

А.А. Рожков, М.С. Карпенко

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФИНАНСОВЫХ ЗАТРАТ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ИННОВАЦИЯМИ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Экономико-математические модели и алгоритмы по решению задачи оптимизации планирования финансовых затрат имеют важное значение для стратегического планирования и управления энергосберегающими инновациями, снижения себестоимости выпускаемой продукции на предприятиях с большим энергопотреблением. Поставлена и решена задача оптимизации набора энергосберегающих мероприятий с целью минимизации инвестиций при условии достижения требуемой экономии энергоресурсов, с учетом фактора степени риска. Дано обоснование подхода к определению стоимости энергетического обследования с учетом получения максимального результата (информации о потенциале энергосбережения) при ограничении финансовых затрат на проведение энергообследования.

Ключевые слова: энергосбережение, инвестиции, метод оптимизации, экономико-математическое моделирование, целевая функция, алгоритм, степень риска, энергообследование, потенциал энергосбережения.

Экономико-математические модели и алгоритмы по решению задачи оптимизации планирования финансовых затрат имеют важное значение для стратегического планирования и управления энергосберегающими инновациями, снижения себестоимости выпускаемой продукции на предприятиях с большим энергопотреблением, каковыми являются горнопромышленные предприятия. В работе [1] осуществлена постановка задачи минимизации инвестиций и инноваций для достижения требуемой экономии энергоресурсов и предложен алгоритм ее реализации на основе сценарного подхода.

Особенностью управления энергосберегающими инновациями являются высокая степень их риска и неопределенности [2], что необходимо учитывать при построении экономико-математических моделей и алгоритмов формировании программ

энергосбережения с целью их оптимизации. Данную задачу предлагается решать путем выбора варианта плана энергосберегающих мероприятий (ПЭМ) на основе сценарного подхода.

Введем обозначения параметров ПЭМ: T – число лет (продолжительность) ПЭМ, t – номер года реализации ПЭМ ($t=1, T$), $\bar{\mathcal{E}}_t$ – объем экономии энергоресурсов в t -м году, $\bar{\mathcal{E}}$ – суммарный объем экономии энергоресурсов за T лет,

$$\bar{\mathcal{E}} = \sum_{t=1}^T \bar{\mathcal{E}}_t.$$

R_t – критическое значение риска в t -м году (порог риска).

Пусть задана совокупность n мероприятий (ЭМ), из которых формируется оптимальный план энергосберегающих мероприятий (ОПЭМ).

Для каждого i -го энергосберегающего мероприятия (ЭМ _{i}) заданы его характеристики: T_i – срок реализации

(число лет); τ – номер года реализации; I_{it} – объем инвестиций в τ -м году; Z_{it} – эксплуатационные затраты в τ -м году; R_{it} – риск невыполнения ЭМ_i в τ -м году; $\mathcal{E}_{it}$ – объем экономии энергоресурсов в τ -м году, достигнутый за счет реализации τ -го этапа ЭМ_i.

Таким образом, поставлена задача оптимизации набора энергосберегающих мероприятий с целью минимизации инвестиций при условии достижения требуемой экономии энергоресурсов, с учетом фактора степени риска.

Решением этой задачи является матрица X_{it} – составленная из решений x_{it} о принятии или об отказе от реализации каждого ЭСМ в каждом временном отрезке:

$$x_{it} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{е ЭСМ включено} \\ & \text{в план года } t \\ 0, & \text{если } i - \text{е ЭСМ не включено} \\ & \text{в план года } t \end{cases}$$

Решение данной задачи будем искать методом полного перебора. Алгоритм построения оптимального плана энергосберегающих мероприятий (ОПЭМ) приведен на рис. 1.

