

УДК 005.85:005.334

А. С. МОРОЗОВА, А. Н. РАДЧЕНКО

*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Украина***МЕТОД САМООКУПАЕМОСТИ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ**

*Проблему финансирования энергосберегающей модернизации газоперекачивающих компрессорных станций предложено решать с помощью метода самоокупаемости. Впервые в проектном менеджменте при выборе рациональных вариантов инновационных проектов модернизации учтен климатический фактор. При этом в качестве показателя использован термочасовой (температурно-временной) потенциал охлаждения, определяющий получаемый эффект в виде экономии топлива ресурсов. В качестве примера приведен алгоритм решения оптимизационной задачи определения варианта модернизации газоперекачивающих станций для конкретных климатических условий.*

**Ключевые слова:** управление проектами, самоокупаемость, термочасовой потенциал, энергосберегающая модернизация, топливные ресурсы, газоперекачивающая компрессорная станция.

**Анализ проблемы и постановка цели исследования**

Газотранспортная система (ГТС) является базовой отраслью экономики Украины и включает 72 компрессорные станции (КС) с общим числом газоперекачивающих турбокомпрессорных агрегатов свыше 440. Большинство их газотурбинных установок (ГТУ) физически изношены и морально устарели, эксплуатируются с большими тепловыми потерями – более 50 % энергии топлива теряется с отработавшими газами. В результате в ГТУ сжигается около 5 % транспортируемого природного газа. Поскольку затраты на введение в эксплуатацию новых ГТУ составляют 700...1500 \$/кВт, а на модернизацию 150...300 \$/кВт, то предпочтение отдается последнему.

Цель исследования – разработка метода самоокупаемости при управлении инновационными проектами энергосберегающей модернизации газоперекачивающих КС.

**Результаты исследования**

Применительно к проектному менеджменту метод самоокупаемости (самофинансирования) [1] реализуется путем разделения проекта на несколько промежуточных подпроектов (этапов). Каждый реализованный подпроект должен приносить "промежуточный" доход с использованием прибыли для финансирования последующих подпроектов и в итоге – всего проекта.

Поскольку целью выполнения первого этапа является накопление финансовых средств для вы-

полнения последующего этапа, то реализованное на этом этапе техническое решение может являться либо частью комплексного технического решения всего проекта, либо же после выполнения своего назначения (накопление финансовых средств для выполнения последующего этапа) не использоваться в дальнейшем (при малых инвестициях на реализацию этого технического решения). Очевидно, первому варианту соответствует комплекс технических решений, создаваемый по принципу "надстройки": ступенчатые, каскадные типы установок.

На рисунке 1 представлены графические зависимости финансового состояния проекта: "Доходность (Д) – Затраты (З)" в виде функции времени  $T$ , для главных фаз традиционного (рис. 1, а) и самоокупающегося (рис. 1, б) проектов. Для самоокупающегося проекта затраты составляют лишь часть затрат на традиционный проект (З) и соответствуют стоимости первого подпроекта ( $Z_1$ ).

Условия эксплуатации КС характеризуются удаленностью от населенных пунктов и промышленных объектов, что не позволяет использовать горячую воду или пар, полученные за счет утилизации тепла уходящих газов ГТУ (температура газов 400...500 °С) на теплофикационные или технологические нужды, что делает неэффективным применение традиционных технологий их модернизации. Кроме того, имеет место существенная зависимость топливной эффективности ГТУ от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  на входе. Так, с повышением на 10 °С температуры воздуха  $t_{нв}$  на входе ГТУ производства ГП НПКГ "Зоря-Машпроект" удельный расход топлива  $b_e$  возрастает на 7...8 г/(кВт·ч) [2].

