71–84. (In Russ.)

6. Saneev B.G., Maisyuk E.P. Otsenka vozdeystviya toplivno-energeticheskogo kompleksa Irkutskoy oblasti na prirodnyuyu sredyu [Assessment of the impact of the fuel and energy complex of the Irkutsk region on the environment]. In: *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta], 2018, no. 2, pp. 249–256. (In Russ., abstr.in Engl.)
7. Aslanova E.G. Rasprostranenie vybrosov elektrostantsiy v atmosfere, ikh vozdeystvie na sostoyanie okruzhayushchey sredy i cheloveka [Distribution of emissions from power plants in the atmosphere, their impact on the state of the environment and humans]. In: *Byulleten' nauki i praktiki* [Science and Practice Bulletin], 2020, no. 10, pp. 118–123. Access mode: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/10> (Accessed 05/15/2021). (In Russ., abstr.in Engl.)
8. Chaykina E.A. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhа teploelektrostantsiyami [Air pollution from thermal power plants]. In: *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [State of the art research and innovation], 2018, no. 6, p. 18. Access mode: <https://web.snauka.ru/issues/2018/06/86852> (Accessed 05/16/2021). (In Russ.)
9. Bobat A. Thermal Pollution Caused by Hydropower Plants. In: Kocaeli University. *Energy Systems and Management*, Istanbul, 2015, pp. 19–32. (In Engl.)
10. Aggarwal T.M. Thermal Power Plants and Pollution. In: *Environmental Control in Thermal Power Plants*, Abingdon, 2021, pp. 473–513. (In Engl.)
11. Tasnim G., Anwer M. Environmental impacts of Thermal Power plants in India and its Abatement measures. In: *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, 2020, Vol. 8, pp. 1–14. (In Engl.)
12. Hanatani A., Ozawa M. General planning of thermal power plant. In: *Advances in Power Boilers*, Chennai, 2021, pp. 107–118. (In Engl.)
13. Storm K. Solar thermal power plant. In: *Industrial Process Plant Construction Estimating and Man-Hour Analysis*, Cambridge USA, 2019, pp. 187–215. (In Engl.)
14. Seok-Hyeon Yu, Seung-Gyu Gang, Jin-Ik Seok [et al.]. Development Trend of High Efficiency and Low Emissions Thermal Power Plants. In: *KEPCO journal on Electric Power and Energy*, 2016, Vol. 2, pp. 193–203. (In Engl.)
15. Zaychenko V.M., Chernyavskiy A.A. Perspektivnyye napravleniya razvitiya energetiki Rossii v usloviyakh perekhoda k novym energeticheskim tekhnologiyam [Prospective directions for the development of the Russian energy sector in the context of the transition to new energy technologies]. In: *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie* [Environment and energy science], 2020, no. 1, pp. 33–47. (In Russ., abstr.in Engl.)
16. Krylov D.A., Sidorova G.P. Puti snizheniya ekologicheskogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu ugol'nykh TES Rossi [Ways to reduce the environmental impact on the environment of coal-fired TPPs in Russia]. In: *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten* [Mining information and analytical bulletin], 2015, no. 11, pp. 277–285. (In Russ., abstr.in Engl.)
17. Kanilo P.M., Sarapina P.M. Analiz energoekologicheskikh pokazateley teplovykh elektrostantsiy [Analysis of energy-ecological indicators of thermal power plants]. In: *Problemy mashinostroeniya* [Mechanical engineering problems], 2013, no. 1, pp. 68–74. (In Russ.)

**Король Елена Анатольевна** (Москва). Доктор технических наук, профессор. Заведующая кафедрой «Жилищно-коммунальный комплекс», НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26). Эл.почта: [KorolEA@gic.mgsu.ru](mailto:KorolEA@gic.mgsu.ru).

**Журавлева Анастасия Андреевна** (Москва). Кандидат технических наук. Преподаватель кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26). Эл.почта: [KafedraGKK@mgsu.ru](mailto:KafedraGKK@mgsu.ru).

**Korol' Yelena A.** (Moscow). Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Housing and Communal Services at the Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337. MGSU). E-mail: [KorolEA@gic.mgsu.ru](mailto:KorolEA@gic.mgsu.ru);

**Zhuravleva Anastasiya A.** (Moscow). Candidate of Technical Sciences, Lecturer at at the Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337. MGSU). E-mail: [KafedraGKK@mgsu.ru](mailto:KafedraGKK@mgsu.ru).