В настоящее время существует множество методик проведения энергетических обследований для объектов предприятий и организаций [3, 4], а также методик расчета стоимости энергоаудита [5, 6]. Как правило, энергоаудиторские компании рассчитывают стоимость энергообследований:

- на основании личного опыта проведения подобных работ;
- исходя из затрат на определенный объем работ;
- исходя из объема потребления объема топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) предприятием-заказчиком.

Существующие методики определения стоимости энергоаудита включают централизованно разработанные нормы и поправки, учитывающие

многообразие рыночных, географических, технологических и прочих условий, недостатком которых является использование устаревших нормативов прямых затрат на проведение измерений, расчетов и возможностью применения различных способов измерений и анализа полученной информации. В результате применения существующих методов определения стоимости энергоаудита расценки не отражают целей проведения энергоаудита и являются либо завышенными, либо заниженными.

Заниженная стоимость энергоаудита приводит к тому, что работы по обследованию могут быть не качественными, неполными, неточными, что, в свою очередь, приводит к ошибочному определению потенциала энергосбережения, решения по энергосбережению будут основываться на неточной и неточной информации.

С другой стороны, завышенная стоимость энергоаудита может дать большое количество интересной, но мало полезной с точки зрения энергосбережения информации, потенциала энергосбережения может не хватить для окупаемости затраченных средств.

Главной задачей энергоаудита является выявление максимального (или требуемого) уровня резерва (потенциала) энергосбережения, поэтому стоимость энергоаудита должна зависеть от его конечного результата – величины выявленного потенциала энергосбережения.

В связи с этим представляется важным не столько определение стоимости энергоаудита, сколько его обоснование, для чего необходимо решить следующие задачи:

1. Достижение максимального эффекта энергоаудита в рамках заданного бюджета (соотношения выявленных резервов и суммы стоимости энергоаудита и стоимости внедрения мероприятий по энергосбережению).

