

## Моделирование энергосберегающих организационно-технологических процессов реконструкции зданий учебных учреждений

*И.Ю. Зильберова, А.О. Вонгай, М.Д. Арцишевский*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Одним из приоритетных направлений развития российской и мировой экономики является энергосбережение и сокращение потребления ископаемых энергоресурсов.

На территории России энергосбережение регулируется ФЗ-261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...», согласно которому предъявляются требования к классу энергоэффективности зданий. Существующий фонд городской застройки привести к требуемому классу энергоэффективности возможно путем реконструкции.

Несмотря на то, что закон вступил в силу с 2010 года, отсутствуют методики для системной разработки программных мероприятий по энергосбережению общественных зданий в рамках проведения реконструкции. Раздельно используемые методики для проведения реконструкции и внедрения энергосберегающих мероприятий не позволяют моделировать принятие эффективных решений повышения уровня технической эксплуатации зданий.

Решение данного вопроса предлагается методикой, которая позволяет моделировать организационно-технологические процессы реконструкции зданий с применением энергосберегающих мероприятий.

Практическая значимость разработанной методики, доказана путем ее внедрения при реконструкции зданий высшего учебного учреждения.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергетическая эффективность, технологический процесс, организационно-технологическое моделирование, ресурсно-технологическая модель, учебное заведение, бюджетные учреждения, энергосберегающее мероприятие, реконструкция здания, критериальный анализ.

На строительном рынке России в условиях сложившейся экономической ситуации наблюдается тенденция сокращения строительства новых объектов. Тем не менее, обостряются проблемы повышения уровня технической эксплуатации зданий общественного назначения, особенно с принятием ФЗ-261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...».

Согласно закону эксплуатируемые здания должны быть класса энергоэффективности не ниже С - «Нормальный», однако почти 80% зданий

---

Ростовской области класса «D» и «E». Изменение класса энергоэффективности существующих зданий до нормального возможно осуществить в рамках проведения реконструкции. Несмотря на то, что вопросы энергосбережения и повышения энергетической эффективности уже достаточно давно приобрели приоритетное государственное значение, отсутствуют адекватные методики для системной разработки программных мероприятий по энергосбережению общественных зданий в рамках проведения реконструкции.

Раздельно используемые методики для проведения реконструкции и внедрения энергосберегающих мероприятий не позволяют моделировать принятие эффективных решений повышения уровня технической эксплуатации зданий.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что одним из направлений, способных обеспечить эффективность решений повышения уровня технической эксплуатации зданий с учетом применения энергосберегающих мероприятий является повышение эффективности организации технологических процессов при реконструкции зданий.

Решение данной проблемы предложено путем составления инновационной методики повышения эффективности организации технологических процессов реконструкции зданий общественного назначения за счет применения энергосберегающих мероприятий.

Согласно нормативным источникам, реконструкция зданий подразделяется на полную или частичную. Основные факторы, от которых зависит характер реконструкции, это:

- 1) процент износа основных несущих конструкций здания (стен и перекрытий);



2) соответствие планировки и благоустройства здания современным требованиям, а также возможность использования без значительных переделок существующих наружных сантехкоммуникаций.

К основным группам работ по реконструкции относятся:

- 1) Усиление конструкций
- 2) Замена конструкций
- 3) Сверление и пробивка отверстий, проемов в конструкциях. Заделка отверстий, гнезд и борозд
- 4) Надстройка, пристройка зданий
- 5) Перестройка зданий
- 6) Разборка конструкций
- 7) Разборка зданий

Работы при реконструкции, в том числе и надстройка, могут осуществляться как самостоятельный способ реконструкции, так и быть одним из составляющей мероприятий полной (комплексной) реконструкции здания в целом.

Энергосбережение достигается путем реализации энергоэффективных и энергосберегающих мероприятий, перечень которых формируется при проведении энергетического обследования организации. За контроль качества разработки методических рекомендаций и типовых энергосберегающих мероприятий отвечают себя ассоциации саморегулируемых организаций (СРО) в области энергоаудита.

К энергосберегающим мероприятиям предъявляются конкретные требования, которые прописаны в Федеральном законе № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. и стандартах СРО.

Министерство образования и науки РФ на VI Энергетическом форуме «Стандарты энергоэффективности: организации образования и науки»

представило список рекомендуемых ЭЭМ для образовательных организаций в т.ч. для высших учебных заведений.

