



УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА/LIFECYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION OBJECTS

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7>**ФОРМИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ**

Научная статья

Лосев Ю.Г.¹, Лосев К.Ю.²*² ORCID : 0000-0001-5987-0375;¹ Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, Старооскольский филиал, Старый Оскол, Российская Федерация² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (c.lossev[at]gmail.com)

Аннотация

Предметной областью статьи является исследование специальной задачи снижения энергозатратности и совершенствования *энергоэффективности объектов строительства* на основе нейросетей на примере объектов малоэтажного жилищного строительства авторской строительной системе Экодом с конструкциями из монолитных композиционных гипсобетонов. Решения подобных задач основаны на больших базах данных весовых коэффициентов элементов предметной области. Большие данные энергозатратности в физических единицах для конструкций вариантов строительной системы Экодом фактически отсутствуют. Однако отдельные данные энергозатратности в килограммах условного топлива по материалам и строительно-монтажным работам представлены в публикациях и имеются на основе опытных данных и исследований. Опираясь на опытное знание структуры энергозатрат для данной строительной системы, рассмотрены первоначальные экспертные значения весовых коэффициентов конструкций построенного варианта. А также множества потенциальных вариантов приведенных весовых коэффициентов энергозатрат конструкций в составе реляционных (табличных) моделей для фундаментов, наружных и внутренних стен, перекрытий и покрытий, крыш, перегородок и других конструктивных частей системы. Рассчитана ориентировочная приведенная энергозатратность для построенного варианта жилого дома системы Экодом равная 115.65 кг.у.т /м². Предлагается возможный тип архитектуры нейросети для специальной задачи снижения энергозатратности на примере данной строительной системы и реляционных моделей весовых коэффициентов энергозатрат конструкций данных по вариантам объектов малоэтажного строительства. Для выявления фактических резервов снижения энергозатратности и внедрения инноваций в конструкциях строительных систем предлагается использовать методику функционально-энергетического анализа. Авторы делают вывод, что само решение специальной задачи на основе нейросети, создание полноценной нормативной базы энергозатратности, накопление базы данных весовых коэффициентов энергозатрат конструкций по вариантам потребует значительных ресурсов, времени и станет возможной при массовом внедрении строительной системы Экодом и повышения энергоэффективности объектов малоэтажного строительства. Данный вывод относится и к другим аналогичным строительным системам.

Ключевые слова: нейронные сети, искусственный интеллект, строительная система, объекты малоэтажного строительства, энергозатратность, весовые коэффициенты энергозатрат конструкций, инновации, функционально-энергетический анализ.

FORMATION OF LARGE DATABASES FOR NEURAL NETWORK DEPOSITS TO REDUCE THE ENERGY CONSUMPTION OF LOW-RISE BUILDING SYSTEMS

Research article

Losev Y.G.¹, Losev K.Y.²*² ORCID : 0000-0001-5987-0375;¹ National Research Technological University MISIS, Starooskolsky branch, Stary Oskol, Russian Federation² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (c.lossev[at]gmail.com)

Abstract

The domain area of the article is the study of the special task of reducing energy consumption and improving the *energy efficiency of construction facilities* based on neural networks using the example of low-rise housing construction facilities, the author's Eco-house construction system with structures made of monolithic composite gypsum concrete. Solutions to such problems are based on large databases of weighting coefficients of domain elements. There is virtually no large data on energy consumption in physical units for the designs of variants of the Eco-house construction system. However, some data on energy consumption in kilograms of conventional fuel for materials and construction and installation works are presented in publications and are available on the basis of experimental data and research. Based on the experienced knowledge of the energy consumption structure for this construction system, the initial expert values of the weight coefficients of the structures of the constructed version are considered. As well as a variety of potential variants of the given weight coefficients of energy