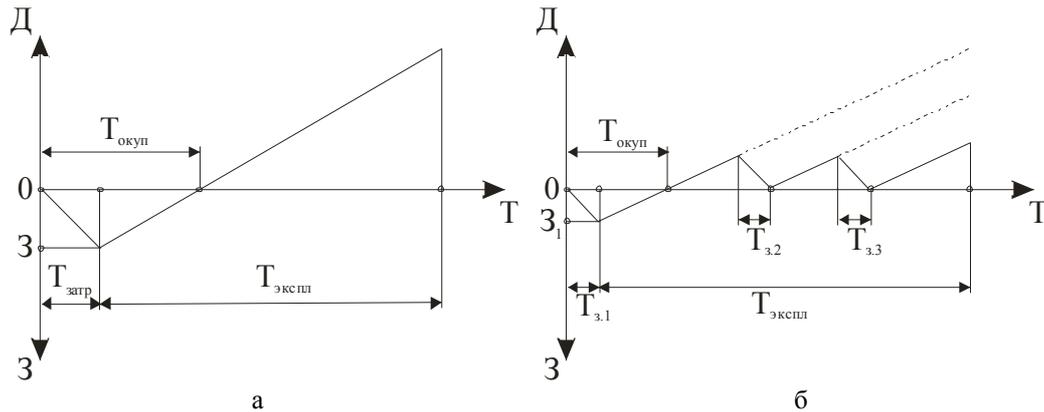


Рис. 1. Инвестиционно-временная диаграмма реализации и эксплуатации проектов:  
а – традиционного; б – самоокупающегося

Поэтому проекты энергосберегающей модернизации КС ГТС должны быть направлены на сокращение затрат на перекачку газа за счет уменьшения потребления топливного газа ГТУ.

Перспективным направлением ее реализации является снижение температуры воздуха  $t_{нв}$  на входе ГТУ безмашинным (увлажнением воздуха до состояния насыщения с понижением его температуры до температуры мокрого термометра  $t_m$ ) и машинными (с помощью теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ), утилизирующих тепло уходящих газов ГТУ) способами охлаждения.

Чем больше снижение температуры воздуха  $\Delta t = t_{нв} - t_{в2}$  на входе ГТУ и продолжительность эксплуатации ГТУ при низкой температуре охлажденного воздуха  $t_{в2}$ , тем больше эффект от охлаждения воздуха в виде сокращения потребления топливного газа. Поэтому при разработке и предварительной оценке эффективности проектов энергосберегающей модернизации КС ГТС целесообразно использовать метод, с одной стороны, базирующийся на простом и в то же время общеизвестном фундаментальном понятии (температуре), а с другой, позволяющий перейти к экономическим (денежным) показателям эффективности проекта без сложных расчетов.

Таковым является метод термoeкономического анализа на основе температурно-временного фактора – термочасового потенциала охлаждения  $\Pi$ :  $\Pi = \sum(\Delta t_b \cdot \tau)$ , где  $\Delta t_b$ , °C, – текущие значения снижения температуры воздуха на входе ГТУ в ТХМ;  $\tau$ , час, – соответствующие короткие промежутки времени, например,  $\tau = 1$  час. Соответственно, чем больше значения термочасового потенциала охлаждения  $\Pi$ , например, за год:  $\Pi = \sum(\Delta t_b \cdot \tau)_{\text{год}}$ , тем больше эффект от охлаждения воздуха в виде сокращения потребления топливного газа с учетом меняющихся в течение года климатических условий.

Глубина охлаждения воздуха  $\Delta t_b = t_{нв} - t_{в2}$  и, следовательно, эффект от охлаждения зависят по-

мимо температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  еще и от температуры  $t_{в2}$  охлажденного в ТХМ воздуха, которая зависит от типа ТХМ. Так, в абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах (АБХМ) возможно охлаждение воздуха до  $t_{в2} = 12...15^\circ\text{C}$ , абсорбционных водоаммиачных (ВАХМ) либо эжекторных хладоновых (ЭХМ) холодильных машинах – до более низких  $t_{в2} = 7...10^\circ\text{C}$  и ниже.

На рисунке 2 приведены текущие значения снижения температуры воздуха  $\Delta t$  от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечной  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ или ЭХМ),  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (АБХМ) и до температуры мокрого термометра  $t_m$ , т.е. часовые потенциалы охлаждения воздуха на входе ГТУ,  $\Pi = \Delta t \tau$ , где  $\tau = 1$  ч; а также суммарные (по нарастающей) потенциалы охлаждения,  $\Pi = \sum(\Delta t \tau)$ , в июле 2011 г. (Южно-Бугская КС, с. Любашевка, Николаевская обл.)

Как видно из рис. 2, изменение температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  обуславливает соответствующее изменение снижения температуры воздуха  $\Delta t$ , т.е. текущих часовых потенциалов охлаждения  $\Pi = \Delta t \tau$ , где  $\tau = 1$  ч, и, следовательно, темпов возрастания их суммарной величины  $\Pi = \sum(\Delta t_b \tau)$  за месяц.

