

Проон/ГЭФ Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий  
в Республике Беларусь»

## **ОТЧЕТ**

### **Основные положения ежегодного мониторинга удельного потребления тепловой энергии в жилищном секторе**

Исполнитель

Л. В. Соколовский

**Минск 2016**

## **Введение.**

В настоящее время только стоимостные оценки не могут служить единственной мерой эффективности при строительстве различных объектов, как в Республике Беларусь, в силу быстрых переходных процессов в народном хозяйстве, так и в промышленно развитых странах Европы. Сегодня обращается внимание на анализ материальных потоков, включая энергоемкость строительных материалов и конструкций в производственной сфере и окружающей среде в их *взаимосвязи*.

В многочисленных отечественных статьях 90-х годов проблемы энергосбережения и энергоэффективности рассматриваются, как правило, совместно с проблемами охраны окружающей среды.

Кроме того, традиционно, при установлении требований к уровню экономичности продукции стремятся обеспечить минимум расходования всех видов материальных, трудовых и финансовых ресурсов, т. е. наряду с собственно техническими (технологическими) и экологическими проблемами в комплексе рассматривают также социальные вопросы затрат труда и ресурсные вопросы затрат материалов, топлива и энергии.

Целью проекта настоящей методологии является порядок определения **технологической** энергоемкости производства основных строительных материалов и конструкций, использование которой (самой затратной) позволит определить в конечном итоге **полную** энергоемкость на единицу площади создаваемого здания.

***Примечание. Полная энергоемкость создания (строительства) здания – это количество энергии и (или) топлива, израсходованное на изготовление строительных материалов и конструкций, включая ее расходы на добычу, транспортирование, переработку полезных ископаемых с учетом коэффициента использования сырья и материалов, их транспортирование на строительную площадку, строительство здания, ремонт и восстановление, разборку и утилизацию.***

Проект разработанной методологии предназначен для использования различными специалистами, участвующими в разработке нормативной и технологической документации, связанной с созданием здания.

Получив полную энергоемкость на единицу площади созданного здания, и включив их в комплексные показатели теплоэнергетического паспорта, мы сможем дать оценку принятым техническим решениям, примененным строительным материалам и конструкциям с точки зрения их энергоемкости.

Также мы сможем оценить, какое количество энергии мы затратили на создание 1 м<sup>2</sup> чтобы обеспечить низкие расходы энергии при эксплуатации того же квадратного метра. Естественно можно будет дать и экономическую (ценовую) оценку здания, а также определить воздействие на окружающую среду использованного топлива.

*Справка. В целом на производство материалов в мире тратится до 20% топлива, и строительные материалы составляют их большую часть. Поэтому очень важно снизить энергопотребление при производстве строительных материалов и конструкций, причем выгоднее снизить при строительстве дома, чем при его эксплуатации. При выборе вида материала или конструкции необходимо исходить из того, что:*

- на строительство зданий используется около **30-50%** природных сырьевых ресурсов;
- здания потребляют более **40%** первичной энергии;
- на производство строительных материалов и конструкции приходится **до 80% энергии**, затраченной на создание здания;
- при эксплуатации зданий генерируется около **40%** отходов на свалках, что также требует затрат энергии на их переработку;
- строительная индустрия ответственна за **7%** глобальной эмиссии CO<sub>2</sub> (на производство каждого 1 кг цемента приходится приблизительно 1 кг CO<sub>2</sub>);
- на производство каждого кВт-ч энергии приходится 0,3–1,4 кг CO<sub>2</sub> в зависимости от используемого вида топлива.

*Стоимость материалов складывается в основном из стоимости извлечения сырья из экосистемы, стоимости обработки и транспортировки. Стоимость и затраты энергии существенно повышаются при их обработке. Чем больше мы перестраиваем структуры исходных материалов на атомарном и молекулярном уровне, тем больше тратится энергии и тем выше стоимость строительных материалов.*

*Затраты энергии на строительство зданий могут быть существенно уменьшены при оптимальном проектировании и выборе материалов.*

*Оптимум может быть найден при тщательном сравнительном анализе эффективности принятых решений на всех стадиях жизненного цикла строительных материалов и конструкций.*

*На каждой из них потребляются естественные ресурсы, возникают отходы и загрязняется окружающая среда. Мерилом воздействия на окружающую среду при оценке и выборе материалов и конструкций может служить величина потребляемой энергии для обеспечения полного жизненного цикла материалов.*