consumption of structures as part of relational (tabular) models for foundations, exterior and interior walls, floors and coverings, roofs, partitions and other structural parts of the system. The estimated reduced energy consumption for the built version of the residential building of the Eco-house system is calculated at 115.65 kg.u.t./m². The authors propose a possible type of neural network architecture for the special task of reducing energy consumption, using the example of this construction system and relational models of the weighting coefficients of energy consumption of data structures for low-rise construction projects. To identify the actual reserves for reducing energy consumption and introducing innovations in the construction of building systems, it is proposed to use the methodology of functional energy analysis. The authors conclude that the very solution of a special task based on a neural network, the creation of a full-fledged regulatory framework for energy consumption, the accumulation of a database of weighting coefficients of energy consumption of structures by variants will require significant resources and time and will become possible with the massive introduction of an Eco-house construction system and an increase in the energy efficiency of low-rise buildings. This conclusion applies to similar building systems.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, construction system, low-rise construction facilities, energy consumption, energy consumption weight coefficients of structures, functional and energy analysis.

Введение

Последние десятилетия сложилось устойчивое понимание, что на основе искусственных нейронных сетей (математических структур подобных нейронным сетям мозга) возможно настраиваться на выполнении различных специальных задач деятельности людей на основе алгоритмов обучения или самообучения нейросетей. Для решения таких задач требуется наличие развитой среды накопления больших данных в составе баз данных и знаний конкретной предметной области. Множество подобных нейросетей для решения специальных задач в разных сферах, включая производство, получило наименование «искусственного интеллекта» (далее ИИ) [1], [2].

Опытное знание в структуре нейросетей всегда представлено в виде весовых значений связей-синапсов нейросети предметной области (весовых коэффициентов в диапазоне 0–1), способных по алгоритму обучающей выборки к целенаправленной перестройке весовых значений синапсов нейронов. Если полученный результат близок к результату решения поставленной специальной задачи, то архитектура нейросети будет стремиться при выполнении следующего аналогичного примера усилить весовые воздействия данного синапса. Функционирование нейросети будет улучшаться по мере итеративной настройки весовых коэффициентов.

Для производственной сферы построенные нейросети спецзадач представляют собой интеллектуальные системы принятия решений и выполняют роль ИИ в качестве средства — помощи лицам, принимающих решения (ЛПР) совершенствовать специальные задачи производства изделий [2], [3].

Для отрасли строительства, по мнению авторов, первостепенными специальными задачами являются задачи снижения энергозатратности и совершенствования энергоэффективности объектов строительства. Данная статья развивает положения публикации авторов [3] и ориентирована на объекты малоэтажного (до 4-х этажей) гражданского строительства (ОМС). Важность снижения энергозатратности производства ОМС и экономии ресурсов связана с большими объемам строительства, которые уже составляют в отдельных регионах не менее 60% от общего объема градостроительства в стране.

Методы и принципы исследования

Специальные задачи построения нейросетей для совершенствования энергозатратности ОМС всегда будут иметь объектно-ориентированный характер, так как связаны с применяемой конкретной строительной системой возведения остова из каменных, железобетонных, металлических, деревянных и различных сочетаний конструкций. И базы данных, используемые для оценки энергозатрат в различных строительных системах, существенно отличаются для несущих и ограждающих конструкций ОМС. Отличия баз данных связаны с энергоемкостью производства материалов и производства самих конструкций остова для различных строительных систем ОМС: каркасных, панельных, блочных, монолитных из бетонов различных вяжущих, мелкоштучных каменных для множества вариантов стен, перекрытий, покрытий, фундаментов и других конструктивных частей.

Такую объектную ориентацию при анализе энергозатрат предлагается выполнить на примере авторской строительной системе Экодом (ССЭ), с конструктивными решениями остова ОМС на основе монолитных композиционных гипсобетонов [4], [5], [6].

Краткое представление о конструкциях остова ССЭ в составе фундаментов, стен, перекрытий, крыши далее в следующем описании.

