



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.05:691

Учет энергоемкости строительных материалов в течение жизненного цикла объектов капитального строительства

Л.А. Опарина*, В.А. Огурцов

Людмила Анатольевна Опарина, Валерий Альбертович Огурцов

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

*L.A.Oparina@gmail.com**, *ogurtzovvawork@mail.ru*



В производстве строительных материалов, при осуществлении строительно-монтажных работ, на эксплуатацию с текущими и капитальными ремонтами, реконструкцию, демонтаж, утилизацию и рециклинг расходуются большие энергоресурсы. Как правило, эти энергоресурсы являются невозобновляемыми, поэтому в целях энергосбережения необходимо учитывать суммарный расход энергии на объектах капитального строительства в течение их жизненного цикла. Для расчета затрат энергоресурсов авторами предложена структура реляционной базы данных энергоемкости строительных материалов. Предлагаемая база данных содержит перечень строительных материалов и значения энергоемкости на всех стадиях жизненного цикла. Новизной базы данных является разделение материалов по элементам здания (сменяемые, несменяемые). Представлены фрагменты расчета энергоемкости жизненного цикла многоквартирного дома в городе Иваново с использованием предлагаемой базы данных.

Ключевые слова: строительные материалы, энергоемкость, жизненный цикл, информационный ресурс, база данных

Для цитирования:

Опарина Л.А., Огурцов В.А. Учет энергоемкости строительных материалов в течение жизненного цикла объектов капитального строительства // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 4. С. 50-60. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n4_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Consideration of construction materials energy intensity during the capital construction objects life cycle

L.A. Oparina*, V.A. Ogurtsov

Lyudmila A. Oparina, Valeriy A. Ogurtsov

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation

*L.A.Oparina@gmail.com**, *ogurtzovvawork@mail.ru*

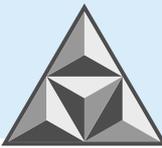


Considerable energy resources are consumed in the production of building materials, during construction and installation works, for operation with current and major repairs, reconstruction, dismantling, utilisation and recycling. As a rule, these energy resources are non-renewable, therefore, for energy saving purposes, it is necessary to take into account the total energy consumption of capital construction facilities during their life cycle. The authors have proposed the structure of a relational database of building materials energy intensity to calculate energy costs. The proposed database contains a list of building materials and energy intensity values at all stages of the life cycle. The novelty of the database is the division of materials by building elements (replaceable, non-replaceable). The article presents fragments of energy intensity calculation of the apartment building life cycle in the Ivanovo city using the proposed database.

Key words: building materials, energy intensity, life cycle, information resource, database

For citation:

Oparina, L.A. & Ogurtsov, V.A. (2023) Consideration of construction materials energy intensity during the capital construction objects life cycle, *Smart Composite in Construction*, 4(4), pp. 50-60 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n4_2023



ВВЕДЕНИЕ

Эффективность строительства зависит от продолжительности жизненного цикла городов, поселков и сельских населенных пунктов, их устойчивости и приспособляемости к условиям внешней среды, а также уровня развития технического прогресса. Для увеличения жизненного цикла городов и поселений, их устойчивого развития необходимо строить долговечные, экологически чистые здания с минимальным потреблением энергии и длительным сроком службы, а также учитывать энергоемкость жизненного цикла зданий [1, 2].

Многолетние авторские исследования по данной теме показали, что в энергоемкость жизненного цикла зданий наибольший удельный вес вносят строительные материалы, конструкции и изделия [3]. При этом лидерами в потреблении энергии, безусловно, являются промышленные предприятия по производству строительных материалов, изделий и конструкций. Строительная отрасль нашей страны ежегодно расходует энергетические ресурсы величиной порядка 60 млн. т. условного топлива (т.у.т.), а также 40 млрд. кВт·ч электроэнергии, что составляет около 60% от добываемых и расходуемых на внутренние нужды топливно-энергетических ресурсов. Самым энергоемким является производство стали (32290 МДж тепловой энергии на 1 т), цемента (28 млн. т.у.т.), керамического кирпича (13 млн. т.у.т.), требующее работы печей с высоким температурно-влажностным режимом. Бетон и железобетон являются менее энергоемкими [4]. Энергоемкость производства шлакопемзогазобетона составляет 240 кг у.т./м³, как и пемзобетона и шлакопемзобетона (240 кг у.т./м³), производства бетона на гранулированных шлаках, топливных (котельноугольных) шлаках и зольном гравии – 195 кг у.т./м³, а производства газобетона, газо- и золотенобетона – 58.2 кг у.т./м³.