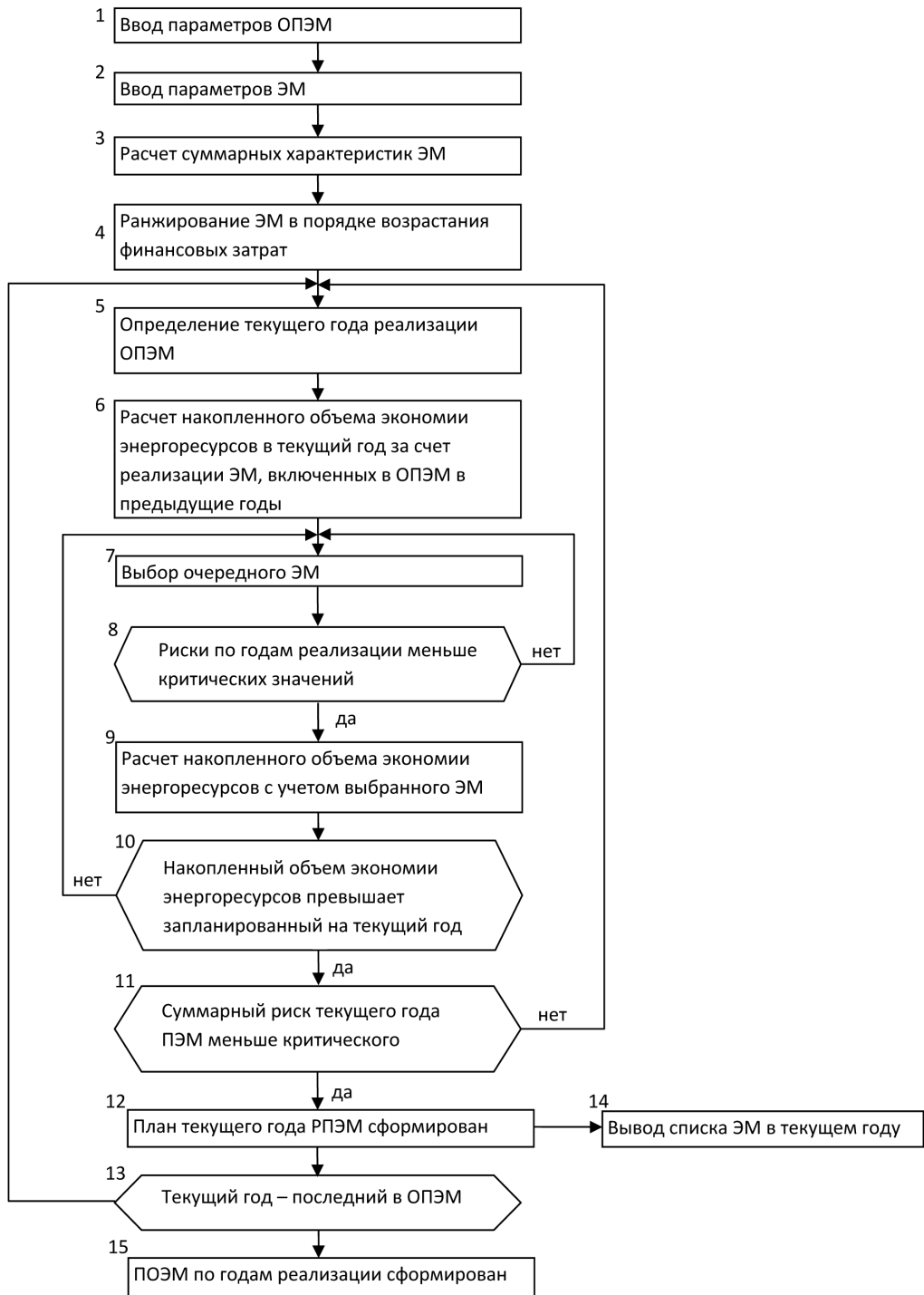


Рис. 1. Схема алгоритма формирования оптимального плана инвестиций с учетом фактора риска

2. Достижение требуемого эффекта при минимальных затратах.

В статье дается обоснование подхода к определению стоимости энергетического обследования с учетом получения максимального результата (информации о потенциале энергосбережения) при ограничении финансовых затрат на проведение энергообследования.

Введем обозначения: V_6 – объем финансирования комплекса работ по энергоаудиту; $R_{\text{крит}}$ – критический уровень риска; $\Pi\Pi_{\text{крит}}$ – критический уровень производственных потерь; CO_j – стоимость j -й работы O_j из обязательного списка; PO_j – ресурс, выявленный в результате выполнения работы O_j ; CD_i – стоимость i -й работы D_i из дополнительного списка; PD_i – ресурс, выявленный в результате выполнения работы D_i ; RD_i – риск невыполнения работы D_i ; $\Pi\Pi D_i$ – производственные потери, возникающие вследствие выполнения работы D_i ; M, N – количество работ обязательного и дополнительного списка соответственно.

Задача формирования перечня работ по энергоаудиту, выявляющих максимально возможный ресурс (согласно экспертным оценкам) в рамках выделенного бюджета, при ограничении производственных потерь и рисков является задачей оптимизации вида: $P(CO_j, CD_i, PO_j, PD_i, RD_i, \Pi\Pi D_i) \rightarrow \max$ при ограничениях:

$$\sum CO_j + \sum CD_i \leq V_6;$$

$$RD_i \leq R_{\text{крит}};$$

$$\Pi\Pi D_i \leq \Pi\Pi_{\text{крит}}.$$

Задача решается численно по следующему алгоритму.

1. Задаются значения параметров работ по энергоаудиту: $V_6, R_{\text{крит}}, \Pi\Pi_{\text{крит}}, CO_j, PO_j, CD_i, PD_i, RD_i, \Pi\Pi D_i$.

2. Для работ обязательного списка находятся суммарная стоимость и суммарная величина выявленного резерва

$$C = \sum_{j=1}^M CO_j, \quad P = \sum_{j=1}^M PO_j.$$

3. Определяется бюджетный остаток $\Delta_6 = V_6 - C$.