Надземная часть ССЭ выполняется из сборно-монолитных конструкций стен, перекрытий с несущими элементами в составе металлического каркаса из ЛСТК (толщиной 1–1,2 мм) с термопрофилями (просечного типа). Профили стоек стен приняты в виде швеллера № 10-20, к которым вертикально крепиться саморезами несъемная опалубки из листов ГВЛВ, ГСЛВ. Для наружных стен в стеновую опалубку заливается композиционный гипсобетон средней плотности 500 кгс/м³. Для внутренних стен и перекрытий средняя плотность до 1000 кгс/м³. Для балочных перекрытий и покрытий используются балки из составных двутавровых профилей ЛСТК № 10-15 на которые к нижним полкам двутавров крепятся листы горизонтальной несъемной опалубки из ГВЛВ, ГСЛВ. На опалубку перекрытий послойно заливается композиционный гипсобетон (обычно гипсокерамзитобетон). Как правило, на полки двутавров перекрытий укладывается арматурная сетка для работы в растянутой и сжатой зоне монолитного слоя гипсобетона. В составе гипсобетонов используются различные модификаторы для повышения водостойкости, прочности, эластичности, замедления схватывания для получения композиционных свойств. Используются различные средства механизации и, в первую очередь, бетононасосы для укладки гипсобетонов (в перспективе робототехнику).

В конструкциях крыши, помимо традиционных, можно использовать несущие стропила, стойки, подкосы опоры их профилей ЛСТК, обшивку из листов ГВЛВ, ГСЛВ. Повышенная теплозащита ограждающих конструкций на основе поризованного гипсобетона, «эковаты», пеностекла, перлита, пеноизола и аналогичных материалов.

Фундаменты традиционные: ленточные, столбчатые, свайные, плитные из тяжелого железобетона. В конструкциях фундаментов при обосновании возможно использовать водостойкие гипсобетоны с армированием их стеклопластиковой арматуры.

Примеры конструкций ССЭ для применения в гражданских зданиях представлены на рисунках 1 а,б и 2 а,б.



Рисунок 1 - Примеры конструкций ССЭ для применения в гражданских зданиях:

а - конструкции стен с несъемной опалубкой ГВЛВ; б - конструкции перекрытий с несъемной опалубкой ГВЛВ
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.1>

Важно отметить, что конструкции ССЭ позволяют создавать благоприятную архитектурную среду по форме и этажности и любые объемно-планировочные решения ОМС для индивидуальных и блокированных гражданских зданий с разнообразными архитектурными фасадами.

Примеры фасадов гражданских зданий в конструкциях ССЭ с гипсовыми архитектурными деталями представлены на рисунке .2 а,б.



Рисунок 2 - Примеры фасадов гражданских зданий в конструкциях ССЭ с гипсовыми архитектурными деталями:
а - общественное здание; б - жилой дом
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.2>

Основная энергозатратность конструктивных решений ССЭ закладывается в цепочке производства материалов, а также в технологиях производства конструкций остова ОМС. Опираясь на опытное (экспертное) знание структуры энергозатрат ССЭ, предлагаем экспертные значения первоначальных весовых коэффициентов энергозатрат в составе моделей иерархических структур конструкций, представленных на рисунках 3.

На исходном рисунке 3, общие энергозатраты ССЭ приняты равным 100%, с весовым коэффициентом энергозатратности — 1 (единица). Иерархические структуры на рисунках 3–9 предлагают первоначальное опытное значение весовых коэффициентов энергозатрат ССЭ в отдельных конструкциях и конечных элементах зданий.



Рисунок 3 - Коэффициенты энергозатрат основных конструкций ССЭ ОМС
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.3>

Примечание: суммарно 1

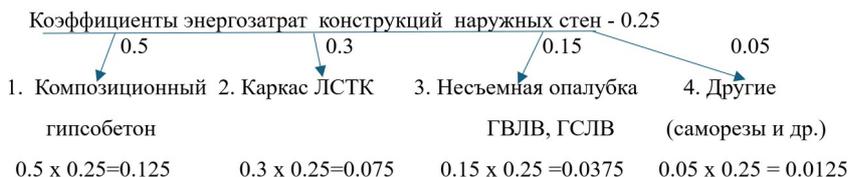


Рисунок 4 - Коэффициенты энергозатрат конструкций наружных стен
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.4>

