

# ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ РАЗРАБОТКИ МЕТАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

П. Н. Пармузин

## Particularities of determining the economic effect from the usage of coal bed methane with various development methods of coal methane deposits

P. N. Parmuzin

The article is concerned with the questions of determining the economic efficiency of methane from coal bed deposits. Demands of national economy in natural gas and products of its processing dictate the need of involvement in the development of non-traditional sources of gas production, which include gas containing coal beds. All projects on extraction of methane from coal beds can be divided on two types: projects of degasification of coal mines and projects on production of methane of coal beds as a self-contained mineral deposit (commercial production). An important difference is that the industrial work with boreholes from the surface allows to extract methane-air mixture with high content of methane. At that unlike degasification the whole methane that was received during commercial production is on spec. Peculiarities of identifying the economic effect from the usage of coal bed methane, during various methods of resources development of coal-gas, additionally methodic approach to selection of one of the directions of developing of coal methane deposits are provided in the article. Additionally the article reviews historical questions of developing the coal methane processing. Main directions of processing of coal methane depending on the content of methane in methane-air mixture. Dependence on the selection of a specific option of methane usage from such economical and organizational factors as cost value on creation of processing plants on corresponding usage direction, size of economic effect from the usage of methane on this direction, organization-economic mechanism of project participants on methane extraction, specific needs of project participants in specific conversion products.

Keywords: non-traditional sources; gas production; degasation; industrial production; economic effect; methane processing.

Статья посвящена вопросам определения экономической эффективности использования метаноугольных месторождений. Потребности национальной экономики в природном газе и продуктах его переработки диктуют необходимость вовлечения в разработку нетрадиционных источников добычи газа, к которым относятся газосодержащие угольные пласты. Все проекты по извлечению метана из угольных пластов можно разделить на два вида: проекты дегазации угольных шахт и проекты по добыче метана угольных пластов в качестве самостоятельного полезного ископаемого (промышленная добыча). Важное отличие заключается в том, что промышленная добыча скважинами с поверхности позволяет добывать метано-воздушную смесь с высоким содержанием метана. При этом в отличие от дегазации весь метан, полученный при промышленной добыче, является кондиционным. В статье приведены особенности определения экономического эффекта от использования метана угольных пластов, при различных методах освоения ресурсов угольного газа, а также обоснован методический подход к выбору одного из направлений разработки углеметановых месторождений. Также в статье рассмотрены исторические вопросы развития переработки угольного метана. Приведены основные направления переработки угольного метана в зависимости от содержания метана в метано-воздушной смеси. Выявлена зависимость выбора конкретного варианта использования метана от таких экономических и организационных факторов, как величина затрат на создание перерабатывающего производства по соответствующему направлению использования, размер экономического эффекта от использования метана по данному направлению, организационно-экономический механизм взаимодействия участников проекта по извлечению метана, специфические потребности участников проекта в определенных продуктах переработки.

Ключевые слова: нетрадиционные источники; добыча газа; дегазация; промышленная добыча; экономический эффект; переработка метана.

Потребности национальной экономики в природном газе и продуктах его переработки диктуют необходимость вовлечения в разработку нетрадиционных источников добычи газа, к которым относятся газосодержащие угольные пласты. Все проекты по извлечению метана из угольных пластов можно разделить на два вида: проекты дегазации угольных шахт и проекты по добыче метана угольных пластов (МУП) в качестве самостоятельного полезного ископаемого (промышленная добыча). Для проектов дегазации угольных шахт можно выделить следующие экономические эффекты: эффект от снижения аварийности, связанной с взрывами метана; эффект от улучшения использования фронта горных работ в угольных шахтах, связанного со снижением влияния «газового фактора»; эффект от использования метана, полученного путем дегазации угольных шахт; эффект от снижения выбросов метана в атмосферу; эффект от сокращения затрат на раннее

проводимую дегазацию. Проекты по добыче метана угольных пластов в качестве самостоятельного полезного ископаемого в отличие от проектов дегазации направлены исключительно на получение и использование угольного газа. Таким образом, эффект от использования извлекаемого газа должен окупить все затраты на добычу и переработку. С учетом низких дебитов и высоких затрат на интенсификацию притока метана реализация таких проектов сталкивается с серьезными экономическими проблемами [1].

