

## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 662.76

А. Б. Бирюков, д-р техн. наук, В. В. Варакута,  
П. А. Гнитиёв, канд. техн. наук

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

### КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ УГЛЕДОБЫЧЕ

*Выполнен анализ всех источников загрязняющих веществ и низкопотенциального теплового загрязнения, возникающих при подземной угледобыче. Установлены их количественные характеристики и показаны пути снижения вредного влияния на окружающую среду за счет использования возобновляемой и низкопотенциальной теплоты для выработки электроэнергии.*

**Ключевые слова:** угольная шахта, подземная добыча, загрязнение окружающей среды, углекислый газ, дегазационный метан, возобновляемая и низкопотенциальная теплота

#### **Введение**

Экологические проблемы городов связаны с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий, с образованием антропогенных ландшафтов, очень далеких от состояния экологического равновесия [1]. Донбасс в этом плане не является исключением. Исторически так сложилось, что в населенных регионах, на территории городов и поселков, сосредоточена значительная часть предприятий топливно-энергетического комплекса и тяжелой промышленности. Суммарное потребление энергии человеком в городах развитых стран составляет в среднем 335 ГДж/год. Для выработки такого количества энергии требуется большое количество ископаемого топлива. Значительная экологическая нагрузка на окружающую среду предприятиями Донбасса осуществляется в виде потребления кислорода, выбросов углекислоты, водяных паров, метана, угольной пыли, выхода золы. Также с различными теплоносителями сбрасывается огромное количество вторичной и низкопотенциальной теплоты (ВНТ), образующейся при функционировании предприятий, которую целесообразно утилизировать с целью производства электроэнергии. Поэтому для решения вопроса снижения вредных выбросов необходимо провести комплексный анализ всех имеющихся источников загрязняющих веществ и низкопотенциального теплового загрязнения, возникающих при угледобыче.

#### **Состояние вопроса**

Высокопроизводительная выемочная техника, в зависимости от мощности разрабатываемого пласта, позволяет добывать уголь с нагрузкой до 8 тыс. т/сут и скоростью продвижения очистного забоя более 6 м/сут. В газовых шахтах такая интенсивность сдерживается высоким метановыделением, которое при среднесуточной добыче 2–8 тыс. т составляет 25–60 м<sup>3</sup>/мин [2]. Таким образом, в среднем для Донбасса, на каждую тонну добытого угля приходится 357 м<sup>3</sup> метана.

Современные технологии угледобычи сопряжены с непрерывным увеличением мощности угледобывающей техники. Рост энергозатрат при разрушении угольного массива приводит к повышению диспергации угля и росту выхода угольных фракций 0–1 мм, относимых к угольной пыли. В процессе перемещения добытого угля по горным выработкам и территории поверхностного комплекса шахты, происходит увеличение фракции 0–1 мм с 7 % в лаве до 18 % на угольном складе шахты. Указанные данные получены группой эффективности производства ОАО «СУЭК» на основе ситового анализа угля в девяти контрольных точках

шахты им. С. М. Кирова (Кузбасс, Россия) [3]. Таким образом, в пределах шахты на каждую тонну добытого угля приходится до 180 кг угольной пыли с фракцией 0–1 мм.

Поскольку угольные шахты являются мощными потребителями электроэнергии, а для Донбасса вся электроэнергия производится на угольных ТЭС, добыча угля приводит к необходимости производства дополнительной энергии и определяет дополнительное загрязнение окружающей среды. В условиях Донбасса в качестве источника первичной энергии на ТЭС используется пылеугольное топливо. Поэтому вредные выбросы ТЭС прежде всего представлены продуктами сгорания угля.

Процессы сжигания и термической переработки органических топлив исследованы в достаточно большом количестве работ. Известна разработанная математическая модель выгорания пылеугольного топлива и выхода продуктов сгорания в топках энергетических котлов [4–6].

**Целью** данной работы является комплексный анализ всех имеющихся источников загрязняющих веществ и низкопотенциального теплового загрязнения, возникающих при угледобыче; определение их количественных характеристик и путей уменьшения вредных выбросов в условиях угольной шахты.