Примечание: - 0,25

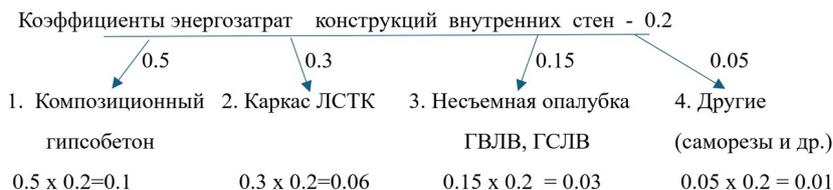


Рисунок 5 - Коэффициенты энергозатрат конструкций внутренних стен
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.5>

Примечание: - 0,2

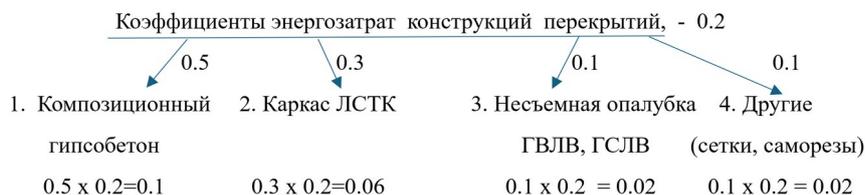


Рисунок 6 - Коэффициенты энергозатрат конструкций перекрытий
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.6>

Примечание: - 0,2

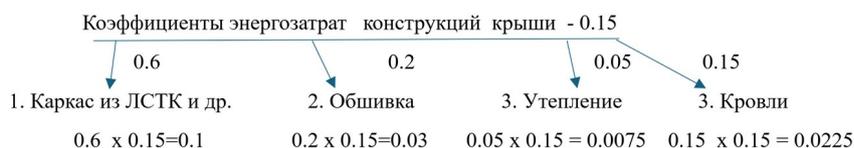


Рисунок 7 - Коэффициенты энергозатрат конструкций крыши
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.7>

Примечание: - 0,15

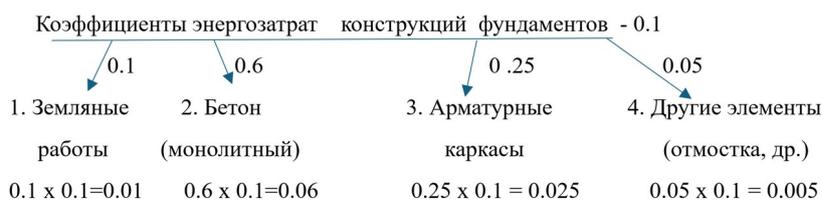


Рисунок 8 - Коэффициенты энергозатрат конструкций фундаментов
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.8>

Примечание: - 0,1



Рисунок 9 - Коэффициенты энергозатрат других конструкций
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.9>

Примечание: - 0,1

Основные результаты

Представленные в иерархических моделях опытные значения весовых коэффициентов энергозатрат конструкций ССЭ устанавливают ориентиры дальнейшего построения больших баз данных фактических значений энергозатрат этих конструкций. Данная проблема представляется наиболее важной и трудоемкой, поскольку имевшихся наработок в строительстве пока недостаточно, а нормативная база энергозатрат в строительстве фактически отсутствует [7], [8], [9], [10].

Однако, численные значения энергозатрат в килограммах условного топлива (кг.у.т.) для ряда строительных материалов можно принять из исследований и источников в публикациях [7], [8]. Требуется знать соответствующие объемы материалов и конструкций в запроектированных и построенных ОМС.

Для примера расчета энергозатрат конструкций остова ССЭ (стен, перекрытий, фундаментов) используем объемы материалов построенного жилого дома с мансардой общей площадью — 220 м² (см. Рис. 2 б).

Расчеты энергозатрат на основе объемов и удельных энергозатрат материалов конструкции по дому сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Расчеты энергозатрат

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.10>

№ п/п	Основные материалы	Удельные энергозатраты на материалы	Объем материала	Общие энергозатраты кг.у.т
1	Гипс, Г5	56 кг.у.т. / т	20 т	1120,0
2	ЛСТК	1050 кг.у.т./ т	2,240 т	2362,0