*Эта оценка интересна не только с точки зрения защиты окружающей среды, но и финансовых затрат, так как затраты с большой точностью пропорциональны затратам на энергию.*

*Особое внимание должно уделяться долговечности и возможности **вторичного** использования материалов. Продление срока службы материалов и конструкций снижает ежегодные затраты на производство новых, поэтому является важной составной частью проектирования.*

*Необходимо помнить, что чем меньше энергии мы затратим на производство и строительство, тем быстрее окупятся наши затраты.*

**Ниже предлагается частично измененный проект методологии расчета энергоемкости на создание здания и порядок (создание организационной структуры) расчета энергоемкости с учетом методики разработанной в рамках п. 13**

Измененный проект методологии предусматривает ее утверждение Минстройархитектуры и согласование в Департаменте по энергоэффективности Госстандарта РБ. В конце отчета даны справочные приложения для информации.

**Методология расчета энергоемкости на создание здания (проект).**

## **Содержание.**

1. Формирование полной энергоемкости на создание здания.
2. Перечень возможных энергопотерь для анализа их снижения на стадиях производства строительных материалов и конструкций (для производителей).
3. Основные элементы методики определения энергоемкости.
4. Выбор основных строительных материалов и конструкций.
  - 4.1. Критерии выбора основных строительных материалов и конструкций.
  - 4.2 Критерии выбора «зеленых» строительных материалов и конструкций.
5. Технологическая энергоемкость.
  - 5.1 Затраты которые учитываются при определении технологической энергоемкости при производстве строительных материалов и конструкций.
5. Полная энергоемкость.
6. Список использованной литературы.
7. Приложения.

## 1. Формирование полной энергоемкости на создание здания.

В процессе создания (строительства) здания используются различные строительные материалы и конструкции, изготовлением которых занимаются предприятия строительной индустрии. На добычу исходного сырья и его транспортировку на предприятия строительной индустрии затрачивается энергия, которая должна суммироваться с энергией, затраченной на производство основных строительных материалов и конструкций (технологическая энергоемкость).

Далее изготовленные строительные материалы и конструкции, а также отдельные виды материалов (цемент, известь, песок и др.) транспортируются на строительную площадку для последующего монтажа и применения.

На все процессы, происходящие на строительной площадке, затрачивается энергия, которая должна включаться в состав полной энергоемкости здания.

В соответствии с принятой долговечностью здания (расчетным сроком его службы) в установленные сроки осуществляется его ремонт и восстановление. На эти операции будет затрачена энергия, которая должна включать энергию на производство применяемых для ремонта и восстановления строительных материалов, и затраты энергии на само производство работ. После окончания расчетного срока службы здания, будет затрачена энергия на его разборку и утилизацию.

Различные виды энергии, которые были затрачены на перечисленные выше работы по строительству (созданию) здания в конечном итоге, составят его *полную энергоемкость за весь расчетный срок службы*. Приложение №1.

***Примечание. Во всех вышперечисленных процессах используются различные виды энергии, которые, впоследствии приводятся к одному энергетическому показателю, определяющему энергоемкость каждого материала (например – условное топливо).***

Полная энергоемкость создания (строительства) здания может быть существенно уменьшена при оптимальном выборе основных строительных материалов и конструкций. Оптимум может быть найден при тщательном и строгом анализе эффективности принятых решений, на всех стадиях создания здания производителем строительных материалов и конструкций, заказчиком, проектной организацией, подрядной организацией.

## 2. Перечень возможных энергопотерь для анализа их снижения на стадиях производства строительных материалов и конструкций (для производителей).

Причины потерь энергетических ресурсов ведущих к увеличению *технологической энергоемкости* продукции и услуг:

- неправильное применение и/или недогрузка основного технологического оборудования;
- нарушение персоналом технологических регламентов производства продукции, оказания услуг и другие потери;
- несоответствие среды внутри производственных помещений установленным технологическим требованиям по нормальным климатическим условиям функционирования основного оборудования;
- несоблюдение требований по сертификации качества электрической энергии на соответствие ГОСТ 13109;
- нарушение требований нормативных документов по охране окружающей среды;
- нарушение требований нормативных документов по обеспечению единства измерений и проведения испытаний;
- неквалифицированное документирование результатов оценки технологической энергоемкости;
- неиспользование или недоиспользование вторичных энергетических ресурсов.