На основании рассмотренных технологических процессов (ТП) реконструкции зданий учебных учреждений и списка ЭЭМ, рекомендуемых Министерством образования и науки РФ, формируется перечень ТП, выполняемых при реконструкции зданий с учетом ЭЭМ. ТП, выполняемые при реконструкции зданий учебных учреждений, должны отвечать современным требованиям по энергосбережению.

Работы по реконструкции зданий состоят из сложных технологических процессов и множества вариантов их выполнения. Выбор ТП осуществляется на основании имеющихся технологий на каждый вид работ. Каждой технологии присваивается порядковый номер  $i = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Рациональный выбор ТП выполнения того или иного вида работ на предпроектных стадиях строительного производства с точки зрения экономической, материальной, ресурсной целесообразности осуществимо на основании ресурсно-технологической модели (РТМ), которая представляет собой неизменяемый в течение длительного периода времени специально обработанный (агрегированный) набор материальных и трудовых ресурсов, сформированный на основе данных по объектам-представителям.

РТМ формируется по данным объектов-представителей, которые должны отвечать градостроительным и теплотехническим требованиям, предъявляемым на территории определенного региона, отражать специфические особенности развития строительного производства по технологическим решениям, в максимальной степени предусматривать оптимизацию технологий с использованием новых эффективных материалов и изделий.

Данные об объекте-представителе позволяют моделировать наиболее рациональные организационно-технологические решения строительной

---

системы, полученной вариантным проектированием и выявлением альтернативных решений, наиболее соответствующих конкретным условиям производства.

Ресурсно-технологическая модель состоит из двух блоков:

1. ресурсного блока, который включает в себя специально обработанные проектные объемы в натуральном выражении материалов, изделий и нормативную величину затрат труда работников, занятых на строительном производстве.

2. стоимостного блока, включающего как величину стоимостной оценки на единицу объема ресурса (цена ресурса), так и на полный его объем. Блок стоимостной оценки модели содержит показатели стоимости ресурсов за базовый период.

Основой формирования ресурсного блока является определение объема применения материальных ресурсов при выполнении работ по реконструкции на объектах-представителях в зависимости от ТП.

Суммарный объем применения ресурсов определяется путем формирования перечня выполняемых работ ( $\sum a_i$ ) на объекте и определением объема применяемых материалов, машин и механизмов по видам работ или объекту в целом.

В соответствии с действующими ГЭСН, каждая работа  $a_i$  разбивается на перечень ресурсов: материалы, машины, механизмы, трудозатраты и определяется продолжительность работ  $a_i$  и ТП<sub>i</sub> в целом.

Ресурсные показатели, по объектам-аналогам, обрабатываются, и на основе применения статистического инструментария, используются для формирования РТМ с целью определения стоимости выполняемых работ. Оценке ресурсных показателей подлежат суммарные данные, полученные либо по объекту в целом либо по соответствующим разделам сметы.

Стоимостной блок формируется путем определения средне взвешенной по группе материалов в базовом уровне цен для рассматриваемого района. В блок стоимостной оценки, принимаемый в качестве базисного, включаются показатели стоимости ресурсов в сметных ценах, введенных в действие с 01.01.2001г.

### **Оценка эффективности организации технологических процессов при реконструкции зданий по экономическим и энергетическим критериям**

Для решения задач оценки эффективности организации технологических процессов (ОТП) при реконструкции, существует достаточно значительное количество методов и моделей [5]. К сожалению, в современных исследованиях отсутствуют рекомендации по выбору наиболее приоритетного ТП для определенного вида работ. Поэтому было проведено исследование в области оценки эффективности ОТП и в качестве метода научного исследования был выбран критериальный анализ и определение коэффициента весомости ( $\mu$ ).

Естественно возникает вопрос о том, какие критерии являются определяющими для выбора наиболее эффективного ТП. Для выяснения данного вопроса был проведен анализ особенностей образовательных организаций при организации ТП реконструкции и анализ требований по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. В результате было установлен набор критериев, учитываемых при определении приоритетности ТП, включает 2 группы:

- 1) экономические критерии оценки эффективности ТП;
- 2) энергетические критерии оценки эффективности ТП.

В состав экономических критериев вошли:

- 1) затраты на проведение технологического процесса в базовых ценах по состоянию на 1.01.2001г.;
-

2) затраты на проведение технологического процесса в текущем уровне цен;

3) продолжительность работ;

4) трудоемкость работ.

