

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО БАЛАНСА

В. Фомичев^{1*}

¹Кафедра подземной разработки месторождений, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

*Ответственный автор: e-mail fomichov@inbox.ru, тел. +380504809781

EFFICIENCY OF ENERGY RESOURCE PRODUCTION WHILE OPTIMIZING PARAMETERS OF SOCIO-ECONOMIC BALANCE

V. Fomychov^{1*}

¹Underground Mining Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

*Corresponding author: e-mail fomichov@inbox.ru, tel. +380504809781

ABSTRACT

Purpose. Definition of the standardized index of energy resource generation efficiency in changing socio-economic conditions considering the development of the technological basis of the modern mining industry.

Methods. The research is based on systematic analysis of the mutual influence of the extraction technologies development and processing of energy resources, current state of production and consumption of final energy in conjunction with the factors of socio-economic development of selected geographical locations.

Findings. Change in the state of mining companies technological complex related to such factors as expandability and scalability, energy density of the extracted resource, availability of infrastructure, ecology and safety should be attributed to socio-economic factors. It is impossible to take into account the whole range of factors considering the type and degree of their impact on the final assessment in any case study and in any analytical model. Therefore, the developed analysis mechanism based on the use of the efficiency criterion for assessing technologies of extraction and processing of energy resource allows to improve the quality and reduce expenses associated with determination of the effectiveness of technologies used in production.

Originality. The efficiency criterion for assessing technologies of extraction and processing of energy resource is qualitatively different from conventional methods of production efficiency analysis in that it allows to assess the technological, economic and social risks within a single framework.

Practical implications. The application of the efficiency criterion for assessing technologies of extraction and processing of energy resource can significantly improve the adequacy of assessing the status and prospects of mining enterprise development in the current socio-economic situation. This allows to determine the optimal indicators of energy generation development without involving additional factors in the assessment of its efficiency.

Keywords: energy resource, energy efficiency, socio-economic factors, mining of mineral deposits, technology

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящее состояние мирового рынка энергоресурсов не позволяет прогнозировать его развитие с помощью общепризнанных методик. Изменения технологического и социального ландшафта основы современной экономики привело к увеличению числа факторов влияющих на перспективы извлечения и переработки энергоресурсов. В целом произошли изменения качественного и количественного характера как в структуре технологического обеспечения процесса извлечения энергоресурсов, так и в структуре конечного потребления получаемой энергии. К

качественным факторам, влияющим на состояние рынка энергоресурсов, следует отнести, например, появление новых источников энергии используемых в промышленных масштабах, таких как возобновляемые (ветростанции, солнечные батареи, биодизель и т.п.) или атомные реакторы на быстрых нейтронах. К количественным факторам относятся изменение объема потребления конечной энергии и структура ее распределения в географическом и отраслевом планах.

В результате изменение качественного состава рынка энергоресурсов привело к формированию ситуации, когда оценка эффективности добычи и переработки энергоресурса должна находиться в

зависимости от технических факторов регулирующих эффективность промышленного производства (Korzhubaev, 2007). Стало очевидно, что простое увеличение объемов производства в ряде случаев не только не провоцирует роста экономического дохода, но может приводить к снижению потребления на фоне перепроизводства конечной энергии. Получается, что с расширением списка доступных энергоресурсов интенсификация их добычи приводит к стагнации экономических показателей добывающих и генерирующих производств.

Таким образом, для нахождения приемлемого баланса в развитии технологической компоненты добывающих производств и их экономической эффективности не достаточно оперировать локализованными по областям знаний методиками оценки эффективности производства. В современных реалиях формирование условий взаимодействия рынка и производства приводит к необходимости разработки структурных моделей оценки эффективности технологического процесса с учетом влияния социально-экономических факторов.

Целью исследования стало определение унифицированного показателя обеспечения эффективности производства (добычи) энергоресурса в изменяющихся социально-экономических условиях при учете развития технологического базиса современной промышленности. Данный показатель обеспечивает возможность оптимизации существующего производства при изменении конъюнктуры нерегулируемого рынка и позволяет реализовывать модели прогнозирования состояния промышленно-экономических систем в рамках структурного анализа.

В основу методики исследований положен системный анализ взаимного влияния развития технологий добычи и переработки энергоресурсов, текущего состояния производства и потребления конечной энергии в совокупности с факторами социально-экономического развития выбираемых географических локаций. Данный анализ основывается на определении форм и величин описания различных факторов способных влиять на условия реализации технологий добычи энергоресурса и промышленного производства различных типов энергии в условиях состояния и перспектив развития нерегулируемого энергетического рынка.