№ п/п	Основные материалы	Удельные энергозатраты на материалы	Объем материала	Общие энергозатраты кг.у.т
3	ГВЛВ	2687 кг.у.т/1000 м ²	660 м ²	1773,0
4	Керамзит	122 кг.у.т / м ³	50 м ³	6100,0
5	Модификаторы гипса	2500 кг.у.т/т	2,2 т	5500,0
6	Бетон (свайный фундамент)	136 кг.у.т/ м ³	7 м ³	952,0
7	Арматура (каркасы, сетки)	920 кг.у.т/т	0.400 т	368,0
Итого:				18175,0

Полезность данных расчетов также в том, что наглядно виден весомый вклад энергозатрат каждого материала в общую сумму энергозатрат на строительство дома. Наименьший вклад в энергозатратность дает Гипс (анализ преимуществ применения гипса в ОМС рассмотрен в [5]). Наибольший вклад энергозатрат в примере приходится на керамзит, модификаторы гипса (со значительным объемом цемента в его составе), ЛСТК из оцинкованного прокатного листа. Здесь заложены направления выявления и изучения резервов снижения энергозатратности ССЭ ОМС.

Среднее соотношение энергозатрат в строительстве практически составляет [7], [8], [9], [10]:

- 80% — энергозатраты на производство стройматериалов;
- 20% — энергозатраты на производство зданий из этих материалов.

При строительстве жилого дома по технологии ССЭ, по нашей оценке, установлено соотношение энергозатрат для конструкций фундаментов, стен, перекрытий, крыша следующее: по материалам — 65%; по строительно-монтажным работам — 35%.

Соответственно, примем энергозатраты на строительно-монтажные работы возведения конструкций остова рассматриваемого варианта дома с коэффициентом — 1,4 (с учетом различных неопределенностей).

Следовательно, общие энергозатраты на возведение остова составят:

$$Э_d = 18175,0 \times 1,4 = 25445,0 \text{ кг.у.т /дом}$$

Приведенные затраты на м² общей площади варианта составят:

$$Э_{дпр} = 25445,0 / 220 = 115,65 \text{ кг.у.т /м}^2$$

Не сложно рассчитать для рассматриваемого варианта фактические энергозатраты конструкций остова ССЭ с помощью весовых коэффициентов энергозатратности, используя данные в структурах Рис.3. Например энергозатраты наружных стен для нашего примера составят следующие результаты:

$$25445,0 \times 0,25 = 6361,25 \text{ кг.у.т /дом}; 115,65 \times 0,25 = 28,91 \text{ кг.у.т /м}^2$$

Полученные численные значения энергозатрат устанавливают вклад каждого элемента конструкций в общую энергозатратность дома.

Множество данных рассчитанных коэффициенты для потенциального множества вариантов запроектированных и построенных домов создают большую базу данных, необходимую для решения специальных задач снижения энергозатратности и совершенствования энергоэффективности конструкций ССЭ на основе построения соответствующей нейросети.

Обобщение множества вариантов весовых коэффициентов энергозатратности в больших базах данных представляется в виде графовых моделей. Эти модели — суть исходные данные для области определения нейросетевых спецзадач снижения энергозатратности конструкций ОМС. Примеры иерархии реляционных моделей по множеству вариантов ОМС ССЭ и значения весовых коэффициентов энергозатрат (ВКЭ) основных конструкций по вариантам ОМС ССЭ представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Примеры иерархии реляционных моделей по множеству вариантов ОМС ССЭ и значения весовых коэффициентов энергозатрат (ВКЭ) основных конструкций по вариантам ОМС ССЭ

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.11>

№ варианта	1 ВКЭ варианта конструкции фундаментов	2 ВКЭ варианта конструкции наружных стен	3 ВКЭ конструкции внутренних стен	4 ВКЭ конструкции перекрытий или покрытий	ВКЭ конструкции крыши	ВКЭ других конструкций	7 Удельные энергозатраты по вариантам, кг.у.т. /м ²
1	0,1	0,25	0,2	0,2	0,15	0,1	115,65
2	Ф ₂₁	НС ₂₂	ВС ₂₃	П ₂₄	К ₂₅	Д ₂₆	УЭ ₂₇
-	-	-	-	-	-	-	-
i	Ф _{i1}	НС _{i2}	ВС _{i3}	П _{i4}	К _{i5}	Д _{i6}	УЭ _{i7}