Дегазация угольных шахт является исторически первым методом освоения ресурсов угольного метана. Ведение работ по дегазации изначально было связано с необходимостью обеспечения безопасности труда шахтеров, снижения аварийности в угольных шахтах, увеличения производительности труда вследствие снижения влияния «газового фактора». Впоследствии к этим причинам добавились мотивы повышения экологичности угледобычи и возможности использования получаемого при дегазации угольного метана [2].

На начальных этапах развития работ по дегазации угольных шахт добываемый метан практически не использовался и выбрасывался в атмосферу. Еще в конце 1990-х гг. в России только 10–15 % каптируемого дегазационными системами метана проходило дальнейшую переработку [3]. Угольный метан по аналогии с попутным газом в нефтедобыче рассматривался как помеха для основного производства, а не источник дополнительного дохода. В настоящее время большая часть метана используется для различных нужд.

Выбор конкретного варианта использования метана зависит от таких экономических и организационных факторов, как величина затрат на создание перерабатывающего производства по соответствующему направлению использования, размер экономического эффекта от использования метана по данному направлению, организационно-экономический механизм взаимодействия участников проекта по извлечению метана, специфические потребности участников проекта в определенных продуктах переработки.

Экономический эффект может быть получен от использования МУП в качестве топлива для выработки пара и электроэнергии; для выработки моторного топлива; для бытовых нужд; в качестве теплоносителя на различных заводах, в том числе металлургических; в качестве сырья для химической промышленности; для получения кристаллоидов [4]. При этом необходимо учитывать, что направление использования зависит от объемов добычи, качества добываемого газа, его содержания в метано-воздушной смеси (МВС) (рис. 1).

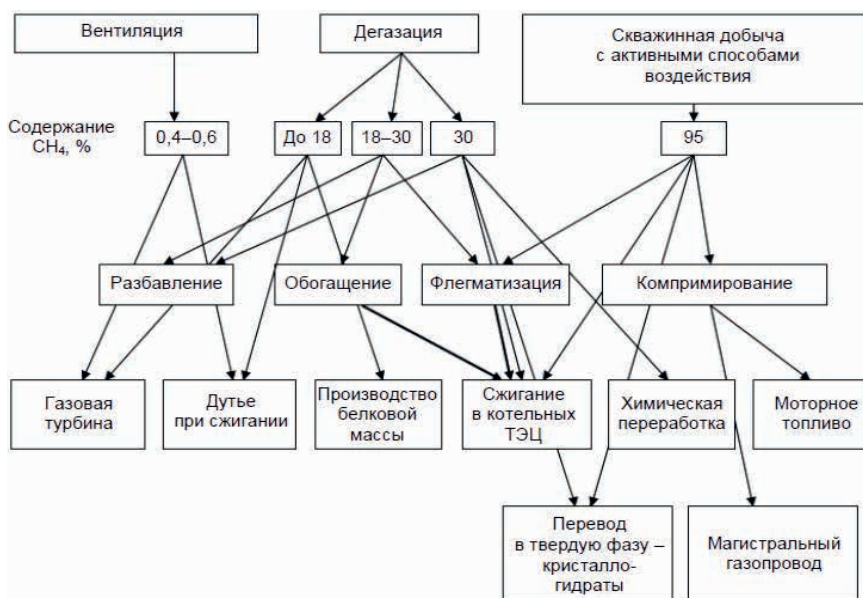


Рисунок 1. Направления использования метана угольных пластов.