**Пример для сравнения** (использованы данные по гост р 51750) *Потери от неиспользования или недоиспользования вторичных энергетических ресурсов, которые можно получить с применением современных высоких технологий, например из 1 т мусора, составляют: - 620 кг топлива, по калорийности соответствующего 300 л мазута; - 150 кг строительных материалов (песка, щебня, камня, измельченного стекла и др.); - 20 кг цветных и черных металлов, с использованием которых энергоемкость вторичной продукции из них значительно*



*снижается; - 65 кг пластмасс; - 100 кг макулатуры (без 20 % которой в США запрещен выпуск бумаги); - 5 кг химических солей, используемых в промышленности и лабораториях.*

### **3. Основные элементы методики определения энергоемкости.**

- а) идентификация назначения (с целью обеспечения энергосбережения с учетом обязательных мер по охране окружающей среды);
- б) выбор методов (аналитический, инструментальный, расчетный, экспертный, аудиторский);
- в) определение основных технических средств технологической энергетической системы (номенклатура основного технологического оборудования) и средств измерений;
- г) определение вспомогательных технических средств технологической энергетической системы (номенклатура вспомогательного оборудования и оснастки);
- д) установление требований к квалификации кадров (обученность основам инструментального, организационно-технического и нормативно-методического обеспечения энергосбережения во взаимосвязи четырех обязательных аспектов деятельности: производственной, экологической, социальной и ресурсосберегающей);
- е) установление последовательности и оценка весомости операций (процедур) выполнения работы по оценке и обеспечению технологической энергоемкости производимой продукции и оказываемых услуг;
- ж) выбор конкретного алгоритма получения (в т. ч. вычисления) результатов оценки технологической энергоемкости (на основе общего алгоритма);

и) определение порядка документирования (оформления) результатов оценки технологической энергоемкости производимой продукции и оказываемых услуг;

к) решение проблемы метрологического обеспечения (с учетом возможных, имеющих место потерь энергоресурсов в технологических процессах изготовления, хранения, транспортирования, потребления оцениваемой продукции, и ее ликвидации после использования по назначению).

л) оценка эколого-технологической и социально-экономической эффективности (применительно к конкретному технологическому процессу производства продукции, исполнения услуги).

#### **4.Выбор основных строительных материалов и конструкций.**

##### **4.1. Критерии выбора основных строительных материалов и конструкций.**

Для *снижения энергоемкости* при проектировании рекомендуется:

- снижать материалоемкость всего объекта строительства;
- использовать простые строительные конструкции, упрощать конструктивные решения;
- сокращать большое количество материалов в одной конструкции (например, в многослойной стене);

Для создания качественной *среды проживания* строительные материалы и конструкции должны:

- состоять больше из натуральных природных материалов, которые имеют природную радиоактивность не выше нормативной;
- не выделять токсичных газов, частиц, вредных для здоровья;

- поддерживать требуемую влажность в помещении;
- создавать нейтральную электрическую атмосферу (не создавать электромагнитные поля);
- иметь хорошие акустические свойства;

#### **4.2 Критерии выбора «зеленых» строительных материалов и конструкций.**

Многолетняя статистика (А. В. Авронин) по набору и количеству материалов, которые используются в строительстве жилых зданий, дает весьма ограниченный перечень основных строительных материалов и конструкций. Дерево, бетон, железобетон, кирпич керамический и силикатный, сталь, стекло и кровельные материалы составляют 80% от общей энергоемкости создаваемого здания.

Правильный выбор строительных материалов и конструкций, оказывает сильное влияние на качество современного строительства, поэтому проектировщик должен ориентироваться в характеристиках этих материалов.

***Примечание. Принципы устойчивого развития требуют минимизации воздействия на окружающую среду и минимизации использования энергии и ресурсов. В качестве критерия необходимо использовать минимум энергии полного жизненного цикла материалов - принцип «от колыбели до могилы», который включает затраты энергии на производство материалов, транспортировку, подготовительные и строительные работы и утилизацию материалов после окончания срока службы.***

Чем меньше потребление энергии, тем выгоднее использование такого материала. Сравнение и выбор основных строительных материалов должен включать анализ затрат энергии не только на единицу массы материала, а по минимизации затрат энергии для достижения требуемых

характеристик конструкций и всего здания: прочности, надежности, влагостойкости, сопротивлению теплопередаче и др.