### **Методика исследования**

Анализ процессов образования вредных выбросов при угледобыче проводился для условий шахты им. А. Ф. Засядько (г. Донецк) за годовой цикл, на основании характеристик, представленных в интернет-ресурсах: марка добываемого угля Ж, максимальная добыча угля – 2,031 млн т/год (0,169 млн т/месяц), максимальная глубина горных работ – 1400 м, максимальная глубина ствола – 1280 м, температура горного массива – + 49 °С, газоносность угольных пластов шахты составляет 19–23 м<sup>3</sup>/т, общее количество воздуха, подаваемого в шахту – 40 тыс. м<sup>3</sup>/мин, общий приток воды в действующие горные выработки – 600–650 м<sup>3</sup>/ч. Средний удельный расход электроэнергии составил 84,6 кВт·ч/т. На шахте эксплуатируется когенерационная установка с использованием шахтного, дегазационного метана в качестве топлива [7, 8].

Количество потребляемого кислорода и вредных загрязняющих веществ (в виде углекислого газа, водяных паров, золы), образующихся при выработке электроэнергии, определялось по известным методикам расчета продуктов сгорания при выработке электроэнергии на ТЭС при сжигании антрацита с низшей теплотой сгорания 22 МДж/кг [5]. Количество вредных выбросов (в виде метана, угольной пыли, низкопотенциальной теплоты шахтных вод и отработанного рудничного воздуха), образующихся при угледобыче, определялось на основании упрощенных расчетных зависимостей для типовых параметров силового и энергетического оборудования, а также с учетом известных характеристик процессов образования загрязняющих веществ при подземной добыче угля с глубиной разработки более 800 м.

Для оценки техногенной составляющей ВНТ, в рамках опытно-конструкторских работ, проведено экспериментальное исследование тепловых потерь некоторых образцов типового горно-шахтного электрооборудования [9].

### **Результаты исследования**

Экологически вредными факторами при угледобыче подземным способом являются выбросы метана, угольной пыли и ВНТ. Метан – один из ключевых парниковых газов, негативно влияющий на климат планеты. Негативный эффект от выбросов метана в 20 раз выше по сравнению с выбросами углекислого газа [6]. В условиях рассматриваемой шахты, за годовой цикл работы, для добычи 1 т угля, в среднем требуется затратить  $W_{1т} = 84,6$  кВт·ч электроэнергии. Проведем комплексный анализ удельных выбросов загрязняющих веществ и низкопотенциального теплового загрязнения, приведенных к 1 т добытого угля, синтеза ТЭС, использующей в качестве топлива антрацит с низшей теплотой сгорания 22 МДж/кг, и рассматриваемой шахты.

## 1. ТЭС.

Принято, что на выработку 1 кВт·ч электроэнергии на ТЭС расходуется  $B_{y0} = 0,47 \cdot 10^{-3}$  т/кВт·ч реального топлива (антрацита). Тогда количество реального топлива, которое необходимо сжечь на ТЭС для обеспечения электроэнергией процесса добычи 1 т угля составляет:

$$B = W_2 \cdot B_{y0} = 84,5 \cdot 0,47 \cdot 10^{-3} = 39,72 \cdot 10^{-3} \text{ т},$$

где  $W_2$  – количество электроэнергии, затраченное на угледобычу за годовой цикл работы.

При сжигании 1 кг рассматриваемого топлива удельные выходы углекислоты и водяных паров, а также удельный выход золы составляют, соответственно: 1,254 м<sup>3</sup>/кг; 0,426 м<sup>3</sup>/кг; 0,23 кг/кг. Потребление кислорода при этом составит 1,35 м<sup>3</sup>/кг.

Тогда сжиганию твердого топлива в количестве  $B$  соответствуют следующие показатели загрязнения окружающей среды:

- выбросы углекислоты  $V_{\text{CO}_2} = 49,8 \text{ м}^3$ ;
- выбросы водяных паров  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 16,92 \text{ м}^3$ ;
- выход золы  $A_3 = 9,14 \cdot 10^{-3} \text{ т}$ ;
- количество потребляемого кислорода  $V_{\text{O}_2} = 53,6 \text{ м}^3$ .

Выбросы водяного пара также постоянно происходят в градирнях ТЭС. Удельный расход охлаждающей воды на 1 кВт установленной мощности составляет на электростанциях, оборудованных конденсационными турбинами, 0,16–0,20 м<sup>3</sup>/ч (160–200 кг/ч или 0,05 кг/с). Тогда для выработки 84,6 кВт·ч электроэнергии расход охлаждающей воды составит 4,25 кг. Потери охлаждающей воды в виде пара составляют 2 %, т. е. 0,085 кг или  $V_{\text{H}_2\text{O}_{\text{п}}} = 0,11 \text{ м}^3$  (при атмосферном давлении и 0 °С). Суммарные удельные выбросы водяного пара ТЭС, приведенные к 1 т добытого угля, составят:

$$V_{\text{H}_2\text{O}_{\text{ТЭС}}} = V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{H}_2\text{O}_{\text{п}}} = 16,92 + 0,11 = 17,03 \text{ м}^3.$$

При общем КПД ТЭС порядка 45 % низкопотенциальное тепловое загрязнение, приведенное к 1 т добытого угля, составит:

$$W_{\text{мз}} = \frac{84,6}{1 - 0,45} = 153,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 553 \text{ МДж}.$$

## 2. Угольная шахта.

Исследование проводилось на примере шахты им. А. Ф. Засядько (г. Донецк).