Достаточно подробно эффект от использования МУП рассмотрен в работах Н. М. Лобова [5]. В своей диссертационной работе он рассматривает эффект от использования метана угольных пластов по пяти основным направлениям: эффект от продажи части извлекаемого газа потребителям, эффект от переработки газа в электрическую и тепловую энергию, эффект от переработки МВС как химического сырья, эффект от использования метана в качестве моторного топлива, эффект от использования вентиляционной струи в качестве дутья для котельных или рабочего тела в газотурбинных установках. Общий экономический эффект от использования метана  $\Theta_n$  складывается из эффектов от различных направлений его использования  $\Theta_i$ , которые определяются выручкой от реализации метана и продуктов, полученных при его переработке, за вычетом эксплуатационных затрат на переработку без амортизационных отчислений и капитальных вложений в создание перерабатывающего производства:

$$\Theta_n = \sum_{i=1}^n \Theta_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i \Pi_i}{q_i} - C_i - K_i \right), \quad (1)$$

где  $Q_i$  – объем МВС, перерабатываемой по  $i$ -му направлению,  $m^3$ ;  $i$  – направление использования извлеченного метана;  $q_i$  – удельный расход МВС на производство единицы продукции  $i$ -го направления,  $m^3/ед. прод.$  ( $1000 m^3$  метана,  $1 кВт \cdot ч$  электроэнергии,  $1 Гкал \cdot ч$  тепла,  $1 т$  сажи и т. д.);  $\Pi_i$  – цена реализации метана (и/или) продуктов, полученных при его переработке, (руб./ $1000 m^3$ , руб./ $1 кВт \cdot ч$  электроэнергии, руб./ $1 Гкал \cdot ч$  тепла, руб./ $1 т$  сажи);  $C_i$  – эксплуатационные затраты на переработку МВС без амортизационных отчислений, руб.;  $K_i$  – капитальные вложения в создание перерабатывающего производства, руб.

Также необходимо учитывать, что не весь объем извлекаемой дегазацией МВС может быть использован по технологическим причинам, т. е. весь объем извлеченной МВС  $Q_d$  необходимо подразделить на пригодную к использованию и некондиционную части, причем последняя может быть уменьшена за счет применения дополнительных технологий по очистке МВС от примесей, повышению концентрации метана в МВС и пр.:

$$Q_d = Q_n + \Delta Q + Q_n, \quad (2)$$

где  $Q_d$  – объем извлеченной МВС,  $m^3$ ;  $Q_n$  – объем МВС, пригодной к использованию,  $m^3$ ;  $\Delta Q$  – объем МВС, пригодной к использованию, полученной в результате перевода из некондиционного состояния,  $m^3$ ;  $Q_n$  – объем некондиционной части МВС,  $m^3$ .

Однако применение этих технологий требует дополнительных капитальных вложений и эксплуатационных затрат, что снижает эффективность их внедрения. Выручка от использования дополнительно полученной МВС в таком случае должна превышать дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты на использование таких технологий, а также эксплуатационные затраты на переработку дополнительной МВС.

В этом случае формула (1) для определения экономического эффекта от использования МВС примет вид:

$$\Theta_n = \sum_{i=1}^n \Theta_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(Q_i + \Delta Q) \Pi_i}{q_i} - C_i - K_i - \Delta C - \Delta K \right), \quad (3)$$

где  $\Delta Q$  – объем реализации МВС, дополнительно полученной в результате перевода из некондиционного состояния и (или) продуктов, полученных при его переработке, ( $1000 m^3$  метана,  $1 кВт \cdot ч$  электроэнергии,  $1 Гкал \cdot ч$  тепла,  $1 т$  сажи и т. д.);  $\Delta C$  – дополнительные эксплуатационные затраты на использование технологий, позволяющих использовать некондиционную часть МВС, а также эксплуатационные затраты на переработку дополнительной МВС без амортизационных отчислений, руб.;  $\Delta K$  – дополнительные капитальные вложения в технологии, позволяющие использовать некондиционную часть МВС, руб.

Также можно отметить, что использование извлеченного метана и соответственно сокращение его выбросов в атмосферу благоприятно сказываются на экологической ситуации в угольных регионах и способствует сокращению платежей предприятий за выбросы метана в атмосферный воздух.