№ варианта	1 ВКЭ варианта конструкци й фундамент ов	2 ВКЭ варианта конструкци й наружных стен	3 ВКЭ конструкци й внутренних стен	4 ВКЭ конструкци й перекрытий или покрытий	ВКЭ конструкци й крыши	ВКЭ других конструкци й	7 Удельные энергозатра ты по вариантам, кг.у.т. /м ²
-	-	-	-	-	-	-	-
n	Ф _{n1}	НС _{n2}	ВС _{n3}	П _{n4}	К _{n5}	Д _{n6}	УЭ _{n7}

Значения коэффициентов первого исходного варианта ОМС (первой строки в таблице 2) соответствуют опытным данным из структур на рисунке 3. Ожидаемые значения весовых коэффициентов энергозатрат по множеству возможных вариантов проектов ССЭ ОМС внесены в таблицу 2 в виде показателей с буквенными индексами конструкций по содержанию (ф,нс,вс,п,к,д,уэ). Содержательные индексы весовых коэффициентов энергозатрат конструкций следующие: ф — фундаменты; нс — наружные стены; вн — внутренние стены; п — перекрытия покрытия; к — крыши; д — другие конструкции; уэ — удельные энергозатраты варианта.

Местоположение данных в таблице индексируется как ij . Индекс i — номер варианта проекта ОМЖС, а n — количество вариантов, где $1 \leq i \leq n$. Индекс значения весовых коэффициентов и удельных энергозатрат по варианту — j , здесь $1 \leq j \leq 7$.

Аналогично строится реляционная модель, к примеру, для наружных стен, со значениями весовых коэффициентов энергозатрат (долями энергозатрат) наружных стен по вариантам ОМС ССЭ, что представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Реляционная модель для наружных стен со значениями весовых коэффициентов энергозатрат (долями энергозатрат) наружных стен по вариантам ОМС ССЭ

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.7.12>

№ варианта для «нс»	Композиционн ый гипсобетон	Каркас ЛСТК	Несъемная опалубка ГВЛВ	Другие элементы и детали стен	Удельные энергозатраты по вариантам, кг.у.т./м ²
1	0,125	0,075	0,0375	0,0125	115,65
2	гб ₂	К ₂	НО ₂	Д ₂	УЭ ₂
-	-	-	-	-	-
i	гб _i	К _i	НО _i	Д _i	УЭ _i
-	-	-	-	-	-
n	гб _n	К _n	НО _n	Д _n	УЭ _n

Аналогично можно представить всю совокупность реляционных моделей коэффициентов энергозатратности для всех элементов конструкций ССЭ ОМС. Важно правильно выполнить формализацию идентификаторов коэффициентов энергозатратности по элементам. Алгоритмы, которые необходимо разработать для выявления резервов и рекомендаций по снижению энергозатратности строительных систем с применением нейросетей, имеют две составляющие — содержательную и структурную.

Содержательную основу построения алгоритмов выявления резервов снижения энергозатратности предлагаем осуществлять на базе методологии функционально-энергетического анализа — ФЭА (аналогично методологии ФСА [3], [11]). Структурная основа алгоритмов снижения энергозатрат связана с архитектурой и платформой нейросетей при решении спецзадач, основываясь на парадигмах и на системных средствах обучения нейросетей (с «учителем», без «учителя»-самообучение, смешанная) [1], [2]. Авторы считают, что для этого подходит архитектура рекуррентных нейронных сетей (Recurrent Neural Networks, RNN) с долговременной памятью (Long Short-Term Memory, LSTM) [12], [13]. Этот тип рекуррентных нейронных сетей имеют циклические связи, что позволяет им учитывать контекстную информацию при анализе последовательных данных, а также может эффективно учитывать долгосрочные зависимости в последовательных данных. Тема требует специального дополнительного изучения и практической реализации.