Средняя газоносность угольных пластов шахты составляет 21 м<sup>3</sup>/т.

Шахтной когенерационной установкой используется 15 % метана, образующегося при угледобыче. Выбросы метана при добыче 1 т угля составляют  $V_{\text{CH}_4} = 21 \cdot (1 - 0,15) = 17,85 \text{ м}^3$  или в пересчете на углекислый газ:

$$V_{\text{CO}_2} = 17,85 \cdot 20 = 757 \text{ м}^3.$$

Как было показано выше, в пределах шахты на каждую тонну добытого угля приходится до 180 кг угольной пыли с фракций 0–1 мм. Усредненный, экономически целесообразный коэффициент очистки пылеудаляющих аппаратов можно принять равным 50 %. Выбросы угольной пыли составляют:

$$A_{\text{yn}} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ т}.$$

Низкопотенциальное тепловое загрязнение носит как природный, так и техногенный характер. К природной составляющей будем относить теплоту, выделяемую горными породами и выносимую на поверхность шахтными водами и отработанным рудничным воздухом.

Температура удаляемой из шахты воды составляет  $+49\text{ }^{\circ}\text{C}$ , удельная теплоемкость воды –  $c = 4187\text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ ; среднее количество откачиваемой воды, приведенное к 1 т добытого угля –  $m_{\text{вo}} = \frac{625 \cdot 1000 \cdot 365 \cdot 24}{2,031 \cdot 10^6} = 2695,7\text{ кг}$ ; перепад температур откачиваемой воды на входе в насос водоотлива и зеркале отстойника при температуре замерзания –  $\Delta T = 49\text{ K}$ . Количество низкопотенциальной теплоты, выбрасываемое водоотливом, приведенное к 1 т добытого угля:

$$W_{\text{вo}} = c \cdot m_{\text{вo}} \cdot \Delta T = 4187 \cdot 2695,7 \cdot 49 = 553,1\text{ МДж}.$$

Величину выбрасываемых водяных паров с зеркала шахтных отстойников принимаем 2 %, тогда

$$V_{\text{H}_2\text{O}_{\text{ис}}} = m_{\text{вo}} \cdot 0,02 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 2695,7 \cdot 0,02 \cdot 0,79 = 42,6\text{ м}^3,$$

где  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,79\text{ кг/м}^3$  – плотность водяного пара при атмосферном давлении и  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для соблюдения технологического процесса и правил безопасности при добыче угля подземным способом, тепловой режим горных выработок необходимо поддерживать в пределах, регламентируемых нормативно-правовыми документами [10, 11]. Для этого необходимо интенсивное проветривание горных выработок. Тогда количество низкопотенциальной теплоты, выбрасываемое с отработанным рудничным воздухом:

$$W_{\text{орв}} = c_{\text{рвoз}} \cdot m_{\text{рвoз}} \cdot \Delta T_{\text{рвoз}} = 1000 \cdot 11805 \cdot 26 = 301\text{ МДж},$$

где  $c_{\text{рвoз}}$  – удельная теплоемкость отработанного рудничного воздуха, Дж/кг·К;

$m_{\text{рвoз}}$  – количество отработанного рудничного воздуха, приведенное к 1 т добытого угля, кг;

$\Delta T_{\text{рвoз}}$  – разность температур отработанного рудничного воздуха на выходе из ствола и атмосферного воздуха при выполнении замеров (при атмосферном давлении и  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), К.

На рисунке 1 представлены итоговые величины удельных вредных выбросов, приведенных к 1 т добытого угля.