Механизм расчета экономического эффекта от использования метана, полученного путем промышленной добычи, сходен с приведенным ранее расчетом аналогичного эффекта при дегазации шахт. Однако можно выделить некоторые различия при расчете данного эффекта при добыче МУП в качестве самостоятельного полезного ископаемого. Основное отличие заключается в том, что промышленная добыча скважинами с поверхности позволяет добывать МВС с высоким содержанием метана (выше 95%). Такая концентрация метана при дегазации шахт возможна только при дегазации скважинами с поверхности. В настоящее же время большая часть работ приходится на внутришахтную дегазацию, при которой содержание метана в МВС колеблется от 18 до 30%. При внутришахтной дегазации общий объем добываемой МВС, как указывалось ранее, включает кондиционную и некондиционную части. В отличие от внутришахтной дегазации весь метан, полученный при промышленной добыче, является кондиционным, т. е. формула (2) для промышленной добычи имеет вид:

$$Q_d = Q_n. \quad (4)$$

Следовательно, при промышленной добыче в отличие от внутришахтной дегазации не требуются дополнительные затраты на перевод некондиционной части МВС в кондиционную, а также исключаются потери метана (некондиционная часть).

Потери некондиционной части метана можно описать отсутствием эффекта от ее использования. Для его расчета сначала необходимо привести суммарный объем некондиционной части МВС к объему МВС с концентрацией метана при промышленной добыче (95% и более). Эффект от потери некондиционной части метана  $\Delta \Theta_n$  в таком случае можно определить по формуле:

Различия в расчете экономического эффекта от использования МУП при промышленной добыче и при дегазации угольных шахт.

Промышленная добыча МУП	Дегазация угольных шахт	Дополнительный эффект
$Q_d = Q_n$	$Q_d = Q_n + \Delta Q + Q_n$	$\Delta \mathcal{E}_{n1} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{ni} \Pi_i}{q_i} - C_i - K_i \right)$
Весь добываемый метан является кондиционным	Есть некондиционная МВС $Q_n$ , которую невозможно использовать при существующих технологиях	где $\Delta \mathcal{E}_{n1}$ – эффект от потери некондиционной части метана, руб.; $Q_n$ – суммарный объем некондиционной части МВС, приведенный к объему МВС с концентрацией метана при промышленной добыче (95 % и более), перерабатываемой по $i$ -му направлению, м <sup>3</sup>
$\Delta \mathcal{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i \Pi_i}{q_i} - C_i - K_i \right)$	$\mathcal{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(Q_i + \Delta Q) \Pi_i}{q_i} - C_i - K_i - \Delta C - \Delta K \right)$	$\Delta \mathcal{E}_{n2} = \Delta C + \Delta K$
Не требуется дополнительных затрат ( $\Delta C$ и $\Delta K$ )	Требуются дополнительные затраты ( $\Delta C$ и $\Delta K$ ) для перевода части некондиционной МВС в кондиционную $\Delta Q$	где $\Delta C$ – дополнительные эксплуатационные затраты на использования технологий, позволяющих использовать некондиционную часть МВС, руб.; $\Delta K$ – дополнительные капитальные вложения в технологии, позволяющие использовать некондиционную часть МВС, руб.
$\mathcal{E}_{n2} = \left( \frac{Q_2 \Pi_2}{q_2} - C_2 - K_2 \right)$	$\mathcal{E}_{n1} = \left( \frac{Q_1 \Pi_1}{q_1} - C_1 - K_1 \right)$	$\Delta \mathcal{E}_{n3} = \mathcal{E}_{n2} - \mathcal{E}_{n1}$
где $Q_2, \Pi_2, q_2, C_2, K_2$ – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с высокой концентрацией метана	где $Q_1, \Pi_1, q_1, C_1, K_1$ – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с низкой концентрацией метана	где $\mathcal{E}_{n2}$ – экономический эффект от дополнительных направлений использования МВС с высокой концентрацией метана, руб.; $\mathcal{E}_{n1}$ – экономический эффект от использования МВС с низкой концентрацией метана, руб. Дополнительные направления использования, которые возможны при использовании МВС с высокой концентрацией, позволяют получать продукты переработки с большей добавленной стоимостью

$$\Delta \mathcal{E}_{n1} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{ni} \Pi_i}{q_i} - C_i - K_i \right), \quad (5)$$

где  $Q_{ni}$  – суммарный объем некондиционной части МВС, приведенный к объему МВС с концентрацией метана при промышленной добыче (95 % и более), перерабатываемой по  $i$ -му направлению, м<sup>3</sup>.