Энергетическими критериями являются:

5) энергетическая эффективность ТП в натуральных показателях;

6) энергетическая эффективность ТП в денежном выражении;

7) срок окупаемости.

Энергетическая эффективность ТП предполагает использование упрощенной схемы расчета без учета фактора времени (дисконтирования), т.к. оценка каждого мероприятия с учетом дисконтирования не будет достаточно достоверной и этот процесс очень трудоемкий и продолжительный.

Процедура повышения эффективности ОТП при реконструкции является по сути многокритериальной задачей, когда приходится учитывать сразу несколько факторов, характеризующих ТП с учетом условий ограничения.

Для решения такой задачи возможно применение методов критериального анализа для определения коэффициента весомости  $\mu$  и экспертной оценки.

На первом шаге критериального анализа составляется матрица критерий вида  $Q(i; j)$ , где  $i = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $j = \{1, 2, \dots, m\}$  или

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

где каждая строка  $i$  соответствует технологическому процессу  $ТП_i$ , а столбец  $j$  – определенному критерию, а  $q_{ij}$  – значение критерия  $j$   $ТП_i$ . Таким образом должна получиться таблица 1.

Табл. 1. Общий вид таблицы критериальной оценки ТП

---

---

	Критерий 1	Критерий 2	...	Критерий m
ТП1				
ТП2				
...				
ТПn				

Следующий шаг это проверка соответствия значений критерий ( $q_{ij}$ ) условиям ограничения и исключения  $ТП_i$  в случае не выполнения условия (2)

$$q_{ij} \leq Q_{j\max}, \quad (2)$$

где  $Q_{j\max}$  – предельно допустимое значение критерия  $q_j$ .

Таким образом, количество исключенных ТП ( $N$ ) может быть  $N=[0; n]$ . В этом случае матрица будет размерностью  $n-N \times m$ .

Далее производится экспертная оценка технологических процессов  $ТП_i$ .

В качестве эксперта выступает один человек, либо ЭВМ для расстановки баллов. Баллы присваиваются значением критерий  $q_j$  от 1 до ( $n-N$ ) в порядке возрастания приоритета значения критерия.

Последний шаг – расчет коэффициента весомости  $\mu$  для  $ТП_i$  и проверка правильности расчета.

Коэффициент весомости  $\mu$  рассчитывается формуле (3):

$$\mu_i = \frac{\sum q_{ij}}{\sum \sum q_{ij}}, \quad (3)$$

где  $\mu_i$  – коэффициент весомости,  $q_{ij}$  – значение единичного показателя, представленного в баллах по каждому  $j$ -ому свойству.

Проверка:  $\sum \mu_i = 1$ , если условие не выполняется, необходимо произвести проверку правильности расчетов.

На основании проведенного критериального анализа и расчета коэффициента весомости, экспертом делается вывод о наиболее эффективном технологическом процессе ( $ТП_i$ ), который предлагается к внедрению.



Экономическую оценку эффективности организации технологических процессов при реконструкции общественных зданий производят по показателям эффективности: чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности (ИД), срок окупаемости (Ток).

На основании вышеизложенных расчетов разработан алгоритм моделирования организации технологических процессов реконструкции общественных зданий с учетом ЭЭМ и представлен на рисунке 1.

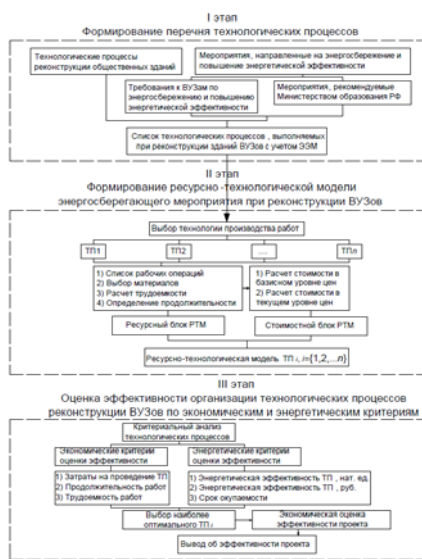


Рис. 1. Алгоритм формирования РТМ (будет расширен после окончательного форматирования)

Ресурсно-технологическая модель направлена на оптимизацию строительно-монтажных работ, максимально адаптировать объект к конкретным условиям региона и провести анализ эффективности инвестиций на предварительных стадиях проектирования. Однако методика формирования РТМ имеет свои преимущества и недостатки. Обладая высокой степенью достоверности оценки, она в тоже время требует обработки огромной базы данных ресурсов по объектам-представителям, построенных на территории определенного региона.