Суммарную экономию топлива, например, за месяц  $V_{\tau}$ , рассчитывают как произведение суммарного потенциала охлаждения  $\Pi = \sum(\Delta t_b \tau)$  на уменьшение удельного расхода топлива при снижении температуры воздуха на входе на  $1^\circ\text{C}$ , т.е.  $\Delta b_c / \Delta t_b = 0,7 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$ , и на мощность ГТУ  $N_c$ :  $V_{\tau} = \Pi \cdot \Delta b_c / \Delta t_b \cdot N_c$ .

Данные по текущим ежемесячным и их суммарному (по нарастающей) термочасовым потенциалам  $\Pi$  охлаждения воздуха на входе ГТД от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечной  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в АВАХМ или ЭХМ) и  $15^\circ\text{C}$  (в АБХМ), а также в результате увлажнения воздуха до состояния насыщения – температуры по мокрому термометру  $t_m$  в течение 2011 г. приведены на рис. 3,а.

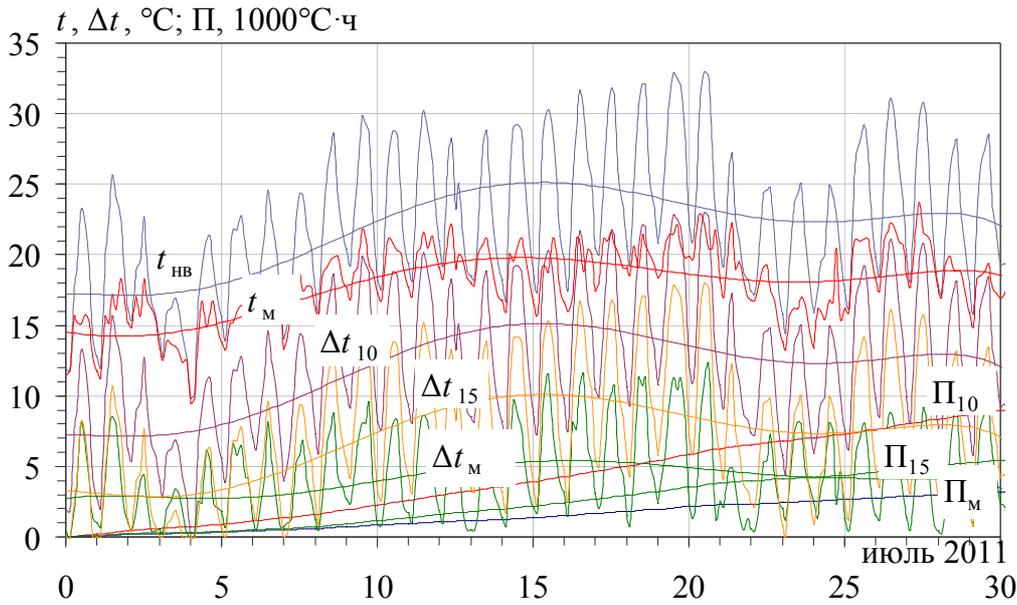


Рис. 2. Текущие значения снижения температуры воздуха  $\Delta t$  от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечной  $t_{в2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$  (ВАХМ или ЭХМ),  $t_{в2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$  (АБХМ) и до температуры мокрого термометра  $t_м$ , т.е. часовые потенциалы охлаждения воздуха на входе ГТУ,  $\Pi = \Delta t \tau$ , где  $\tau = 1\text{ ч}$ ; а также суммарные (по нарастающей) потенциалы охлаждения,  $\Pi = \Sigma(\Delta t \tau)$ , в июле 2011 г. (Южно-Бугская КС, с. Любашевка, Николаевская обл.):  $\Delta t_{10}$  и  $\Pi_{10}$  – при  $t_{в2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_{15}$  и  $\Pi_{15}$  –  $t_{в2} = 15\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_м$  и  $\Pi_м$  –  $t_{в2} = t_м$

Текущие ежемесячные термочасовые потенциалы охлаждения представляют собой сумму суточных потенциалов за каждый соответствующий месяц:  $\Pi_{мес} = \Sigma(\Delta t_b \tau)_{сут}$ , а годовой потенциал – сумму 12-ти ежемесячных термочасовых потенциалов:  $\Pi_{год} = \Sigma \Pi_{мес}$ . На рис. 3,б приведена соответ-

ствующая экономия топлива  $B_{т,10МВт}$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ мощностью 10 МВт.