Во-вторых, так как весь метан, полученный при промышленной добыче, является кондиционным? отсутствует необходимость дополнительных затрат  $\Delta C$  и  $\Delta K$  для перевода части некондиционной МВС в кондиционную (формула (3)). То есть второй дополнительный эффект при использовании метана промышленной добычи по сравнению с использованием дегазационной МВС  $\Delta \mathcal{E}_{n2}$  может быть выражен формулой:

$$\Delta \mathcal{E}_{n2} = \Delta C + \Delta K. \quad (6)$$

Также необходимо учитывать, что при внутришахтной дегазации содержание метана в МВС колеблется от 18 до 30 %. МВС с таким содержанием используется в основном для производства электро- и теплоэнергии. Получение МВС с содержанием метана выше 95 % расширяет возможности ее использования. Как было показано на рис. 1, метан добытый скважинами с поверхности с применением активных способов воздействия кроме производства электро- и теплоэнергии, может быть использован для производства моторного топлива, для производства кристаллогидратов, а также в бытовых условиях.

Если дополнительные направления использования, которые возможны при переработке МВС с высокой концентрацией, дают больший эффект, чем эффект от использования МВС с низкой концентрацией, то можно говорить о третьем дополнительном экономическом эффекте  $\Delta \mathcal{E}_{n3}$ , который формируется за счет получения продуктов переработки с большей добавленной стоимостью. При этом необходимо учитывать, что затраты на создание продукции с большей добавленной стоимостью (моторное топливо, кристаллогидраты и пр.) могут быть значительно выше.

$$\Delta \mathcal{E}_{n3} = \Delta \mathcal{E}_{n2} - \Delta \mathcal{E}_{n1} = \left( \frac{Q_2 \Pi_2}{q_2} - C_2 - K_2 \right) - \left( \frac{Q_1 \Pi_1}{q_1} - C_1 - K_1 \right), \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}_{n2}$  – экономический эффект от использования МВС с высокой концентрацией метана, руб.;  $\mathcal{E}_{n1}$  – экономический эффект от использования

МВС с низкой концентрацией метана, руб.;  $Q_2, \Pi_2, q_2, C_2, K_2$  – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с высокой концентрацией метана;  $Q_1, \Pi_1, q_1, C_1, K_1$  – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с низкой концентрацией метана.

Различия в расчете экономического эффекта от использования МУП при промышленной добыче и при дегазации угольных шахт отражены в таблице.

Необходимо отметить, что перечисленные дополнительные эффекты характеризуют различия в использовании МУП при промышленной добыче и при внутришахтной дегазации угольных шахт. В случае сравнения с заблаговременной дегазацией шахт, которая характеризуется высокими концентрациями метана в МВС, перечисленные эффекты не рассчитываются.

Как было показано ранее, существует два основных направления разработки газосодержащих угольных пластов: дегазация шахт и добыча МУП в качестве самостоятельного полезного ископаемого. Различия в расчете затрат, а также разница в экономических эффектах от использования МУП при дегазации шахт и при промышленной добыче позволяют предложить экономический критерий выбора одного из этих направлений. С одной стороны, затраты на промышленную добычу МУП могут быть ниже затрат на дегазацию шахт за счет отсутствия необходимости привязки расположения скважин к схеме разработки угольных пластов. Также экономический эффект от использования МУП может быть выше при промышленной добыче в связи с получением МВС с более высокой концентрацией метана. С другой стороны, при промышленной добыче отсутствуют экономические эффекты, возникающие в угольной промышленности при дегазации шахт (эффект от улучшения использования фронта горных работ, эффект от снижения выбросов метана в атмосферу, эффект от снижения аварийности, связанной со взрывами метана, эффект от сокращения затрат на ранее проводимую дегазацию).