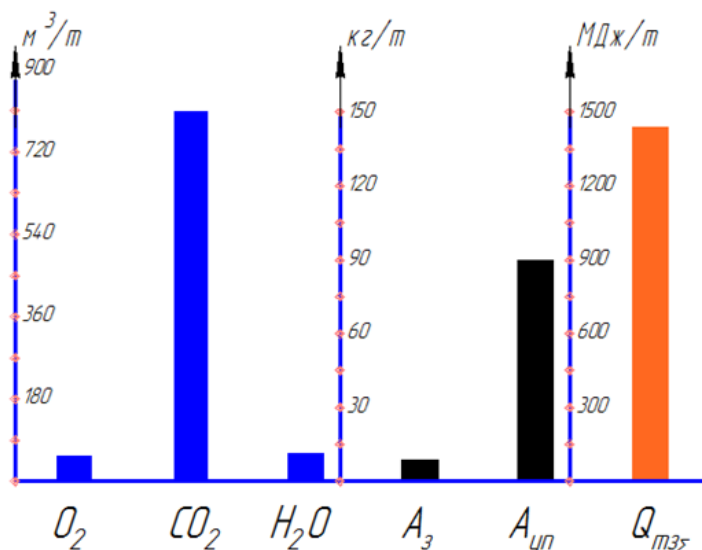


Рисунок 1 – Итоговые удельные вредные выбросы, приведенные к 1 т добытого угля

Техногенная составляющая низкопотенциального теплового загрязнения угольной шахты – это в основном тепловые потери электрооборудования. Это та часть подводимой электрической энергии, которая рассеивается в виде теплоты и отводится от оборудования в окружающую среду [12]. В рамках опытно-конструкторских работ проведено экспериментальное исследование тепловых потерь нескольких образцов типового горно-шахтного электропривода. На стендах испытательной лаборатории ГУ «НИИВЭ» проведены испытания электродвигателя ЭКВД 3,5–36 – привода подачи очистного комбайна и электродвигателя ВРВА160М2-1У2.5 – привода вентилятора местного проветривания, с целью экспериментального подтверждения расчетов техногенной составляющей низкопотенциального, теплового загрязнения.

Аналитическая зависимость  $(P_{см} + P_{мех})$  от  $U_{ол}$  представляет собой полином третьей степени:

$$(P_{см} + P_{мех}) = 6 \cdot 10^{-9} \cdot U_{ол}^3 - 10^{-5} \cdot U_{ол}^2 + 0,0067 \cdot U_{ол} - 0,6717$$

с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9846$  (рисунок 2).

$(P_{см} + P_{мех}), \text{ кВт}$

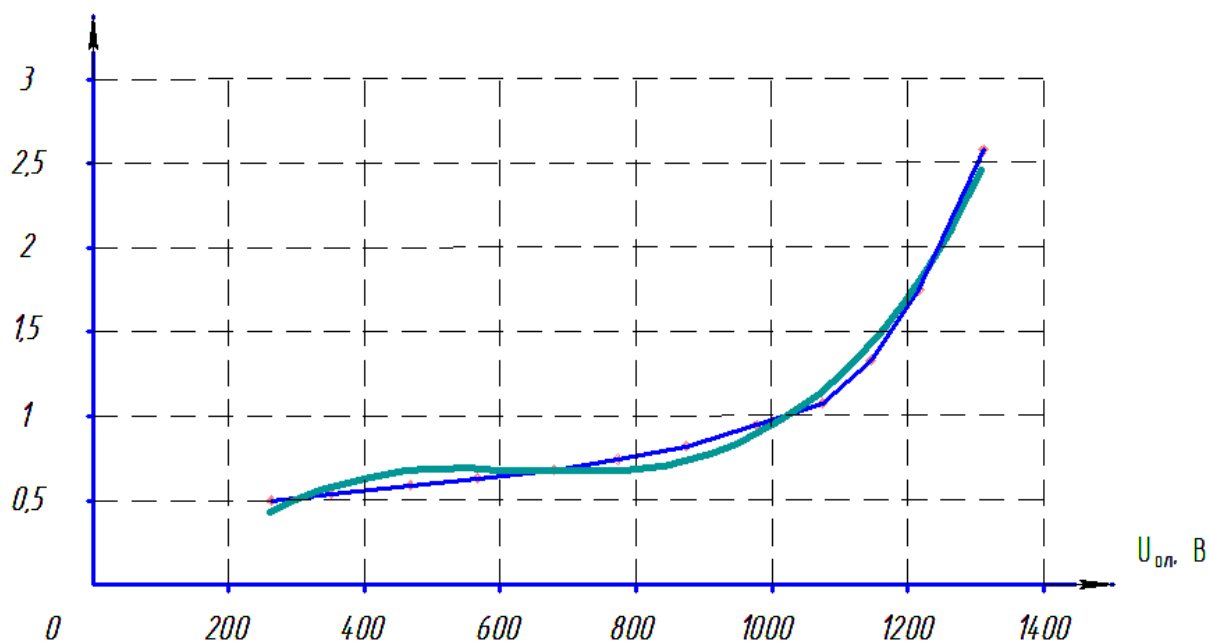


Рисунок 2 – Рабочая характеристика суммарных потерь  $(P_{см} + P_{мех})$  ЭКВД 3,5-36

Строим график зависимости КПД от  $P_2$ , находим аналитическую зависимость по данным эксперимента с величиной достоверности аппроксимации больше  $R^2 = 0,95$ .