4. Если $\Delta_6 \geq 0$ и для всех работ дополнительного списка D_i стоимость $CD_i > \Delta_6$, перечень работ сформирован и состоит только из работ обязательного списка. В случае $\Delta_6 < 0$ необходима корректировка бюджета в сторону увеличения. Переход к шагу 12.

5. Ранжирование работ дополнительного списка D_i в порядке убывания ресурса PD_i .

6. Производится поочередный перебор ранжированных работ из дополнительного списка.

7. Если неравенство $\Delta_6 - CD_i > 0$ выполняется, выполняется шаг 8. В противном случае – шаг 12.

8. Осуществляется проверка: включены ли в перечень работы, необходимые для выполнения работы D_i . В случае положительного решения выполняется шаг 9, в противном случае – шаг 6.

9. Если риск невыполнения работы D_i не превышает критического значения $R_{\text{крит}}$, $RD_i \leq R_{\text{крит}}$, то выполняется шаг 10, иначе – шаг 6.

10. Если производственные потери работы не превышают критического значения $\Pi\Pi_{\text{крит}}$, $\Pi\Pi D_i \leq \Pi\Pi_{\text{крит}}$, выполняется шаг 11, иначе – шаг 6.

11. Очередная работа D_i включается в перечень работ. Вычисляется бюджетный остаток $\Delta_6 = \Delta_6 - CD_i$. Далее выполняется шаг 6.