Если сумма экономии затрат и дополнительных эффектов от использования МУП при промышленной добыче больше, чем экономические эффекты, возникающие в угольной промышленности при дегазации шахт, то выбор может быть сделан в пользу промышленной добычи МУП. В противном случае экономически более целесообразно проведение дегазации шахт;

$$\Delta Z + \Delta \mathcal{E}_n > \mathcal{E}_{ав} + \mathcal{E}_{ш} + \mathcal{E}_{в} + \mathcal{E}_{р.д} \quad (8)$$

или

$$(Z_{\text{дег}} - Z_{\text{пром}}) + (\Theta_{\text{и.пром}} - \Theta_{\text{и.дег}}) > \Theta_{\text{ав}} + \Theta_{\text{ш}} + \Theta_{\text{в}} + \Theta_{\text{р.д}}, \quad (9)$$

где  $\Delta Z$  – разница между затратами на дегазацию шахт и промышленную добычу МУП, руб.;  $\Delta \Theta_{\text{и}}$  – разница между экономическими эффектами от использования МУП при дегазации шахт и при промышленной добыче, руб.;  $Z_{\text{дег}}$  – затраты на дегазацию шахт, руб.;  $Z_{\text{пром}}$  – затраты на промышленную добычу МУП, руб.;  $\Theta_{\text{и.пром}}$  – эффект от использования МУП, полученного при промышленной добыче, руб.;  $\Theta_{\text{и.дег}}$  – эффект от использования МУП, полученного при дегазации шахт, руб.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Liu J., Chen Z., Elsworth D., Miao X., Mao X. Evolution of coal permeability from stress-controlled to displacement-controlled swelling conditions // *Fuel*. 2011. Vol. 90, No. 10. pp. 2987–2997.
2. Шувалов Ю. В., Павлов И. А., Веселов Л. П. Комплексное использование ресурсов и регулирование газового режима шахт Воркутского месторождения. СПб.: МАНЭБ, 2006. 392 с.
3. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Коликов К. С. Извлечение метана из угольных пластов. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 383 с.
4. Пармузин П. Н. Определение экономического эффекта в проектах дегазации угольных шахт // *Изв. УГГУ*. 2016. Вып. 2(42). С. 82–85. DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-82-85.

**Петр Николаевич Пармузин,**  
ptr12@mail.ru

Ухтинский государственный технический университет  
Россия, Республика Коми, Ухта, ул. Первомайская, 13

5. Лобов Н. М. Оценка экономической эффективности комплексного использования углеводородного сырья при подземной разработке угольных месторождений: дис. ... канд. экон. наук. СПб., 1999. 130 с.

## REFERENCES

1. Liu J., Chen Z., Elsworth D., Miao X., Mao X. Evolution of coal permeability from stress-controlled to displacement-controlled swelling conditions. *Fuel*. 2011. Vol. 90, No. 10. pp. 2987–2997.
2. Shuvalov Yu. V., Pavlov I. A., Veselov L. P. 2006, *Kompleksnoe ispol'zovanie resursov i regulirovanie gazovogo rezhima shakht Vorkutskogo mestorozhdeniya* [Integrated utilization of resources and regulation of gas processes of mines of Vorkutskiy deposit]. Saint Petersburg.
3. Puchkov L. A., Slastunov S. V., Kolikov K. S. 2002, *Izvlechenie metana iz ugolnykh plastov* [Extraction of methane from coal beds]. Moscow, Moscow State Mining University.
4. Parmuzin P. N. 2016, *Opredelenie ekonomicheskogo effekta v proektakh degazatsii ugolnykh shakht* [Determining the economic effect in projects of coal mines degasification]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the State Mining University]. Issue 2(42). pp. 82–85.
5. Lobov N. M. 1999, *Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti kompleksnogo ispol'zovaniya uglevodorodnogo syrya pri podzemnoi razrabotke ugolnykh mestorozhdeniy* [Evaluation of economic efficiency of complex usage of hydrocarbon curde during underground development of coal deposits]. Thesis of candidate of economic sciences. Saint Petersburg.

**Petr Nikolaevich Parmuzin,**  
ptr12@mail.ru  
Ukhta State Technical University  
Ukhta, Komi Republic, Russia