Необходимо определить совокупность факторов, описание которых является критически важным с точки зрения формирования модели управления эффективностью процесса добычи энергоресурса при изменении технологических условий, что реализуется как система управления с обратными связями. Описание отдельного фактора реализуется в виде простой математической модели основанной на функциональной зависимости, которая определяется эмпирически при анализе поведения рассматриваемого фактора в рамках выбранного подмножества решений прикладных задач управления.

Окончательно массив полученных данных сводится к математической модели, на основе которой формируется структурный приведенный показатель, пределы значений которого позволяют определять методы реализации технологий добычи и переработки энергоресурсов в установившихся социально-

экономических условиях. Такой показатель качественно отличается от уже применяемых методов анализа эффективности производства тем, что позволяет в единой структуре оценивать риски технологические, экономические и социальные.

2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В работе А.Ф. Сафронова и А.Н. Голоскокова “*EROEI* как показатель эффективности добычи и производства энергоресурсов” рассматривается применение методики Чарльза Холла для оценки эффективности нефтедобычи. Ч. Холл – американский ученый-биолог, который в 70-х годах прошлого века проводил исследования миграции рыб и на основе его сформулировал утверждение, что “хищник не может тратить больше энергии, чем он получает в результате охоты” (Hall & Cleveland, 2005).

Применительно к производству энергоресурсов помимо экономического эффекта производство должно быть энергетически выгодно и это очевидно, поскольку объемы энергии затрачиваемой на добычу, транспортировку и переработку энергоресурса должны быть меньше объемов энергии, получаемой в результате потребителем. Этот показатель называют “энергетической рентабельностью” или *EROEI* (Energy Return On Energy Invested). В общем виде формулу данного показателя следует записать так:

$$EROEI = \frac{E}{\sum E_i}, \quad (1)$$

где:

- i – число учитываемых факторов;
- $\sum E_i$ – затраченная на добычу энергия;
- E – извлекаемая энергия.

При *EROEI* равном единице на одну единицу полученной энергии из добытого энергоресурса пришлось затратить количество энергии, равное полученной, т.е. энергетический баланс нулевой и производство энергии является по сути бессмысленным. Когда это значение меньше единицы – добыча энергоресурсов является неприемлемой (“убыточной”). Когда это значение больше единицы – производство энергии приносит дополнительную, “прибыльную”, энергию (Рис. 1).

Рассмотрим простейшую оценку, связанную с циклом эксплуатации избранного месторождения энергоресурсов, который, как правило, разделяют на три основных этапа:

$$EROEI = \frac{E}{E_1 + E_2 + E_3}, \quad (2)$$

где:

- E_1 - энергозатраты первого этапа по обеспечению капитальных работ;
- E_2 - энергозатраты второго этапа, текущие и капитальные работы;
- E_3 - энергозатраты третьего этапа, ликвидация и консервация месторождения.

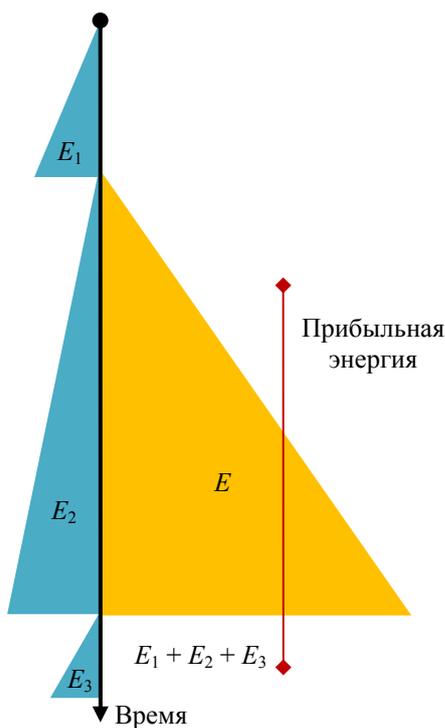


Рисунок 1. Схема, иллюстрирующая методику расчета показателя EROEI

Для рассматриваемого формата реализация определения величины EROEI представлена на Рисунке 2.