Важным этапом при оптимизации технологических процессов является экономическая оценка эффективности технологического процесса, на



основании которой делается вывод о рациональности проведения реконструкции.

### Литература

1. Башмаков И. А. Потенциал энергосбережения в России, Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности // Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности URL: [gisee.ru/articles/smi/1078](http://gisee.ru/articles/smi/1078) (дата обращения: 27.04.2017)

2. Гагарин В.Г. К обоснованию повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Стройпрофиль. 2010. №1. С. 21-23.

3. Грабовый, П.Г., Харитонов В.А. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города. 2-е перераб. изд. М.: Проспект, 2013. 712 с.

4. Дмитриев А.Н. Управление энергосберегающими инновациями в строительстве зданий. М.: АСВ, 2000. 320 с.

5. Зильберова И.Ю. Системно-поточная организация строительного производства при реконструкции жилых домов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.08. Ростов-на-Дону, 2000. 24 с.

6. Шеина С.Г., Чередниченко Н.Д., Вонгай А.О. Выбор наиболее эффективного варианта повышения тепловой защиты зданий высших учебных образовательных учреждений методом критериального анализа // Бюллетень строительной техники. 2013. №9. С. 55-58.

7. Зильберова И.Ю., Петрова Н.Н., Петров К.С. Энергоэффективная реконструкция вторичной застройки жилых кварталов и микрорайонов // Инженерный вестник Дона, №4, 2012. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1295](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1295)

8. Ключникова О.В., Хатунцева А.В. Формирование системы управления для строительства, реконструкции или модернизации инженерных сетей Ростовской области // Инженерный вестник Дона, №4, 2012. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1377](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1377)

9. Sheina S.G., Khamavova A.A. Technique for the Russian Federation regional territories assessment used to create industrial parks network // Procedia Engineering. 2016. №150. pp. 1960-1965.

10. Sheina S., Fedorovskaya A. Ecological aspects in assessment of acoustic pollution at the territory of Rostov-on-Don // MATEC Web of Conferences. 2017. №106. pp. 07010.

#### References

1. Bashmakov I. A. Potentsial energosberezheniya v Rossii, Gosudarstvennaya informatsionnaya sistema v oblasti energosberezheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti Gosudarstvennaya informatsionnaya sistema v oblasti energosberezheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti URL: [gisee.ru/articles/smi/1078](http://gisee.ru/articles/smi/1078) (data obrashcheniya: 27.04.2017)

2. Gagarin V.G. Stroyprofil'. 2010. №1. pp. 21-23.

3. Grabovyy, P.G., Kharitonov V.A. Rekonstruktsiya i obnovlenie slozhivsheysya zastroyki goroda [Reconstruction and renovation of the existing building of the city]. 2-e pererab. izd. M.: Prospekt, 2013. 712 p.

4. Dmitriev A.N. Upravlenie energosberegayushchimi innovatsiyami v stroitel'stve zdaniy [Management of energy-saving innovations in building construction]. M.: ASV, 2000. 320 p.

5. Zil'berova I.Yu. Sistemno-potochnaya organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva pri rekonstruktsii zhilykh domov [System-flow organization of construction production in the reconstruction of residential buildings]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.08. Rostov-na-Donu, 2000. 24 p.



6. Sheina S.G., Cherednichenko N.D., Vongay A.O. Byulleten' stroitel'noy tekhniki. 2013. №9. pp. 55-58.
7. Zil'berova I.Yu, Petrova N.N., Petrov K.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №4, 2012. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1295](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1295)
8. Klyuchnikova O.V., Khatuntseva A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №4, 2012. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1377](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1377)
9. Sheina S.G., Khamavova A.A. Technique for the Russian Federation regional territories assessment used to create industrial parks network Procedia Engineering. 2016. №150. pp. 1960-1965.
10. Sheina S., Fedorovskaya A. Ecological aspects in assessment of acoustic pollution at the territory of Rostov-on-Don MATEC Web of Conferences. 2017. №106. pp. 07010.