Технологические процессы добычи и производства строительных материалов также требуют значительных затрат энергоресурсов. Приходится констатировать, что энергозатраты на единицу продукции нерудных строительных материалов в России превышают уровень аналогичных мировых производителей [5]. В процессе строительства, а также демонтажа зданий образуется много строительных отходов – лом железобетона, асфальта, обрезки кабелей и труб, гипсокартонные обрезки, бой кирпича и стекла, древесина, пластмассы, асбестовый шифер, утеплитель, рубероид и др. [6]. Технологические процессы рециклинга и утилизации строительных материалов также являются энергоемкими.

Таким образом, при выборе строительных материалов, изделий и конструкций для проектирования тепловой защиты зданий и проведении многовариантных расчетов необходимо учитывать не только экологичность, долговечность, теплозащитные характеристики, но и энергоемкость [7].

Сложность учета энергоемкости строительных материалов, изделий, конструкций и технологических процессов жизненного цикла строительных объектов заключается в том, что данные для проведения таких расчетов являются в настоящее время разрозненными, никаким образом не систематизированными.



Единый информационный ресурс, который содержал бы верифицированные данные для расчета энергоемкости жизненных циклов строительных объектов с постоянной поддержкой в едином цифровом формате, отсутствует. Поэтому поставленная цель разработки подобного информационного ресурса является актуальной и значимой для строительной отрасли страны.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В процессе работы над созданием информационного ресурса для расчета энергоемкости жизненного цикла строительных объектов авторами использовался системный подход, а именно: жизненный цикл строительных объектов представлен в виде системы, в течение срока жизни которой объекты испытывают трансформации.

На каждом этапе через систему проходит поток строительных материалов, изделий и конструкций. Эти потоки планируются на этапе проектирования и видоизменяются в процессе строительства, эксплуатации и ремонтов, реконструкции. В конце жизненного цикла материалы, изделия и конструкции трансформируются для демонтажа, подвергаются утилизации и рециклингу. На производство материалов и технологические процессы их трансформации необходимо затратить определенные энергоресурсы. Эти затраты энергоресурсов должны учитываться при определении полной энергоемкости жизненного цикла зданий как системы и строительных материалов, изделий и конструкций как подсистемных объектов (рис. 1).

Отметим, что существующие в настоящее время методики определения энергоемкости зданий данный подход не учитывают.



Рис. 1. Участие строительных материалов, изделий и конструкций в течение жизненного цикла зданий

Fig. 1. The interference of building materials, products and structures in the building lifecycle

Опираясь на системный подход, авторами разработана структура базы данных энергоемкости строительных материалов, изделий и конструкций, в основе которой лежит реляционная модель (рис. 2).