Рекомендуемые требования к строительным материалам и конструкциям при выборе для применения:

1. Низкая энергоемкость.
2. Возможность переработки.
3. Использование возобновляемых ресурсов.
4. Эффективная логистика производства.
5. Энергоэффективность.
6. Низкое воздействие на окружающую среду.
7. Долговечность.
8. Минимизация отходов.
9. Положительный социальный эффект.
10. Доступность.

## **5. Технологическая энергоемкость.**

Технологическая энергоемкость продукции, услуги ( $\mathcal{E}_{пр.у}$ ) определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{пр.у} = \mathcal{E}_д + \mathcal{E}_н + \mathcal{E}_{пер.} + \mathcal{E}_{эк}$$

$\mathcal{E}_д$  - энергозатраты на добычу и доставку исходных ресурсов, включая импортные материалы;

$\mathcal{E}_н$  - энергозатраты на производство строительных материалов;

$\mathcal{E}_{пер.}$  - энергозатраты на создание условий для персонала;

$\mathcal{E}_{эк}$  - энергозатраты на экологию

**Справочные данные.**

- показатель технологической энергоемкости продукции, может иметь различные размерности, в общем случае принимая вид:

- энергозатраты (ГДж, МДж, кДж)/натуральные единицы по видам продукции, услуг, в частности: МДж/(кВт·ч) и/или МДж/ккал (для ТЭР), МДж/кг,

МДж/т, МДж/1000 единиц, (МДж/м<sup>2</sup>, МДж/м<sup>3</sup>, МДж/тыс. руб. (для продукции, услуг), МДж/чел·ч, чел·ч/н.е (для услуг).

Под условным топливом понимают топливо с теплотой сгорания **29300 кДж/кг.**

Перерасчет натурального топлива на условное проводят по формуле

$$B_y = B_n \cdot Q_n / 29300,$$

где  $B_y$  - количество условного топлива, кг;

$B_n$  - количество натурального топлива, кг;

$Q_n$  - средняя теплота сгорания натурального топлива, кДж/кг.

Пересчет электрической, тепловой энергии и топлива на условное топливо должен производиться по их физическим (энергетическим) характеристикам на основании следующих соотношений:

1 кг у.т. = 29,30 МДж = 7000 ккал;

1 кВт·ч = 3,6 МДж = 0,12 кг у.т.;

1 кг дизельного топлива равен 1,45 кг у.т.

1 кг автомобильного бензина равен 1,52 кг у.т.;

1 ккал = 427 кг·м = 4,19 кДж = 1,163 Вт·ч;

1 л.с.ч = 2,65 МДж; 1 МДж = 0,278 кВт·ч.

### **5.1 Затраты которые учитываются при определении технологической энергоемкости при производстве строительных материалов и конструкций.**

Обобщенный алгоритм получения результатов оценки технологической энергоемкости в конкретных условиях производства продукции и исполнения услуг включает следующие процедуры:

А) определение (качественно и в процентах) структуры энергозатрат по каждому виду выпускаемой продукции и исполняемой услуги, учитывая, в частности:

- прямые затраты в основном производстве по видам ТЭР,
- косвенные энергозатраты, включая вспомогательное производство,
- затраты энергии на текущий ремонт зданий и обслуживание оборудования,
- энергозатраты на транспортирование сырья, материалов, комплектующих изделий, составных частей при изготовлении продукции, оказании услуг,
- энергозатраты на создание нормальных условий работы в производственных помещениях (освещение, отопление, обеспечение горячей водой, транспортом и другими необходимыми жизненными услугами),
- природоохранные затраты;
- перевод все размерные характеристик энергозатрат в условное топливо;

Б) оценка существенности влияния энергетической нагрузки технологической энергетической системы на окружающую среду и, только если окажется необходимо, при определении энергоемкости учитывать затраты на мероприятия по охране окружающей среды (экозатраты).

Замеры и/или соответствующее выявление (на основе анализа документации) энергозатрат с последующим определением фактической технологической энергоемкости для конкретного вида продукции и услуг

производят службы главного технолога с участием лабораторий и энергетических служб (таблица 1).