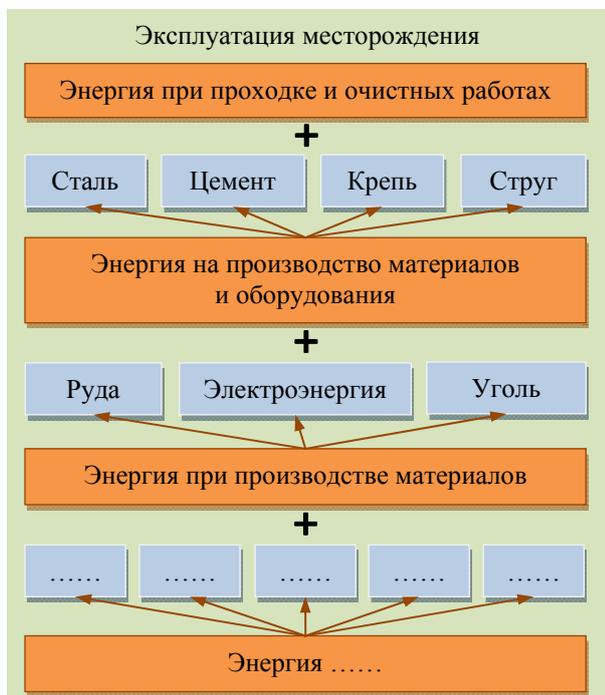


Рисунок 2. Схема учета энергетических затрат при эксплуатации месторождения

На первом этапе энергетические затраты связаны с необходимостью создания инфраструктуры добывающего предприятия. Добыча энергоресурса не происходит вообще. На втором этапе начинается непосредственно добыча энергоресурса. На третьем

этапе, когда запасы месторождения исчерпаны, энергетические затраты связаны с ликвидационной деятельностью. В этом случае просматривается прямая аналогия с общеизвестной концепцией денежных потоков.

Таким образом, EROEI является важной характеристикой производства конечной энергии (энергии поставляемой потребителю). Очевидно, что чем выше EROEI, тем эффективнее производство. Это относится как к добыче традиционных энергоресурсов, так и к производству возобновляемых. Представляется очевидным, что для наибольшей общественной выгоды, при прочих равных условиях, выбор следует делать в пользу тех направлений энергетики, где EROEI выше.

При всей простоте концепции, расчет этого показателя оказывается нетривиальной задачей. Простой частью расчета является учет прямых энергозатрат, связанных непосредственно с добычей энергоресурсов (Рис. 2).

Принципиально более сложным является расчет косвенных энергозатрат, связанных с капитальными работами на всех трех этапах: обустройстве, разработке месторождения и при ликвидационных работах. Например, на этапе обустройства месторождения для выполнения капитальных работ требуются материалы, на производство которых также необходима энергия, и учет именно этой энергии, энергии “связанной в материалах”, является структурно сложной задачей.

В идеале необходимо учесть все затраты энергии, произведенные за время функционирования предприятия по добыче энергоресурса (Heinberg & Mander, 2009). При этом следует учитывать, что добытый энергоресурс нуждается в транспортировке, переработке и доставке до конечного потребителя, что тоже требует энергии.

То есть, очевидно, существуют разумные границы учета затрачиваемой энергии за пределами, которых невозможно эффективно определить ее величины. Например, затраты энергии на поиск месторождения и т.п.

Таким образом, эффективность применения методики EROEI основывается на возможности оценки эффективности производства энергоресурсов, в том числе нетрадиционных и возобновляемых. Данная методика открывает перспективы формирования новых критериев для оценки эффективности технологий, реализуемых на добывающих предприятиях.

Однако анализ эффективности добывающего производства должен учитывать фактор экономической целесообразности вырабатываемой энергии – добыча должна приносить доход: необходимо обеспечить рентабельность. Понятно, что без учета экономической эффективности энергетический показатель в чистом виде не позволяет оценивать технологическую эффективность промышленного производства. Становится необходимым расширить структуру оценки EROEI с учетом социально-экономических факторов.

3. ФАКТОРЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Итак, в рамках существующих методик оценки эффективности добычи энергоресурсов реально выполнить приблизительную оценку эффективности технологий используемых в производстве. Энергия является двигателем развития современного общества, в то время как деньги – это всего лишь абстрактное средство, необходимое для организации обмена товарами и энергией в социальной среде. Однако, именно денежные отношения являются доминирующим фактором развития экономики нынешней цивилизации. Финансовый ресурс не только позволяет изменить технологическую структуру производства, но и обеспечивает социальную поддержку различных видов выработки энергии.