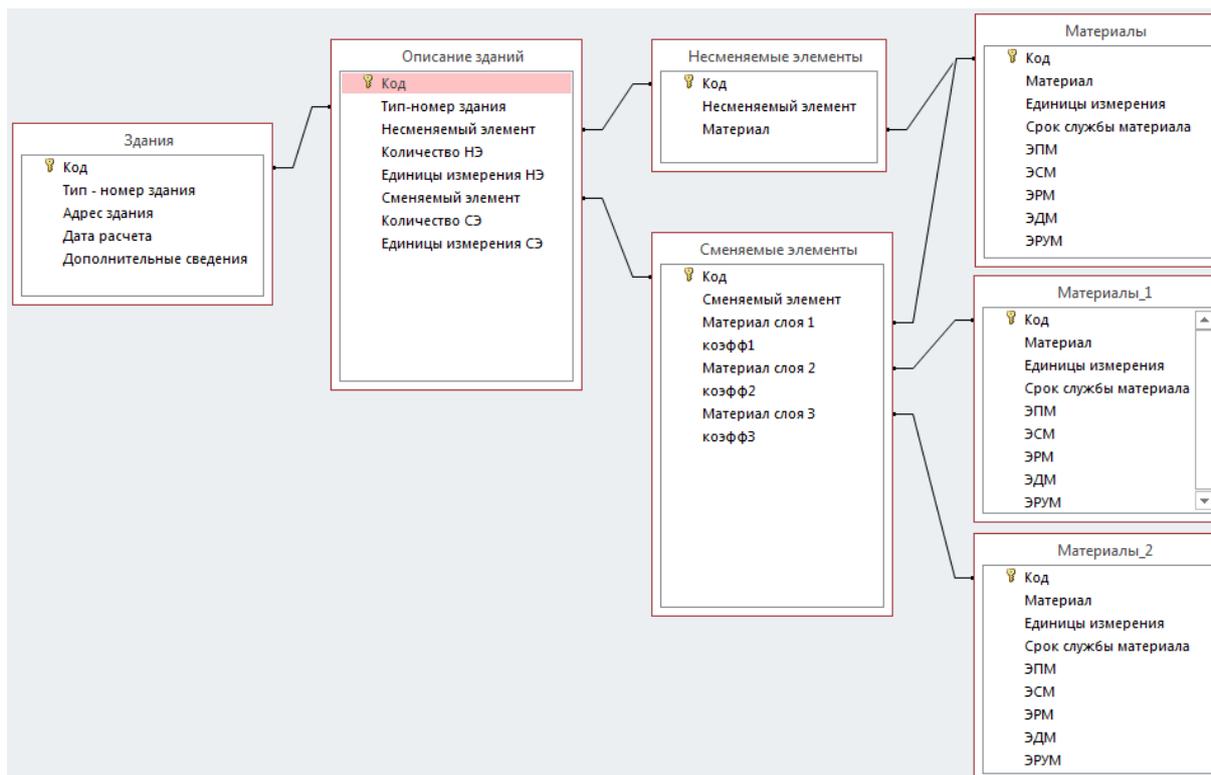


Рис. 2. Принципиальная структура базы данных энергоемкости строительных материалов, изделий и конструкций для расчета энергоемкости жизненного цикла строительных объектов

Fig. 2. Principal structure of the energy intensity database of building materials, products and structures for calculating the energy intensity of the construction projects life cycle

Условные обозначения используемой базы данных:

НЭ – несменяемый элемент;

СЭ – сменяемый элемент;

ЭПМ – энергоемкость производства материала, изделия, конструкции, т.у.т.;

ЭСМ – энергоемкость строительства с использованием материала, изделия, конструкции, т.у.т.;

ССМ – срок службы до ремонта (замены) материала, изделия, конструкции, лет;

ЭРМ – энергоемкость ремонта (замены) материала, изделия, конструкции, т.у.т.;

ЭРКМ – энергоемкость реконструкции материала, изделия, конструкции, т.у.т.;

ЭДМ – энергоемкость демонтажа материала, изделия, конструкции, т.у.т.;

ЭРУМ – энергоемкость рециклинга материала, изделия, конструкции, т.у.т. [8].

Разделение элементов зданий на сменяемые и несменяемые является принципиальным, так как несменяемые элементы не подлежат замене; их срок жизни определяет срок жизни здания в целом. При проектировании им необходимо уделять особое внимание (рис. 3) и следует иметь в виду, что энергоемкость может не являться определяющим параметром выбора. При использовании же сменяемых элементов, если целевой функцией задана энергоемкость, предлагаемая база данных является основной информационной поддержкой.



Тип-ном	Несменяемый элемент	Единицы из	Количество	Срок службы	ЭнергоемкостьНЭ	ИтогоЭнергоемкостьНЭ
МКД-1	Фундамент сборный железобетонный	куб. м	503,35	150	0,26564	133,70888
МКД-1	Цоколь из керамического кирпича	куб. м	889,53	150	0,64878	577,10576
МКД-1	Ограждающие конструкции (силикатный кирпич)	куб. м	1045,28	150	0,26950	281,70507
МКД-1	Перекрытия железобетонные	куб. м	806,173	150	0,26564	214,15018
МКД-1	Внутренние стены (несущие)	куб. м	2549,62	150	0,26950	687,12772
МКД-1	Ограждающие конструкции (монолит бетон)	куб. м	35,9	150	0,28049	10,06959
МКД-1	Ограждающие конструкции (монолит каркас)	т	2,823	150	1,18506	3,34542
МКД-1	Внутренние стены (раствор)	куб. м	108,47	150	0,31414	34,07498
МКД-1	Ограждающие конструкции (раствор)	куб. м	720,3	150	0,31414	226,27650
МКД-1	Перемычки железобетонные	куб. м	92,94	150	0,26564	24,68840

Рис. 3. Отчет по энергоемкости несменяемых элементов

Fig. 3. Report on non-interchangeable elements energy intensity

В ходе расчетов к базе данных могут быть сформированы запросы по энергоемкости жизненного цикла в целом, по отдельным этапам, по несменяемым и сменяемым элементам. Пример отчета представлен на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные в данной работе фрагменты базы данных сформированы в компьютерной программе Microsoft Access, реализуемой в отечественном программном продукте – СУБД (система управления базами данных). Также возможна реализация в виде плагинов, работающих по запросам к базам для 3D-моделирования зданий.