На рисунке 4 приведены значения суммарного (по нарастающей) дохода  $\Sigma Д$ , \$, подсчитанного исходя из стоимости сэкономленного топлива 500 \$ за 1000 м<sup>3</sup> за июль 2011 г.

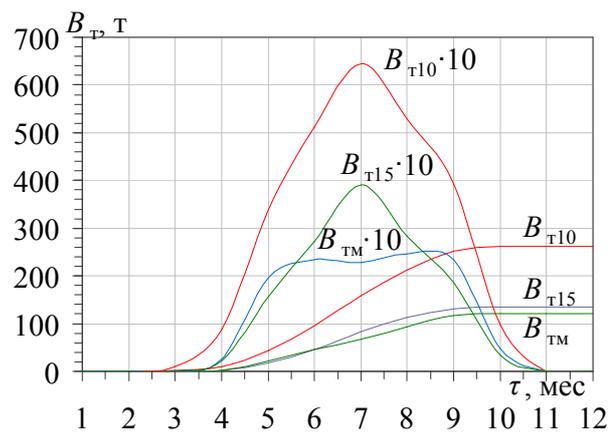
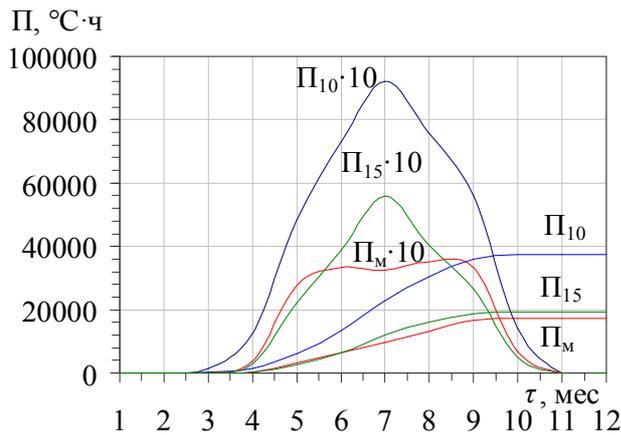


Рис. 3. Текущие ежемесячные и суммарные (по нарастающей) термочасовые потенциалы  $\Pi$  охлаждения воздуха на входе ГТД (а) и соответствующая экономия топлива  $B_{т,10МВт}$  (б) за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ мощностью 10 МВт от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечной  $t_{в2} = 10\text{ }^\circ\text{C}$  (в ВАХМ или ЭХМ) и  $15\text{ }^\circ\text{C}$  (в АБХМ), а также в результате увлажнения до температуры по мокрому термометру  $t_м$

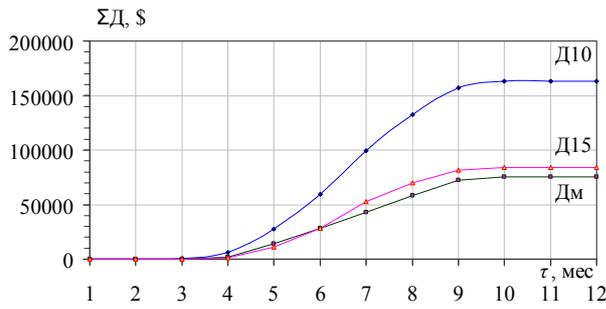


Рис. 4. Значения суммарного (по нарастающей) дохода  $\Sigma Д$ , \$, за счет снижения температуры воздуха  $\Delta t$  от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечной  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ или ЭХМ),  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (АБХМ) и до температуры мокрого термометра  $t_m$  за июль 2011 г.

На рисунке 5 приведены значения разности  $\Sigma Д - К$  (прибыли) суммарного (по нарастающей) дохода  $\Sigma Д$ , подсчитанного исходя из стоимости сэкономленного топлива при цене  $500 \$$  за  $1000 \text{ м}^3$ , и капитальных затрат  $К$  на ТХМ. При этом капиталь-

ные затраты на ТХМ рассчитывали исходя из установленной холодильной мощности (холодопроизводительности) применяемой ТХМ при стоимости  $150 \$$  за  $1 \text{ кВт}$  холодильной мощности ( $Кэ = 200 \text{ тыс. } \$$ ) для ЭХМ ( $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ );  $300 \$$  за  $1 \text{ кВт}$  холодильной мощности ( $Кэ = 300 \text{ тыс. } \$$ ) для АБХМ ( $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ) и  $15 \$$  за  $1 \text{ кВт}$  холода ( $Км = 20 \text{ тыс. } \$$ ) для варианта увлажнения воздуха с понижением его температуры до температуры по мокрому термометру  $t_m$ .