12. Перечень работ сформирован. Рассчитывается накопленный ресурс

$$P = \sum_{j=1}^M PO_j + \sum_{i=1}^n PD_i$$

и общая стоимость работ

$$C = \sum_{j=1}^M CO_j + \sum_{i=1}^n CD_i.$$

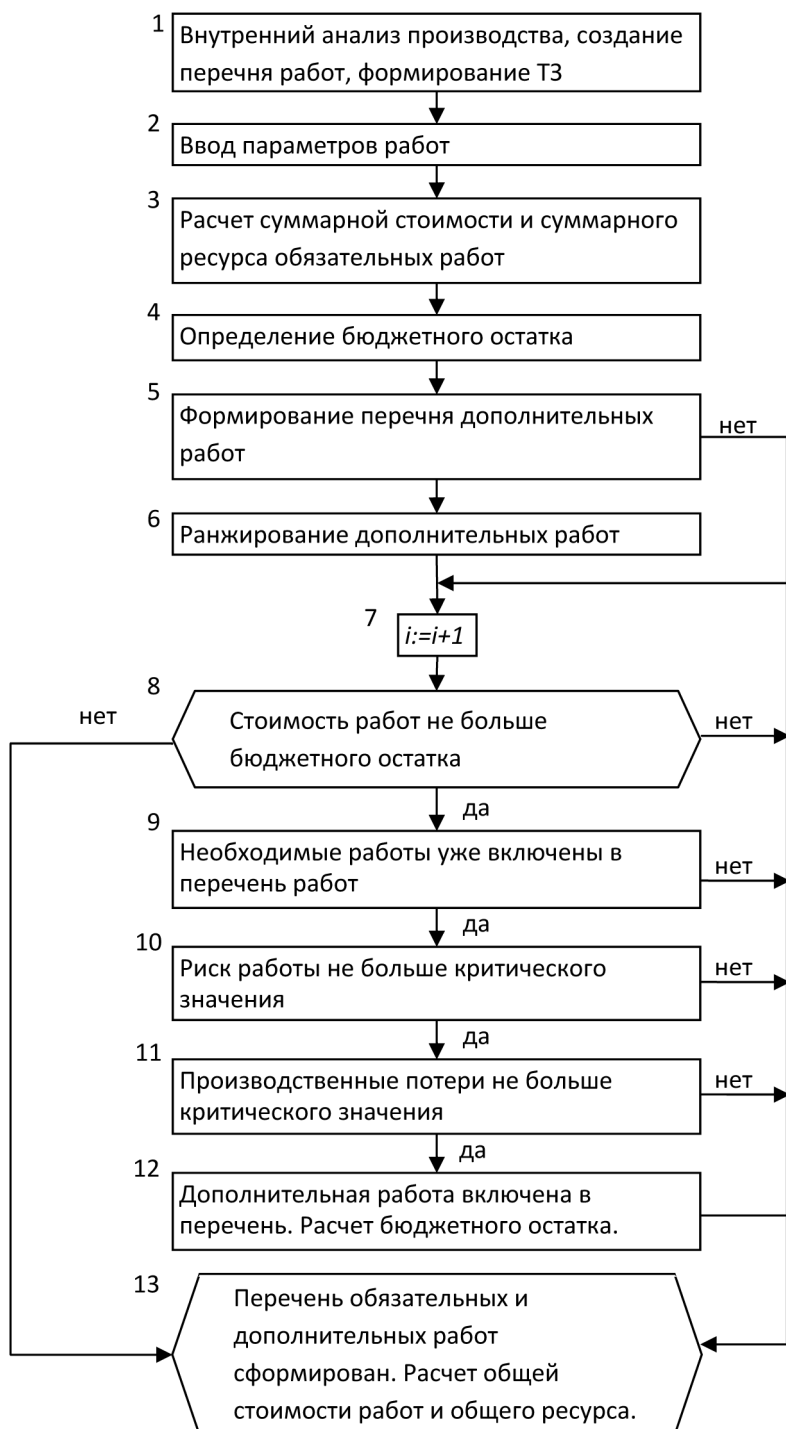


Рис. 2. Схема алгоритма формирования перечня работ по энергообследованию с учетом оптимизации финансовых затрат

Если $\Delta_6 = V_6 - C > 0$ имеет место экономия бюджета работ в объеме Δ_6 .

Значения параметров (характеристик) работ, таких как риски, выявленный ресурс, производственные потери, носят оценочный характер и в значительной мере зависят от компетентности экспертов.

Алгоритм не предусматривает дисконтирование бюджета. Поскольку, как показывает практика, длительность большинства работ по энергоаудиту не превышает 2–3 месяцев, инфляционными ожиданиями можно пренебречь.

Задача составления сетевого графика работ по энергоаудиту («дорожной карты»), с учетом последовательности проведения работ и сезонности, решается методами, разработанными в теории управления проектами.

Схема алгоритма формирования перечня работ по энергообследованию приведена на рис. 2.

Предложенные подходы оптимизации финансовых затрат при управлении энергосберегающими инновациями как при выборе плана инвестиций в энергосбережение, так и при обосновании стоимости энергетических обследований являются весьма актуальными для горнопромышленных предприятий, являющихся крупными потребителями энергоресурсов и для энергосберегающих проектов которых характерны высокая капиталоемкость и степень риска, а также длительные сроки окупаемости. Разработка эффективной системы планирования и оптимального использования финансовых ресурсов позволяет осуществить формирование эффективного организационно-экономического механизма управления энергосберегающими инновациями на предприятиях горнопромышленного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожков А.А., Карпенко М.С. Разработка экономико-математических моделей и алгоритмов формирования оптимальных планов инвестиций в энергосбережение на горных и промышленных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 8. – С. 292–298.

2. Карпенко М.С. Учет факторов риска и неопределенности при реализации энергосберегающих проектов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2014 – № 6. – С. 13–16.

3. Методика проведения энергетических обследований (энергоаудита) предприятий и организаций угольной отрасли. Одобрена на заседании координационного совета Минэнерго России по энергосбережению и повышению энергоэффективности в угольной

промышленности (протокол от 29.05.2012 № 6). – М., 2011. – 89 с.