Заключение

Формальным недостатком предложенной методики является фактическое отсутствие нормативной база энергозатратности как по материалам, так и по конструкциям строительных систем, а также отсутствие значительных накопленных данных и объемов по вариантам ССЭ ОМС. Это не позволяет достаточно объективно и точно осуществлять оценку энергозатратности ОМС. Создание полноценной нормативной базы энергозатратности, а также накопление данных по вариантам ОМС потребует значительных ресурсов и станет возможной при заинтересованности строительной отрасли в формировании *больших баз данных* для совершенствования ОМС [3], [4].



Создание алгоритмов для специальных нейросетевых задач снижения энергозатратности и решения др. вопросов совершенствования ССЭ ОМС, так и в применении к другим строительным системам ОМС, является темой отдельных статей.

Выводы:

1. Обоснована необходимость решения специальных задач снижения энергозатратности конструкций объектов малоэтажного гражданского строительства с применением нейронных сетей.
2. Предложена методика формирования больших баз данных на основе моделей иерархических структур и реляционных моделей весовых коэффициентов энергозатратности конструкций строительных систем малоэтажного гражданского строительства на примере строительной системы из композиционных гипсобетонов.
3. Содержательная основа построения алгоритмов выявления резервов снижения энергозатрат и внедрения инноваций строительных систем связана с методологией функционально-энергетического анализа. Структурная основа алгоритмов связана с архитектурой нейросетей и системным средством их обучения при решении специальных задач на основе сформированных больших баз данных.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Нейроуправляемые конструкции и системы / Под ред. Н.П. Абовского. — Москва: Радиотехника, 2003. — 367 с.
2. Еременко Ю.И. Интеллектуальные системы принятия решений и управления / Ю.И. Еременко. — Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2015. — 401 с.
3. Лосев К.Ю. Специальные задачи на основе нейросетей в технологиях управления жизненным циклом объектов малоэтажного жилищного строительства / К.Ю. Лосев, Ю.Г. Лосев // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 1. — DOI: 10.15862/40SAVN125.
4. Лосев Ю.Г. Развитие малоэтажного жилищного строительства на основе строительных систем с применением композиционных гипсобетонов / Ю.Г. Лосев, К.Ю. Лосев // Строительные материалы. — 2021. — № 10. — С. 60–64.
5. Гипс в малоэтажном строительстве / Под ред. А.В. Ферронской. — Москва: АСВ, 2008. — 239 с.
6. Лосев К.Ю. Формирование технологического уклада малоэтажного жилищного строительства с применением монолитных композиционных гипсобетонов / К.Ю. Лосев, Ю.Г. Лосев // Жилищное строительство. — 2023. — № 8. — С. 11–5.
7. Алоян Р.М. Энергоэффективные здания — состояние, проблемы и пути решения / Р.М. Алоян, С.В. Федосов, Л.А. Опарина. — Иваново: ПресСто, 2016. — 276 с.
8. Исакович Г.А. Экономия топливно-энергетических ресурсов в строительстве / Г.А. Исакович, Ю.Б. Слуцкий. — Москва: Стройиздат, 1988. — 208 с.
9. Журналева А.А. Сравнение потребления топливно-энергетических ресурсов на строительной площадке при возведении объектов малоэтажного и многоэтажного жилищного строительства / А.А. Журналева, О.А. Король // Строительство и Архитектура. — 2020. — Т. 8. — № 3. — С. 61–68.
10. Онищенко С.В. Автономные энергоэффективные здания усадебной застройки / С.В. Онищенко // Жилищное строительство. — 2008. — № 7. — С. 7–8.
11. Справочник по функционально-стоимостному анализу / Под ред. М.Г. Карпунина, Б.И. Майданчика. — Москва: Финансы и статистика, 1988. — 431 с.
12. Zhang Z. Deep Learning on Graphs: A Survey / Z. Zhang, C. Peng, W. Zhu // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — 2020. — P. 24 — DOI: 10.48550/arXiv.1812.04202.
13. Gers F.A. Learning precise timing with LSTM recurrent networks / F.A. Gers, N.N. Schraudolph, J. Schmidhuber // Journal of Machine Learning Research. — 2002. — № 3. — P. 115–143 — DOI: 10.1162/153244303768966139.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Neiropravlyaemie konstruksii i sistemi [Neuro-controlled structures and systems] / Ed. by N.P. Abovsky. — Moscow: Radiotekhnika, 2003. — 367 p. [in Russian]
2. Yeremenko Yu.I. Intellektualnie sistemi prinyatiya reshenii i upravleniya [Intelligent Decision-making and Management systems] / Yu.I. Eremenko. — Sary Oskol: Fine science-intensive technologies, 2015. — 401 p. [in Russian]
3. Losev K.Yu. Spetsialnie zadachi na osnove neirosetei v tekhnologiyakh upravleniya zhiznennim tsiklom obektov maloetazhnogo zhilishchnogo stroitelstva [Special tasks based on neural networks in technologies for managing the lifecycle of low-rise housing construction] / K.Yu. Losev, Yu.G. Losev // Vestnik yevraziiskoi nauki [Bulletin of Eurasian Science]. — 2025. — Vol. 17. — № 1. — DOI: 10.15862/40SAVN125. [in Russian]
4. Losev Yu.G. Razvitie maloetazhnogo zhilishchnogo stroitelstva na osnove stroitelnikh sistem s primeneniem kompozitsionnikh gipsobetonov [Development of low-rise housing construction based on building systems using composite