Например, производство этанола, характеризуется низким *EROEI*, что ограничивает возможность его конкуренции с легкой нефтью. Но для экономики Бразилии производство этанола из сахарного тростника оправдано и рентабельно по оценке *EROEI*. В то же время в США производство этанола из тростника, выращенного в штате Луизиана, не эффективно – *EROEI* близок к единице (Heinberg & Mander, 2009), что делает данное производство практически бесперспективным. В Европе использование биодизеля абсолютно не оправдано *EROEI*, но благодаря социальным факторам управления общественным мнением использование данного энергоресурса становится оправданным. То есть, условия таковы, что производство приносит прибыль, но с точки зрения энергетического баланса это бессмысленно и вредно для производства.

Таким образом, формирование социального заказа позволяет обеспечить спрос на энергоресурс практически без оценки эффективности технологий применяемых при его освоении и переработке. Экономические факторы в этом случае могут являться доминирующим относительно чистых энергетических и социальных факторов. Однако насколько независимым от уровня технологий производства является данный триумvirат и насколько далеко может заходить взаимное влияние этих факторов?

Известно, что себестоимость добычи (экономический фактор) напрямую зависит от геологии месторождения, качества энергоресурса, климата и текущего состояния инфраструктуры производства. При этом энергетическая себестоимость, которая в немалой степени обеспечивается уровнем и качеством применяемых производством технологий, оставаясь важнейшей характеристикой добычи, не может не учитывать коммерческую стоимость оборудования и промежуточных технологических продуктов. Казалось бы, данная связь очевидна и самодостаточна, но в последнее время на энергетических рынках все более интенсивно ощущается влияние социальных факторов. И, как показывает опыт, эти факторы дестабилизируют рынок энергоресурсов, обеспечивая рост градиентов спекулятивных индексов (Korzhubaev, 2007).

Социальные факторы, по сути, не являются самостоятельными показателями, а лишь связывают эффективность энергетическую и экономическую. Эти

показатели не поддаются количественным оценкам и прогнозированию во времени и с учетом геополитических локаций. Они на прямую связаны с условиями изменения экономической эффективности при добычи энергоресурса, поскольку способны нивелировать энергетическую эффективность технологий извлечения энергий. Расширение списка доступных технологий в производстве энергии приводит к возможности не систематизированного регулирования их эффективности и доступности для конечного потребителя. В результате для выбранной геополитической локации приходится использовать матрицу-параметр профиль технологий (Profile Technologies), состояние которого регламентируется степенью влияния социальных факторов (строки) на отдельную технологию производства энергоресурса. В кратком формате профиль технологий выглядит следующим образом:

$$PF = \begin{vmatrix} SF_{11} & \cdots & SF_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ SF_{i1} & \cdots & SF_{ij} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где:

j - длина профиля технологий, иначе число рассматриваемых (доступных) технологий;

i - максимальное число социально-экономических факторов используемых при анализе;

SF_{ij} - выделенный социальный фактор (Social Factor), влияющий на эффективность использования технологии добычи.

В ряде случаев применение профиля технологий можно использовать в виде вектора нормализованного баланса, который имеет вид:

$$PF = |SF_1 \quad \cdots \quad SF_j|. \quad (4)$$

В этом варианте для каждой представленной технологии применяется нормализованный социальный фактор, в котором просуммированы приведенные показатели социально-экономического баланса, определенные относительно базиса системы потребительских ценностей SCV (System of Consumer Values). SCV представляет собой таблицу коэффициентов, выводимых путем статистического анализа частоты обращения потребителя к услугам, реализуемым с участием или на основе рассматриваемой технологии. Каждый коэффициент – это приведенный показатель, который определяется из соотношения потребительских запросов отдельной технологии и суммарного объема запросов по всему профилю технологий.

Необходимо учитывать, что применение нормализованного баланса позволяет существенно упростить структуру оценки эффективности технологий добычи энергоресурса с сохранением принципов взаимного влияния экономических и энергетических факторов. Однако, при прогнозировании эффективности технологий на больших временных интервалах данный подход снижает точность оценки за счет увеличения диапазона привносимой вычислительной ошибки.

Таким образом, получаем структуру параметров социально-экономического баланса, на которой может базироваться аналитический аппарат энергетически-экономической модели эффективности технологий добычи энергоресурса.

4. МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Изменение состояния технологического комплекса добывающих предприятий связано с такими факторами как расширяемость и масштабируемость, энергоплотность добываемого ресурса, доступность инфраструктуры, экология и безопасность. Все это следует относить к социально-экономическим факторам. Как уже было показано выше, реализация учета всей номенклатуры факторов, как по типу, так и по степени влияния на конечную оценку, в любом случае и в рамках любой аналитической модели не возможна. Требуется разработать и реализовать наиболее оптимальный и с допустимым уровнем ошибок определяющий механизм эффективности технологий при добыче и переработке энергоресурса.

Основой этого механизма является критерий эффективности технологий добычи и переработки энергоресурса (Efficiency of Energy Production and Processing Technology), суть которого сводится к представленному выражению:

$$EEPPT = \frac{E \times \sum SCV_j}{\sum (E_i \times \sum PF_j)}, \quad (5)$$

где:

j - число учитываемых социально-экономических факторов;

i - число энергетических факторов, доминирующих при определении структуры системы анализа.

Фактически формат *EEPPT* является близким к формату *EROEI*, что следует считать естественным, поскольку первый является логическим расширением второго. В целом полученное выражение обеспечивает возможность применения различных типов описания анализируемых факторов, что обуславливается различными физическими, социальными и экономическими их сущностями, которые следует описать математической величиной, соответствующей формату *EEPPT*.

При определении критерия эффективности технологий добычи и переработки энергоресурса рассматриваются четыре группы факторов по типу их описания: доминирующие, формализующие, ретроградные и спекулятивные. Доминирующие факторы характеризуются примитивными способами определения их величин, причем учет этих факторов в конечной модели анализа является объективно необходимым. Формализующие также определяются простыми физическими или логическими зависимостями, но при этом их применение в модели связывается с особенностями взаимного влияния доминирующих и других типов факторов. Ретроградные представляют собой факторы, математическое описание которых, лежит в положительном и отрицательном интервалах

значений. Такой тип факторов легко определяется по величине, но изменяет свой знак в соответствии с рассматриваемыми условиями выполняемой оценки. И наконец, спекулятивные факторы – их определение основывается на статистически вероятностном математическом аппарате, суть применения которого сводится к поиску возможных величин отклонения усредненного показателя фактора в условиях взаимодействия факторов других типов.

Таким образом, полученная форма оценки эффективности технологий, применяемых при добыче и переработке энергоресурсов, позволяет комплексно и с учетом взаимного влияния различных по типу и виду представления факторов определять и прогнозировать стратегию развития производства в изменчивой социальной и геополитической ситуации. Анализируемые факторы вводятся в систему анализа в виде числовых величин, лишенных физических размерностей. Их достоверность определяется на основании базисных исследований, проводимых для выявления характера представления каждого отдельного фактора. В результате получают совокупность табличных значений, связываемых с реальными условиями воздействия рассматриваемого фактора на величину *EEPPT*.

5. ВЫВОДЫ

Существующие методики оценки перспективы развития добывающих предприятий не обеспечивают условия управления производством, при котором достигается баланс между экстенсивными и интенсивными способами извлечения энергоносителя. В этом случае наблюдается перекокс в сторону поддержания и развития архаичных технологий добычи и планирование развития производства сводится к его интенсификации, что в ряде случаев приводит к возникновению экономических проблем сбыта конечной энергии.

Комплексная оценка состояния и перспективы развития предприятий угледобывающей отрасли могут обеспечить высокую эффективность управления технологической модернизацией производства только с учетом взаимного влияния изменения общего состояния рынка энергоресурсов (профиль технологий) и социально-экономического заказа (система потребительских ценностей). Показатель структурной эффективности технологии извлечения и переработки энергоресурса *EEPPT* обеспечивает возможность оценки приемлемых условий развития добывающих предприятий с учетом доступности технологий, востребования типа энергии и социальных ожиданий в анализируемой локации.

Использование показателя структурной эффективности технологии извлечения и переработки энергоносителя *EEPPT* позволяет в совокупности с методикой, основанной на механизме стратегического планирования нестационарных динамических процессов, проводить перспективный эвристический анализ с изменением характеристик выбора горизонта планирования. Это обеспечивает возможность поиска и последующей реализации плана развития добывающего предприятия или производственного энергетического комплекса в рамках различных временных интервалов и технологических решений.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает признательность и благодарность сотрудникам кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета за оказанную помощь при подготовке материалов к публикации, в частности научному консультанту д.т.н., профессору В.И. Бондаренку за поддержку и ценные советы в процессе написания статьи.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Определение унифицированного показателя обеспечения эффективности производства (добычи) энергоресурса в изменяющихся социально-экономических условиях при учете развития технологического базиса современной добывающей промышленности.