При работе в номинальном режиме, КПД машины составляет 88,4 %.

Аналитическая зависимость КПД от  $P_2$  представляет собой полином третьей степени  $\eta = 10^{-12} \cdot P_2^3 - 10^{-7} \cdot P_2^2 + 0,0031 \cdot P_2 - 61,014$  с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9666$  (рисунок 3).

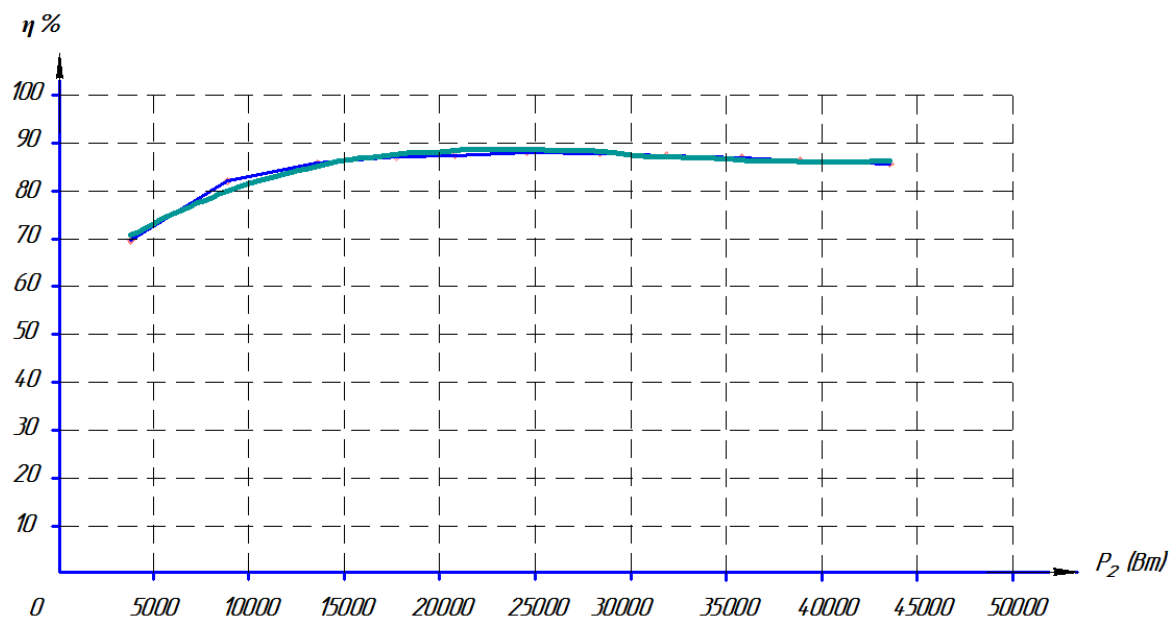


Рисунок 3 – Рабочая характеристика КПД ЭКВД 3,5-36

Расчет ВРВА160М2-1У2.5 так же выполняем по результатам опытов непосредственной нагрузки при номинальном напряжении, методом отдельных потерь.

При работе в номинальном режиме КПД машины составляет 91,47 %.

Аналитическая зависимость КПД от  $P_2$  представляет собой полином третьей степени  $\eta = 2 \cdot 10^{-12} \cdot P_2^3 - 10^{-7} \cdot P_2^2 + 0,0026 \cdot P_2 - 73,556$  с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9804$  (рисунок 4).