- gypsum concrete] / Yu.G. Losev, K.Yu. Losev // Stroitelnie materialy [Building materials]. — 2021. — № 10. — P. 60–64. [in Russian]
5. Gips v maloetazhnom stroitelstve [Gypsum in low-rise construction] / Ed. by A.V. Ferronskoi. — Moscow: ASV, 2008. — 239 p. [in Russian]
6. Losev K.Yu. Formirovanie tekhnologicheskogo uklada maloetazhnogo zhilishchnogo stroitelstva s primeneniem monolitnykh kompozitsionnykh gipsobetonov [Formation of the technological structure of low-rise housing construction using monolithic composite gypsum concrete] / K.Yu. Losev, Yu.G. Losev // Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing construction]. — 2023. — № 8. — P. 11–5. [in Russian]
7. Aloyan R.M. Energoeffektivnie zdaniya — sostoyanie, problemi i puti resheniya [Energy-efficient buildings — condition, problems and solutions] / R.M. Aloyan, S.V. Fedosov, L.A. Oparina. — Ivanovo: PresSto, 2016. — 276 p. [in Russian]
8. Isakovich G.A. Ekonomiya toplivo-energeticheskikh resursov v stroitelstve [Saving fuel and energy resources in construction] / G.A. Isakovich, Yu.B. Slutskii. — Moscow: Stroiizdat, 1988. — 208 p. [in Russian]
9. Journaleva A.A. Sravnenie potrebleniya toplivo-energeticheskikh resursov na stroitelnoi ploshchadke pri vozvedenii obektov maloetazhnogo i mnogoetazhnogo zhilishchnogo stroitelstva [Comparison of consumption of fuel and energy resources on a construction site during the construction of low-rise and multi-storey housing construction] / A.A. Journaleva, O.A. Korol // Stroitelstvo i Arkhitektura [Construction and Architecture]. — 2020. — Vol. 8. — № 3. — P. 61–68. [in Russian]
10. Onishchenko S.V. Avtonomnie energoeffektivnie zdaniya usadebnoi zastroiki [Autonomous energy-efficient manor buildings] / S.V. Onishchenko // Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing construction]. — 2008. — № 7. — P. 7–8. [in Russian]
11. Spravochnik po funktsionalno-stoimostnomu analizu [Handbook of functional cost analysis] / Ed. by M.G. Karpunina, B.I. Maidanchika. — Moscow: Finance and statistics, 1988. — 431 p. [in Russian]
12. Zhang Z. Deep Learning on Graphs: A Survey / Z. Zhang, C. Peng, W. Zhu // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — 2020. — P. 24 — DOI: 10.48550/arXiv.1812.04202.
13. Gers F.A. Learning precise timing with LSTM recurrent networks / F.A. Gers, N.N. Schraudolph, J. Schmidhuber // Journal of Machine Learning Research. — 2002. — № 3. — P. 115–143 — DOI: 10.1162/153244303768966139.