Значение времени  $\tau$  в точке пересечения графика  $\Sigma Д - К$  с осью абсцисс  $\tau$ , т.е.  $\Sigma Д - К = 0$ , соответствует сроку окупаемости капитальных затрат  $К$  на ТХМ, примененную на первом этапе модернизации – этапе окупаемости затрат на исходную (более дешевую) ТХМ и накопления финансовых средств на покрытие капитальных затрат на более дорогую ТХМ, используемую на следующем этапе, чему соответствует соотношение  $\Sigma Д - К > 0$ .

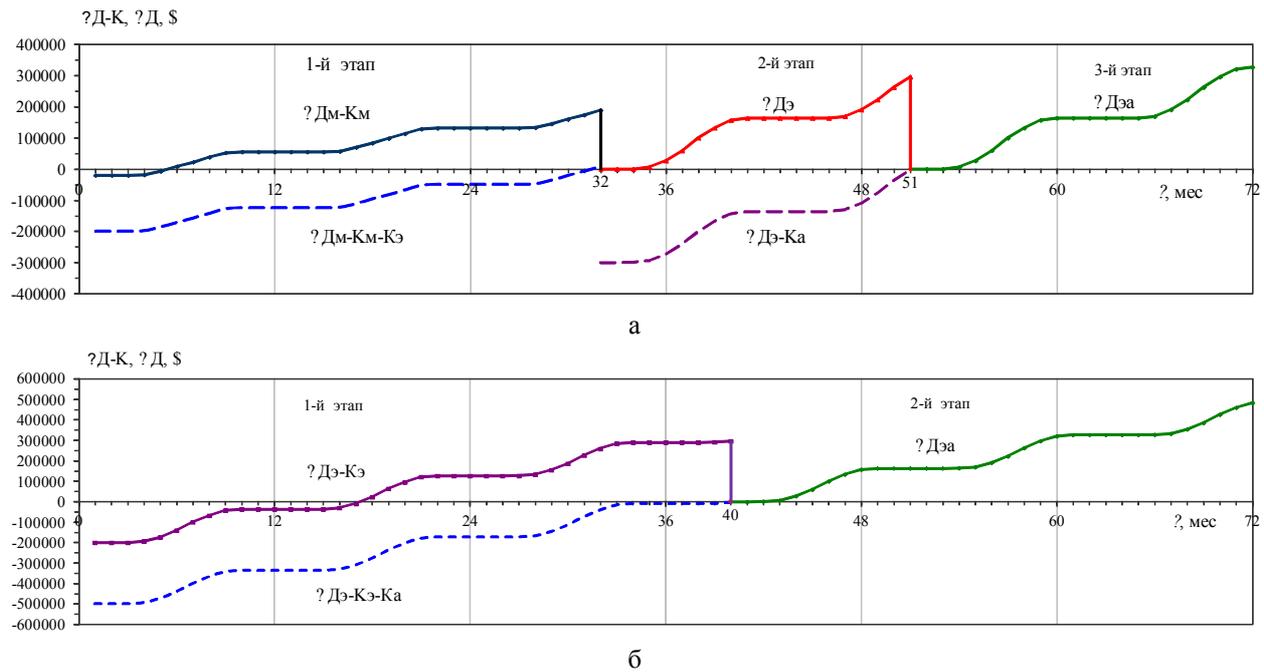


Рис. 5. Значения разности  $\Sigma Д - К$  суммарного (по нарастающей) дохода  $\Sigma Д$  и капитальных затрат  $К$  на ТХМ:  $\Sigma Д_m$  – доход за счет увлажнения воздуха с понижением его температуры до  $t_2 = t_m$  без ЭХМ и АБХМ;  $\Sigma Д_э$  и  $\Sigma Д_д$  – доход при работе отдельно холодильных машин ЭХМ и АБХМ;  $\Sigma Д_{эа}$  – доход при работе одновременно двух холодильных машин ЭХМ и АБХМ; а – 1-й этап (32 мес.): охлаждение воздуха до  $t_m$  его увлажнением ( $К_m = 20 \text{ тыс. } \$$ ) с накоплением средств для ЭХМ ( $К_э = 200 \text{ тыс. } \$$ ); 2-й этап (19 мес.): охлаждение воздуха до  $t_2 = 10^\circ\text{C}$  в ЭХМ ( $К_э = 200 \text{ тыс. } \$$ ) с накоплением средств для АБХМ ( $К_а = 300 \text{ тыс. } \$$ ); 3-й этап: охлаждение воздуха в АБХМ (до  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ ) и в ЭХМ (от  $t_2 = 15^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ ); б – 1-й этап (40 мес.): охлаждение воздуха в ЭХМ до  $t_2 = 10^\circ\text{C}$  ( $К_э = 200 \text{ тыс. } \$$ ) с накоплением средств для АБХМ ( $К_а = 300 \text{ тыс. } \$$ ); 2-й этап: охлаждение воздуха в АБХМ (до  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ ) и в ЭХМ (от  $t_2 = 15^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ )

Как видно, на 1-м этапе охлаждения воздуха до  $t_m$  его увлажнением ( $K_m = 20$  тыс. \$) денежных средств на АБХМ ( $K_a = 300$  тыс. \$) было накоплено за 51 мес. (рис. 5,а), тогда как при использовании на 1-м этапе охлаждения воздуха в ЭХМ до  $t_{b2} = 10$  °С ( $K_e = 200$  тыс. \$) денежных средств на АБХМ ( $K_a = 300$  тыс. \$) было накоплено за 40 мес. (рис. 5,б). Соответственно сроки окупаемости проекта модернизации с АБХМ и ЭХМ составляют 51 мес. при первом варианте (рис. 5,а) и 40 мес. при втором (рис. 5,б).

### Заключение

Впервые в управлении проектами модернизации энергетических объектов учитывается климатический фактор, определяющий всю идеологию проекта: от подхода к оценке целесообразности его реализации в

конкретном климатическом регионе до методологических подходов к принципу выбора инновационных вариантов модернизации по результатам термоэкономического анализа на основе температурно-временного фактора – термочасового потенциала охлаждения.