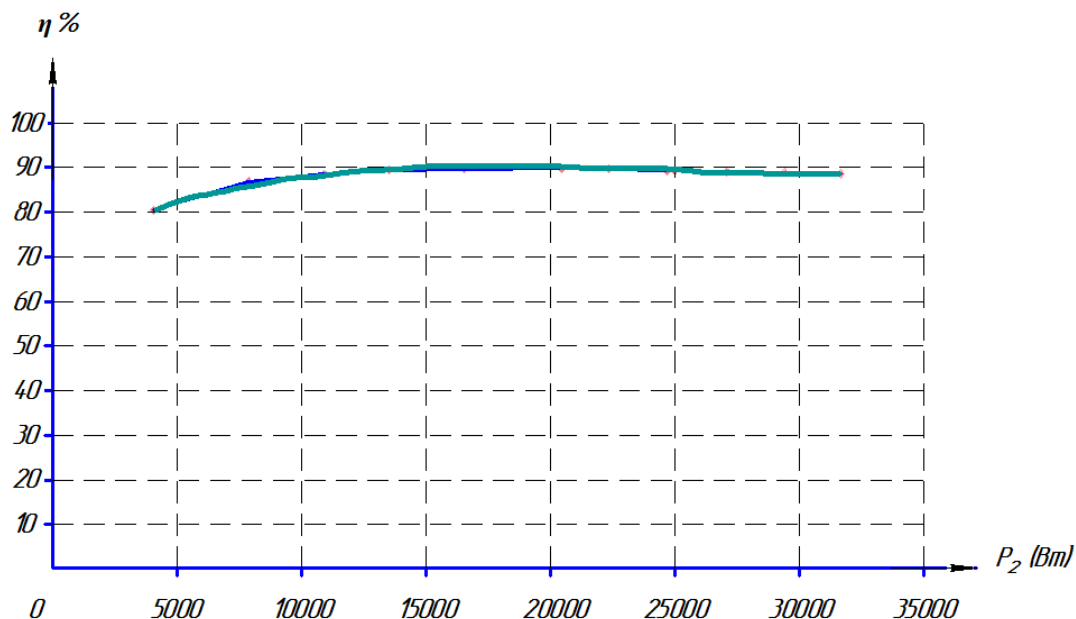


Рисунок 4 – Рабочая характеристика КПД ВРВА160М2-1У2.5

Из результатов испытаний шахтного электропривода видно, что для ЭКВД 3,5-36 доля низкопотенциальных тепловых потерь составила 11,6 % или 4,36 кВт, а для ВРВА160М2-1У2.5 – больше 8,5 % или 2,37 кВт, т. е. тепловой поток, отводимый от испытуемого электропривода в окружающую среду, колеблется в значительных пределах (порядка 3 % подводимой мощности).

Для осуществления технологического процесса угледобычи в шахте применяются различные типы электропривода, аппаратуры управления, трансформации и передачи электроэнергии. Принимаем средний КПД этих устройств 90 %. Максимальный удельный тепловой поток техногенной составляющей низкопотенциального теплового загрязнения при добыче 1 т угля может достигать:

$$W_{\text{max}} = W_{\text{эл}} \cdot (1 - \eta_{\text{min}}) = 84,6 \cdot (1 - 0,9) = 8,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 30,6 \text{ МДж},$$

где  $W_{\text{эл}}$  – средний удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т;

$\eta_{\text{min}}$  – КПД электропотребителей шахты.

### **Выводы**

1. При добыче 1 т угля на шахте образовывается следующее суммарное количество удельных вредных выбросов на тонну добытого угля:

– углекислого газа – 806 м<sup>3</sup>/т (с учетом выбросов метана, приведенных к выбросам углекислого газа);

– водяных паров – 59,63 м<sup>3</sup>/т;

– выход золы – 9,14 кг/т;

– угольной пыли – 90 кг/т;

– низкопотенциального теплового загрязнения – 1437,7 МДж/т.

Причем значительная часть этих выбросов образовывается на ТЭС при выработке электроэнергии, необходимой для обеспечения угледобычи.

2. Из структуры вредных выбросов, образующихся на шахте в процессе угледобычи, видно, что часть из них одновременно является вторичными энергоресурсами (выбросы метана, угольной пыли) и возобновляемыми источниками энергии (низкопотенциальная теплота шахтных вод, низкопотенциальная теплота отработанного рудничного воздуха), которые могут быть трансформированы непосредственно на шахте, попутно с процессом угледобычи, и возвращены в хозяйственный оборот предприятия в виде электроэнергии.

3. Очевидно, что утилизация и трансформация в электроэнергию вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии приведет к значительному суммарному сокращению вредных выбросов. Так, удовлетворение потребностей в электроэнергии процесса угледобычи за счет собственных ресурсов шахты автоматически ведет к значительному сокращению вредных выбросов не только на шахте, но и на ТЭС.

4. Проанализирована техногенная составляющая низкопотенциального тепловыделения в виде теплопотерь электрических машин, задействованных в процессе угледобычи. Установлены эмпирические характеристики, описывающие зависимость теплопотерь типовых электрических машин нового поколения от нагрузки.