Таблица 1\*

Вид ТЭР, других ресурсов и показателей энергосбережения	Единицы измерения, натуральные единицы (н.е)	Полная энергоемкость продукции, МДж/т
1	2	3

*\*(Подписи членов комиссии, определенных приказом руководителя предприятия,)*

## 6. Полная энергоемкость.

Полная энергоемкость на создание здания ( $\mathcal{E}_n$ ) определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_n = \mathcal{E}_{пр.у} + \mathcal{E}_{тр} + \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{рем} + \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_{ут} ;$$

где:

$\mathcal{E}_{пр.у}$  - технологическая энергоемкость строительных материалов;

$\mathcal{E}_{тр}$  - энергоемкость транспортирования материалов и конструкций на строительную площадку;

$\mathcal{E}_c$  - энергоемкость строительства, включая затраты энергии на работу механизмов, на создание бытовых условий работающим и др;

$\mathcal{E}_{рем}$  - энергоемкость на ремонты и восстановление в процессе жизненного цикла здания;

$\mathcal{E}_p$  - энергоемкость разборки здания;

$\mathcal{E}_{ут}$  – затраты энергии на утилизацию здания;

Для определения энергозатрат на единицу площади здания, полную энергоемкость необходимо разделить на общую площадь здания.

*Примечания. В соответствии с ТКП 45-1.02-295-2014-2014 «Строительство. Проектная документация. Состав и содержание». при двухстадийном проектировании на стадии архитектурного и строительного проектов в соответствии с приложением А (А5, п. ж) и приложением Б (Б3, п. к) проектировщик должен привести описание примененных основных строительных конструкций и материалов.*

При расчете полной энергоемкости строительства, необходимо **дополнительно** в каждом конкретном случае учитывать:

- энергоемкость импортных строительных материалов и конструкций (по аналогии);
- энергоемкость возвратных материалов, т.е. возможность их повторного использования после ремонта, восстановления и разборки зданий в связи с окончанием расчетного срока службы (этот показатель на стадии проектирования может определяться расчетным путем);
- что натуральные природные строительные материалы обладают наименьшей энергоемкостью производства;
- влияние выбора менее энергоемких однотипных строительных материалов и конструкций для создания энергоэффективных зданий на **потери** объемов производства материалов и конструкций предприятиями с большей энергоемкостью (конкуренция производителей);
- долговечность применяемых строительных материалов и конструкций и их радиационную безопасность;
- подходы к определению энергоемкости инженерного оборудования, устанавливаемого в здании, а также энергоемкости восстановления и ремонтов, разборки и утилизации в процессе его жизненного цикла.



*Рекомендация. Проблема энергоемкости строительных материалов и конструкций должна быть включена в план научных исследований т. е. проблема требует изучения в увязке с энергоэффективностью зданий, в результате которых должны быть разработаны нормативные документы.*

## Приложение №1

### Схема определения энергоемкости затраченной на создание здания в процессе его жизненного цикла.



\*)энергоемкость на ремонты, восстановление и утилизацию в процессе жизненного цикла здания, определяется расчетным методом с учетом затрат на его создание и включается в данные проекта.

## Порядок (создание организационной структуры) определения энергоемкости с учетом разработанной методики

Требование определения энергоемкости создания здания, может быть выполнено при включении его в обязательные строительные нормы проектирования. Именно таким путем, предлагается пойти для обязательного выполнения этого требования, т. е. внести изменения в **ТКП 45-2.04-196-2010 (02250) «Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения».**

а) изменение 1; Внести в раздел **комплексные показатели теплоэнергетического паспорта здания (Приложение В п.33а) - показатель учитывающий полную энергоемкость затраченную на создание здания, ремонты и восстановление, разборку и утилизацию его в процессе жизненного цикла кВтч на 1м2.(Дж/м2).**

Ссылка на **Приложение В** Теплоэнергетический паспорт  
Комплексные показатели

Показатели	Обозначение показателя и единица измерения	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя
30 Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	Дж/м <sup>2</sup> МДж/м <sup>3</sup>		
31 Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	МДж/м <sup>2</sup> МДж/м <sup>3</sup>		
32 Класс энергетической эффективности			
<b>33а. Полная энергоемкость на создание здания</b>	<b>кВтч/м<sup>2</sup></b> (включается после разработки ПОС, ППР)		

## Список использованной литературы.

Разработка организационно-экономического механизма снижения энергоемкости строительного сектора экономики: дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / О.В. Кузина, Рос. экон. ун-т им. Г.В. Плеханова. – М., 2011. – 137 с.

G.P. Hammond and C.I. Jones (2006) Embodied energy and carbon footprint database, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, United Kingdom (<http://www.bath.ac.uk/mech-eng/research/sert/>)

Including embodied energy in the energy analysis of the Dutch built environment: MSc Thesis Report / Job Sloot, Utrecht University. - July 2014. - 50 pgs.