### Литература

1. Виленский, П. П. Оценка эффективности инвестиционных проектов [Текст] / П. П. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк // Теория и практика. – М. : Дело, 2001. – 832с.
2. Николаевские газовые турбины промышленного применения. – Николаев : ГП НПКГТ "Зоря" – "Машпроект". – 2004. – 20 с.

*Поступила в редакцию 14.05.2014, рассмотрена на редколлегии 11.06.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой А. С. Титлов, Одесская национальная академия пищевых технологий.

## МЕТОД САМООКУПНОСТІ В УПРАВЛІННІ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

*А. С. Морозова, А. М. Радченко*

Проблему фінансування енергозберігаючої модернізації газоперекачувальних компресорних станцій запропоновано вирішувати за допомогою метода самоокупності. Вперше в проектному менеджменті при виборі раціональних варіантів інноваційних проектів модернізації враховано кліматичний фактор. При цьому як показник використано термочасовий (температурночасовий) потенціал охолодження, який визначає отриманий ефект у вигляді економії паливних ресурсів. Як приклад наведено алгоритм розв'язання оптимізаційної задачі визначення варіанта модернізації газоперекачувальних станцій для конкретних кліматичних умов.

**Ключові слова:** управління проектами, самоокупність, термочасовий потенціал, енергозберігаюча модернізація, паливні ресурси, газоперекачувальна компресорна станція.

## THE METHOD OF SELF-RECOUPMENT IN THE MANAGEMENT OF INNOVATION PROJECTS OF MODERNIZATION OF GAS TRANSPORTING STATIONS

*A. S. Morozova, A. N. Radchenko*

The problem of financing the energy saving modernization of gas transporting stations is proposed to be solved by the method of self-recoupment. Firstly in the project management the climate factor is considered while choosing the rational variants of innovation projects of modernization. With this a thermohour potential (temperature-hour) of cooling which influences upon the effect of fuel recourses saving is used as parameter. As an example the algorithm for decision of optimization task of determination of variant for modernization of gas transporting stations for concrete climate conditions is given.

**Keywords:** project management, self-recoupment, thermohour potential, energy saving modernization, fuel recourses, gas transporting station.

**Морозова Анна Сергеевна** – старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем и технологий, Национальный Университет Кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: amorozova71@yandex.ru.

**Радченко Андрей Николаевич** – канд. техн. наук, доц. кафедры кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.