### **Список литературы**

1. Львович, Н. К. Жизнь в мегаполисе / Н. К. Львович. – Москва : Наука, 2006. – 254 с.
2. Закономерности метановыделения при высоких скоростях подвигания очистного забоя / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула, А. А. Прусова // Уголь Украины. – 2015. – № 7–8. – С. 26–31.
3. Романченко, С. Б. Самодиспергация пыли – принципиально новый эффект, выявленный методом лазерных исследований / С. Б. Романченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 378–385.
4. Allam, R. J. New Power Cycle Provides High Efficiency and Lower Cost Electricity Generation from Coal while Eliminating Atmospheric Emissions, including carbon dioxide / R. J. Allam [et al.] // Energy Procedia. – № 37 (2013). – P. 1135–1149.
5. Курганова, Е. А. О расчете процесса горения топлив по обобщенным характеристикам / Е. А. Курганова, М. Н. Покусаев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2009. – №. 1. – С. 215–218.

6. Satellite observation of atmospheric methane and their value for quantifying methane emission / D. J. Jacob, A. J. Turner, J. D. Maasackers, J. Sheng // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2016. – № 16 (22). – P. 14371–14396.
7. Бирюков, А. Б. Математическая модель выгорания пылеугольного топлива в топке энергетического котла / А. Б. Бирюков, В. А. Семергей // *Вестник Донецкого национального технического университета*. – 2017. – № 1 (7). – С. 32–37.
8. Бирюков, А. Б. Двухконтурная энергогенерирующая станция с изменяемыми параметрами рабочего тела второго контура / А. Б. Бирюков, П. А. Гнитиёв, В. В. Варакута // *Вестник Донецкого национального университета*. – 2019. – № 4. – С. 66–78.
9. Сорока, Е. А. Экспериментальные исследования теплового состояния трансформаторной подстанции типа ТВШП-630/6 / Е. А. Сорока, И. Я. Чернов, В. М. Грушко // *Взрывозащищенное электрооборудование: сборник научных трудов УкрНИИВЭ*. – Донецк : АИР, 2012. – С. 59–67.
10. Правила безопасности в угольных шахтах : (НПАОП 10.0-1.01-10) : издание официальное : утверждены Приказом Государственного комитета Украины по промышленной безопасности, охране труда и горного надзора от 22.03.2010 № 62. – Киев, 2010. – 185 с.
11. Санитарные правила и нормы «Предприятия угольной промышленности» : (ДСП 3.3.1.095-2002) : издание официальное : утверждены Приказом Министерства охраны здоровья Украины от 31.12.2002 № 468 : введены в действие 01.08.2003. – Киев, 2003. – 22 с.
12. Tikhonova, O. The Modeling and the Calculation of the Subexciter with Permanent Magnets by Dint of «ANSYS Maxwell». – Текст: электронный / O. Tikhonova, I. Malygin, A. Plastun // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016-Proceedings, 19 мая 2016–20 мая 2016. – Chelyabinsk, Российская Федерация : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2016. – URL: <https://science.urfu.ru/publications/the-modeling-and-the-calculation-of-the-subexciter-with-permanent> .

**А. Б. Бирюков, В. В. Варакута, П. А. Гнитиёв**  
**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк**  
**Комплексный анализ вредных выбросов при угледобыче**

Выполнен анализ всех источников загрязняющих веществ и низкопотенциального теплового загрязнения, возникающих при угледобыче. Анализ процессов образования вредных выбросов проводился для условий шахт им. А. Ф. Засядько (г. Донецк). Количество потребляемого кислорода и вредных загрязняющих веществ, образующихся при выработке электроэнергии (углекислого газа, водяных паров, золы) определялось по известным методикам расчета продуктов сгорания при выработке электроэнергии на ТЭС при сжигании антрацита с низшей теплотой сгорания – 22 МДж/кг. Количество вредных выбросов (метана, угольной пыли, низкопотенциальной теплоты шахтных вод и отработанного рудничного воздуха), образующихся при угледобыче, определялось на основании упрощенных расчетных зависимостей для типовых параметров силового и энергетического оборудования, а также с учетом известных характеристик процессов образования загрязняющих веществ при подземной добыче угля с глубиной разработки более 800 м.