H.J. Holtzhausen. Embodied energy and its impact on architectural decisions / WIT Transactions on Ecology and the Environment, No.102 (2007). - pg. 377-385.

Manish K. Dixit, Jose L. Fernández Solís, Sarel Lavy, Charles H. Culp. Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper / Renewable and Sustainable Energy Reviews, No.16 (2012). pg. 3730-3743

Krishna A. Joshi<sup>1</sup>, A.R. Kambekar. Optimization of energy in public buildings / IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, Nov 2013. - pg. 423-427

Ian Cleland. Choosing building materials / Grand Designs Australia (leaflet at <http://www.ritek.net.au/pdf/grand-designs.pdf>). - pg. 234-237

Tuan Ngo et al. Life cycle energy of steel and concrete framed commercial buildings / Proc. of the Solar-09 47th Annual Conference of the Australian and New Zealand Solar Energy Society (ANZSES) // James Cook University of North Queensland School of Humanities, Australia, 2009. - pg. 56-65

Григорьев В.А., Огородников И.А. Экологизация городов в мире, России, Сибири. Аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН, Сер. Экология. Вып. 63. - Новосибирск, 2001. - 132 с.

## Приложение № 2 (для справки).

Энергоемкость основных строительных материалов по данным литературных источников

Наименование материала	Энергоемкость МДж/кг	Энергоемкость МДж/м <sup>3</sup>
бетон	1,3	3180
бетон преднапряженный	2,00	2780
цемент	3,3-4	
Известь	9-12,6	
строительный раствор: цемент, песок – 1:6)		2131
цемент, известь, песок -1:1:6		2761
песок		
гипс	51,0	371280
линолеум	116,0	150930
бетонный блок	0,94	2350
Кирпич керамический	2,5	5170
Кирпич силикатный		
сталь	32,00	251200
стекло	15,90	37550
ковер синтетический	148,00	84900
краски	93,30	117500
заполнитель бетонный	0,1	150
камень	0,79	2030
асфальт	9,0	4930
фанера	10,40	5720
медь	70,60	631164
соломенный блок	0,24	31
алюминий	227, 00	515700
латунь	62,00	519560
пиломатериалы	2,5	1380
полистирол	117	3770
минеральная вата	30,30	970

### Приложение № 3. (для справки)

С началом эксплуатации здания для обеспечения функционирования его в течение расчетного срока службы используется эксплуатационная энергия на отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию, освещение (рисунок 2).