Наибольшей сложностью для создания полноценного информационного ресурса является ее наполнение данными энергоемкости строительных материалов, изделий и конструкций, учитывающих энергетические затраты на их производство, строительство, эксплуатацию, капитальные ремонты, рециклинг и утилизацию. Для этого необходимо провести работу на государственном уровне, чтобы обязать всех участников жизненного цикла строительных объектов постоянно обновлять базу данных, осуществлять их корректировку. Сервером для хранения данных могут являться ресурсы Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, другие государственные платформы. При этом данные должны быть представлены в машиночитаемом формате.

Авторами произведены расчет энергоемкости жизненного цикла многоквартирного жилого дома в г. Иваново с использованием электронных таблиц Excel и сведений, собранных из различных источников. Фрагменты расчетов представлены на рис. 4, 5.

Расчет произведен для десятиэтажного строения; материалы стен – силикатный и керамический кирпич, сборный железобетонный фундамент, утеплитель – пенополистирол с противопожарными рассечками из минераловатных плит.



Материал	Конструкция	Ед. изм.	Кол-во	Энергоресурсы на производство единицы измерения		Энергоресурсы на весь объём, т.у.т.
				в нат. выр.	в т.у.т.	
Железобетон	Железобетон (фундамент)	м ³	503,35	80 + 54 + 74,24 = 208,24 кг у.т./м ²		104,82
Кирпич	Кирпич силикатный утолщённый полнотелый СУР-150/15 ГОСТ 379-95	м ³	1045,3	85 кг у.т. на тыс. шт. у.к.		221,02
Кирпич	Кирпич керамический 150/25 ниже отметки 0,000 + стены санузлов	м ³	889,53	204,4 кг у.т. на тыс. шт. у.к.		452,29
Цементно-песчаный раствор	Раствор М 100 (кирпичная кладка, фасадная плитка)	м ³	1080,5	240 кг у.т. на т цемента (произв.) + 7 кг у.т. на м ³ (приготовл.) марки М400		265,80

Рис. 4. Расходы энергоресурсов на производство строительных материалов и конструкций (фрагмент)

Fig. 4. Energy resources consumption for the production of building materials and structures (excerpt)

Наименование материала	Конструкция	Ед. изм.	Кол-во	Нормативный межремонтный срок службы, лет	Кол-во ремонтов за срок службы	Кол-во материалов для ремонта за срок жизни здания	Энергоресурсы на производство материалов для капремонта, т.у.т.
Металл	Металлические ограждения (лестницы)	т	1,72	15	9	15,51	29,46
Металл	Ограждение (кровля)	м ²	36,94	15	9	332,42	8,17
Утеплитель	Пенополистирольные плиты ПСБС-25Ф по ГОСТ15588-85 толщиной 130 мм	м ²	3266,0	50	2	6532,00	29,72
Гипсокартонные листы (ГКЛ)	ГКЛ 125 мм по системе KNAUF Серия 1.031.9-2.00	м ²	1253,2	60	2	2506,49	28,07
Изоляционные материалы	Биокрозласт ТПП ТУ 5774-019-17925162-2003 (кровля)	м ²	738,70	10	14	10341,80	24,82

Рис. 5. Расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов для текущего и капитального ремонтов (фрагмент)

Fig. 5. Energy resources consumption for production of construction materials for current and capital renovation (excerpt)

Результаты расчета показали, что для осуществления жизненного цикла данного здания требуется 19.50 тыс. т.у.т. или 3.25 т.у.т. на 1 м² его площади. Очевидно, что такие энергозатраты являются весьма значительными, особенно в масштабах страны.



Поэтому предварительная оценка энергопотребления зданиями и другими строительными объектами в течение жизненного цикла является важной частью проектирования, которую возможно проводить с использованием предлагаемого информационного ресурса.