4. Рузанова Н.И., Мурашов А.О. Энергосбережение: законодательство, программы, методики, сервис, аудит. – СПб.: Издательство 7-я студия РИК, 2011. – 472 с.

5. Инструкция определения стоимости оказания услуг по проведению энергетического обследования членами Саморегулируемой организации Некоммерческого партнерства «Международный центр Энергоэффективности, Энергобезопасности и Возобновляемых источников энергии» и экспертизе отчетных материалов РД 009-12-2010. – М., 2010. – 13 с.

6. Вакулко А.Г., Злобин А.А., Романов Г.А. Проблемы ценообразования при проведении энергетических обследований // Энергосбережение, 2003 – № 3. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рожков Анатолий Алексеевич – доктор экономических наук, профессор,
Карпенко Михаил Сергеевич – аспирант,
НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

**ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS AND ALGORITHMS
TO OPTIMIZE FINANCIAL COSTS IN THE MANAGEMENT
OF ENERGY-SAVING INNOVATIONS IN MINING AND INDUSTRY**

Rozhkov A.A.¹, Doctor of Economical Sciences, Professor,
Karpenko M.S.¹, Graduate Student,

¹ National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

Economic and mathematical models and algorithms for solving the optimization problem of planning the financial costs are essential for strategic planning and management of energy-saving innovation, reduce the cost of production in enterprises with high energy. The article posed and solved the problem of optimizing a set of energy saving measures in order to minimize investment subject to achieve the desired energy savings, taking into account the risk factor. The article also explains the rationale for the approach to the determination of the cost of energy audits in view of obtaining the best results (information on the potential energy savings) while limiting financial costs of energoobsledovaniy.

Key words: energy-economy, investment, method of optimizations, economic and mathematical modeling, target function, algorithm, level of risk, energoobsledovaniy, potential for energy savings.

REFERENCES

1. Rozhkov A.A., Karpenko M.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 8, pp. 292–298.
2. Karpenko M.S. *Energobezопасnost' i energosberezhenie*. 2014, no 6, pp. 13–16.
3. *Metodika provedeniya energeticheskikh obsledovaniy (energoaudita) predpriyatii i organizatsii ugol'noi otrasli*. Odobrena na zasedanii koordinatsionnogo soveta Minenergo Rossii po energosberezheniyu i povysheniyu energoeffektivnosti v ugol'noi promyshlennosti (protokol ot 29.05.2012 no 6) (Energy inspection procedure (energy audit) for coal mining industry. Approved by the Coordination Council of the RF Ministry of Energy for energy saving and energy efficiency enhancement in coal mining industry (Minutes no. 6 dated May 29, 2012)), Moscow, 2011, 89 p.
4. Ruzanova N.I., Murashov A.O. *Energosberezhenie: zakonodatel'stvo, programmy, metodiki, servis, audit* (Energy saving: legislation, programs, procedures, service, audit), Saint-Petersburg, Izdatel'stvo 7-ya studiya RIK, 2011, 472 p.
5. *Instruktsiya opredeleniya stoimosti okazaniya uslug po provedeniyu energeticheskogo obsledovaniya chlenami Samoreguliruemoi organizatsii Nekommercheskogo partnerstva «Mezhdunarodnyi tsentr Energoeffektivnosti, Energobezопасnosti i Vozobnovlyaemykh istochnikov energii» i ekspertize otchetnykh materialov RD 009-12-2010* (Guidelines on rating of services on energy inspection by members of the Self-Regulatory Organization of Nonprofit Partnership “International Center for Energy Efficiency, Energy Safety and Renewable Energy Sources” and expert examination of deliverables according to Regulatory Document RD 009-12-2010), Moscow, 2010, 13 p.
6. Vakulko A.G., Zlobin A.A., Romanov G.A. *Energosberezhenie*, 2003, no 3.



**Лучшие инженерные идеи приходят в одиночестве,
поэтому изредка надо самоизолироваться.**