Методика. Системный анализ взаимного влияния развития технологий добычи и переработки энергоресурсов, текущего состояния производства и потребления конечной энергии в совокупности с факторами социально-экономического развития выбираемых географических локаций.

Результаты. Изменение состояния технологического комплекса добывающих предприятий связано с такими факторами как расширяемость и масштабируемость, энергоплотность добываемого ресурса, доступность инфраструктуры, экология и безопасность. Все это следует относить к социально-экономическим факторам. Реализация учета всей номенклатуры факторов, как по типу, так и по степени влияния на конечную оценку в любом случае и в рамках любой аналитической модели не возможна. Поэтому разработанный механизм анализа, основанный на использовании критерия эффективности технологий добычи и переработки энергоресурса, позволяет повысить качество и снизить затраты по определению эффективности технологий, применяемых на производстве.

Научная новизна. Критерий эффективности технологий добычи и переработки энергоресурса качественно отличается от уже применяемых методов анализа эффективности производства тем, что позволяет в единой структуре оценивать риски технологические, экономические и социальные.

Практическая значимость. Применение критерия эффективности технологий добычи и переработки энергоресурса позволяет существенно повысить адекватность оценки состояния и перспектив развития добывающего предприятия в сложившейся социально-экономической ситуации. Это позволяет определять оптимальные показатели развития производства энергоресурса без привлечения дополнительных факторов оценки его эффективности.

Ключевые слова: энергоресурс, энергетическая эффективность, социально-экономические факторы, разработка месторождений, технология

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Визначення уніфікованого показника забезпечення ефективності виробництва (видобутку) палива у мінливих соціально-економічних умовах при врахуванні розвитку технологічного базису сучасної видобувної промисловості.

Методика. Системний аналіз взаємного впливу розвитку технологій видобутку та переробки енергоресурсів, поточного стану виробництва й споживання кінцевої енергії у сукупності з факторами соціально-економічного розвитку обраних географічних локацій.

Результати. Зміна стану технологічного комплексу видобувних підприємств пов'язана з такими факторами як розширюваність і масштабованість, енергощільність видобутого ресурсу, доступність інфраструктури, екологія та безпека. Все це слід відносити до соціально-економічних факторів. Реалізація обліку всієї номенклатури факторів, як за типом, так і за ступенем впливу на кінцеву оцінку в будь-якому випадку і в рамках будь-якої аналітичної моделі не можлива. Тому розроблений механізм аналізу, що заснований на використанні критерію ефективності технологій видобутку та переробки палива, дозволяє підвищити якість та знизити витрати по визначенню ефективності технологій, які застосовуються на виробництві.

Наукова новизна. Критерій ефективності технологій видобутку та переробки енергоресурсу якісно відрізняється від уже застосованих методів аналізу ефективності виробництва тим, що дозволяє у єдиній структурі оцінювати ризики технологічні, економічні й соціальні.

Практична значимість. Застосування критерію ефективності технологій видобутку та переробки енергоресурсу дозволяє істотно підвищити адекватність оцінки стану і перспектив розвитку видобувного підприємства у соціально-економічній ситуації, що склалася. Це дозволяє визначати оптимальні показники розвитку виробництва енергоресурсу без залучення додаткових факторів оцінки його ефективності.

Ключові слова: енергоресурс, енергетична ефективність, соціально-економічні фактори, розробка родовищ, технологія

REFERENCES

- Hall, C., & Cleveland, C. (2005, November). EROI: definition, history and future implications. In *V Presented at ASPO US Conference, Denver*.
- Heinberg, R., & Mander, J. (2009). *Searching for a miracle: Net energy limits & the fate of industrial society*. Santa Rosa, CA: Post Carbon Institute.
- Korzhubaev, A. (2007). *Neftegazovyy kompleks Rossii v usloviyakh transformatsii mezhdunarodnoy sistemy energoobespecheniya* (p. 270). Novosibirsk: INGG SO RAN "Geo".

ARTICLE INFO

Received: 28 January 2016

Accepted: 9 March 2016

Available online: 30 March 2016

ABOUT AUTHOR

Vadym Fomychov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/60, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: fomichov@inbox.ru