Установлено, что на шахте на тонну добытого угля образуется  $V_{CO_2} = 806 \text{ м}^3/\text{т}$  углекислого газа (с учетом выбросов метана, приведенных к выбросам углекислого газа),  $59,63 \text{ м}^3/\text{т}$  водяных паров,  $9,14 \text{ кг/т}$  золы,  $90 \text{ кг/т}$  выбросов угольной пыли. Низкопотенциальное тепловое загрязнение составляет  $1437,7 \text{ МДж/т}$ . Значительная часть этих выбросов образуется на ТЭС при выработке электроэнергии, необходимой для обеспечения угледобычи. Обосновано, что часть вредных выбросов, образующихся на шахте в процессе угледобычи, представляет собой возобновляемые источники энергии (низкопотенциальная теплота шахтных вод, низкопотенциальная теплота отработанного рудничного воздуха). Эти энергетические потоки могут быть трансформированы непосредственно на шахте и возвращены в хозяйственный оборот предприятия в виде электроэнергии. Утилизация и трансформация в электроэнергию вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии приведет к значительному суммарному сокращению вредных выбросов не только на шахте, но и на ТЭС.

Экспериментально проанализирована техногенная составляющая низкопотенциального тепловыделения в виде теплотеря электрических машин. Установлены эмпирические характеристики, описывающие зависимость теплотеря типовых электрических машин нового поколения от нагрузки.

**УГОЛЬНАЯ ШАХТА, ПОДЗЕМНАЯ ДОБЫЧА, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ, ДЕГАЗАЦИОННЫЙ МЕТАН, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ И НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТЕПЛОТА**



*A. B. Biriukov, V. V. Varakuta, P. A. Gnitiev*  
**Donetsk National Technical University, Donetsk**  
**Complex Analyses of Harmful Emissions at Coal Mining**

The analysis of all pollutant sources and low-potential thermal pollution arising at coal mining is carried out. The analysis of harmful emissions formation for conditions of A. F. Zasyadko mines (Donetsk) was carried out. The amount of consumed oxygen and harmful pollutants formed during the generation of electric power (carbon dioxide, water vapor, ash) was determined according to the known methods of calculating the combustion products in the production of electricity at thermal power plants when burning anthracite with a lowest heat value of 22 MJ / kg. The amount of harmful emissions (methane, coal dust, low-potential heat of mine water and spent mine air) formed at coal mining was determined on the basis of simplified calculated dependencies for typical parameters of power and energy equipment, as well as taking into account the known characteristics of the pollutant formation processes at deep coal mining with a depth of more than 800 m.

It is established that at a mine  $V_{CO_2} = 806 \text{ m}^3 / \text{T}$  of carbon dioxide per a ton of coal mined (taking into account methane emissions reduced to carbon dioxide emissions), 59.63  $\text{m}^3 / \text{t}$  of water vapor, 9.14 kg / t of ash, 90 kg / t of coal dust emissions are produced. Low-potential thermal pollution is 1437.7 MJ / t. A significant part of these emissions is generated at thermal power plants during the generation of electricity required for coal mining. It is substantiated that part of harmful emissions formed during the coal mining process is renewable energy sources (low potential heat of mine waters, low potential heat of spent mine air). These energy flows can be transformed directly at the mine and returned to the economic turnover of the enterprise in the form of electricity. The utilization and transformation of secondary energy resources and renewable energy sources into electricity will lead to a significant total reduction of harmful emissions not only at the mine, but also at thermal power plants.

The technogenic component of low-potential heat generation in the form of heat losses of electrical machines is experimentally analyzed. Empirical characteristics describing the dependence of heat losses of typical electric machines of the new generation on the load are established.

COAL MINE, DEEP MINING, ENVIRONMENT PROTECTION, CARBON DIOXIDE, DECONTAMINATION METHANE, RENEWABLE AND LOW-POTENTIAL HEAT

**Сведения об авторах:**

**А. Б. Бирюков**

SPIN-код: 3186-0680  
 ORCID: 0000-0002-8146-2017  
 SCOPUS: 7006918782  
 Телефон: +38 (071) 405-89-73  
 Эл. почта: birukov.ttf@gmail.com

**В. В. Варакута**

Эл. почта: varakutaviktor@ukr.net

**П. А. Гнитиёв**

SPIN-код: 1943-4196  
 ORCID: 0000-0001-9266-7969  
 SCOPUS: 56916104300  
 Телефон: +38 (071) 321-50-15  
 Эл. почта: paul.gnitiev@mail.ru

*Статья поступила 02.07.2019*

© А. Б. Бирюков, В. В. Варакута, П. А. Гнитиёв, 2019

*Рецензент: С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, проф., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*