Предлагаемый информационный ресурс может быть использован при выборе строительных материалов, изделий и конструкций для проектирования тепловой защиты зданий и проведении многовариантных расчетов в случае, когда в качестве одного из критериев выбора выступает энергоэффективность [9]. Критерии энергоемкости жизненного цикла предлагаются к применению в рейтинговых системах оценки «зеленых» объектов, зданий с низким потреблением энергии, пассивных, «умных» и «комфортных» зданий [10].

ВЫВОДЫ

Разработанный ресурс может стать одной из государственных информационных систем, в частности, элементом классификатора строительных материалов, а источниками данных могут служить производители строительных материалов, изделий и конструкций, а также строительные-монтажные организации, управляющие компании, застройщики и девелоперы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Савин В.К.** Строительная энергофизика. Энергоэкономика. М.: Лазурь, 2011. 418 с.
2. **Опарина Л.А.** Имитационное моделирование энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла на основе аппарата стохастических агрегативных систем // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 22-24.
3. **Опарина Л.А.** Результаты расчета энергоемкости жизненного цикла зданий // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 50-52.
4. **Сулейманова Л.А.** Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Строительство и архитектура*. 2017. № 1. С. 9-16.
5. **Мизонов В.Е., Огурцов В.А.** и др. Процессы сепарации частиц в виброоживленном слое: моделирование, оптимизация, расчет. Иваново, 2010. 192 с.
6. **Баруздин А.А., Закревская Л.В.** Перспективы рециклинга в строительстве с целью создания инновационных композиционных материалов // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 3. С. 29-54. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023
7. **Савин В.К.** Строительная энергофизика. Энергосбережение. Образ и число. М.: Лазурь, 2018. 478 с.
8. **Опарина Л.А., Заянчуковская Н.В., Лыкова И.Н.** Создание реляционной базы данных энергоемкости строительных материалов // *Строительство и реконструкция*. 2013. № 6(50). С. 78-81.
9. **Ковригин А.Г., Блазнов А.Н.** Исследование эффективности практического применения теплотехнических характеристик изделий из стеклопластика в строительной отрасли // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 3. С. 18-28. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023
10. **Опарина Л.А.** Практическое применение методики расчета комфортности малоэтажной жилой застройки // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 1. С. 57-67. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023

Поступила в редакцию 13.10.2023

Одобрена после рецензирования 18.12.2023

Принята к опубликованию 21.12.2023



REFERENCES

1. **Savin, V.K.** (2011) *Construction energy physics. Energy economics*. M.: Lazur (in Russian).
2. **Oparina, L.A.** (2013) Simulation modeling of energy consumption by buildings during the life cycle based on the apparatus of stochastic aggregative systems, *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, (8), pp. 22-24 (in Russian).
3. **Oparina, L.A.** (2013) Results of calculating the energy intensity of the life cycle of buildings, *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, (11), pp. 50-52 (in Russian).
4. **Suleymanova, L.A.** (2017) High-quality energy-saving and competitive building materials, products and structures, *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. Stroitel'stvo i arkhitektura*, (1), pp. 9-16 (in Russian).
5. **Mizonov, V.E., Ogurtsov, V.A. et al.** *Particle separation processes in a vibrating fluidized bed: modeling, optimization, calculation*. Ivanovo, 2010 (in Russian).
6. **Baruzdin, A.A. & Zakrevskaya, L.V.** (2023) Prospects of recycling in construction to produce innovative composite materials, *Smart Composite in Construction*, 4(3), pp. 29-54 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023 (in Russian).
7. **Savin, V.K.** (2018) *Construction energy physics. Energy saving. Image and number*. M.: Lazur (in Russian).
8. **Oparina, L.A., Zayanchukovskaya, N.V. & Lykova, I.N.** (2013) Creation of a relational database of energy intensity of building materials, *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 6(50), pp. 78-81.
9. **Kovrigin, A.G. & Blaznov, A.N.** (2023) Practical application efficiency of thermal performance of GFRP items in construction industry, *Smart Composite in Construction*, 4(3), pp. 18-28 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023 (in Russian).
10. **Oparina, L.A.** (2023) Practical application of the methodology for calculating the comfort of low-rise residential buildings, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 57-67 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

Received 13.10.2023

Approved after reviewing 18.12.2023

Accepted 21.12.2023