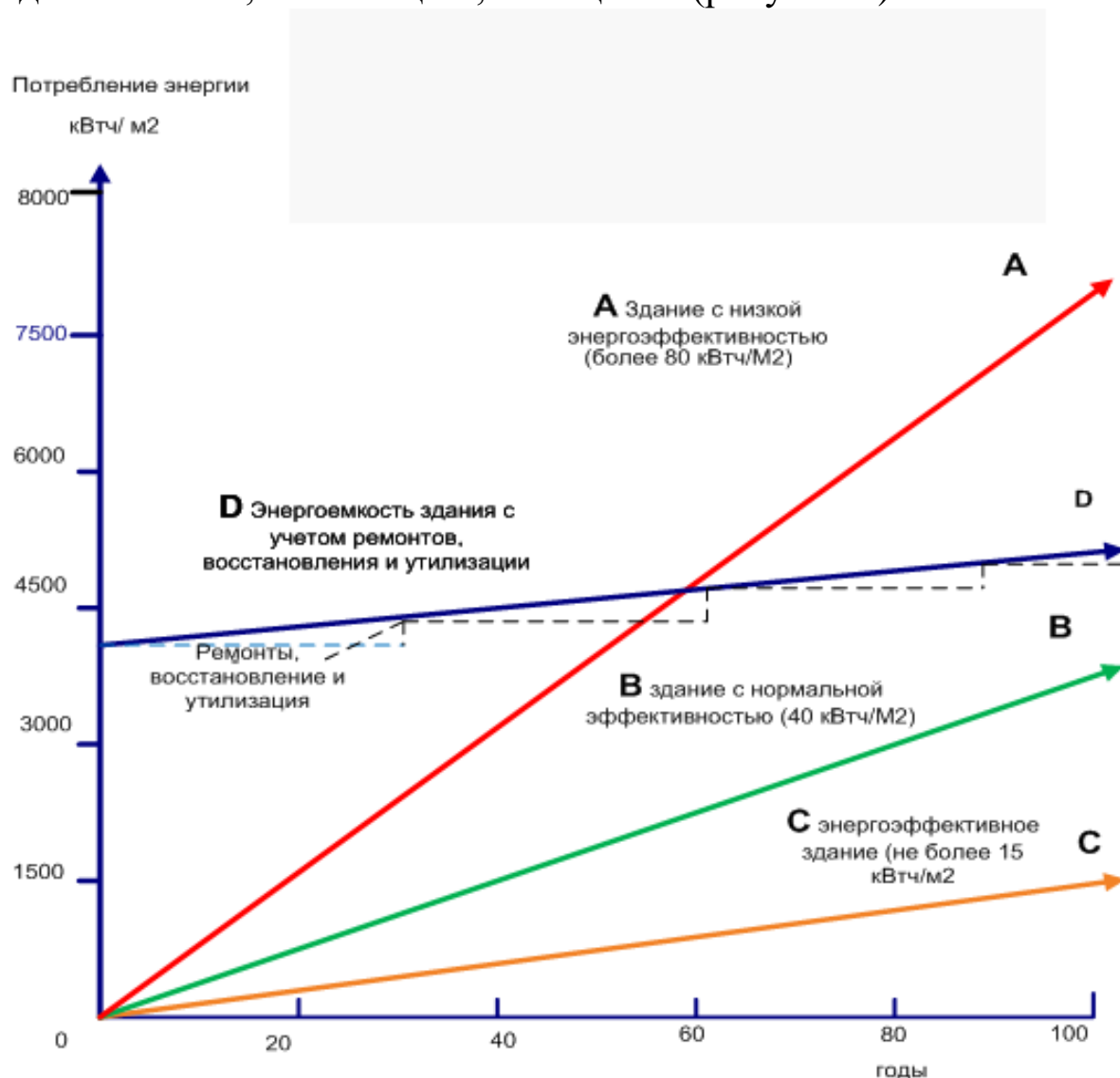


Рисунок 1: Динамика использования зданием первичной энергии (кВт·ч/м<sup>2</sup>)

## Приложение №4 (для справки).

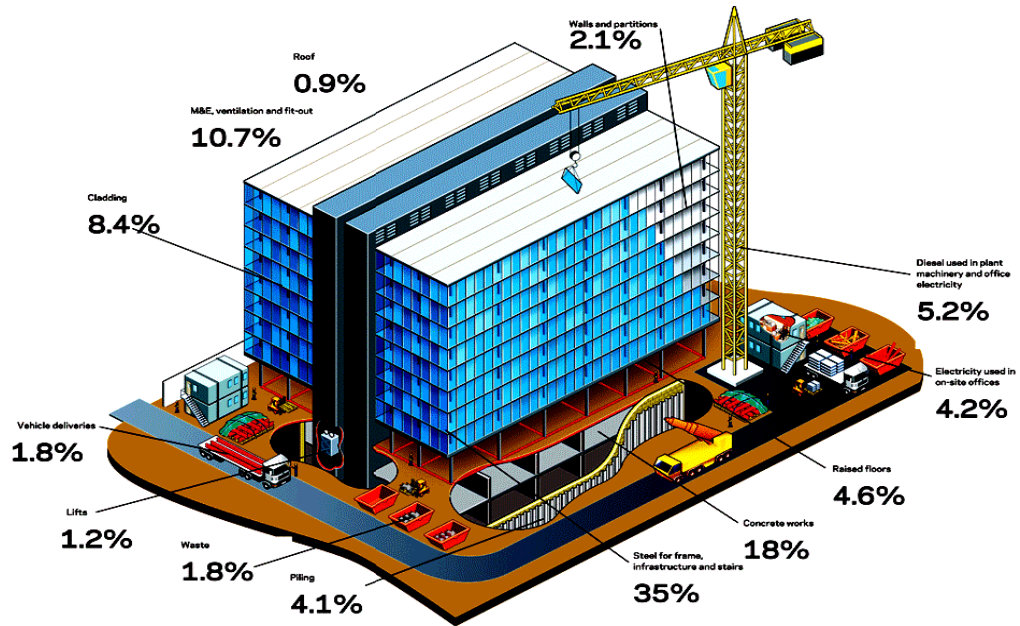


Рисунок 2: Доля (в %) энергоемкости различных конструкций каркасного здания в его полной энергоемкости