

УДК 502.55(203)002.23:622.411.33:621.311.23

И.Ф. Чемерис,
В.Д. Рубан, И.Л. Дякун
(ИГТМ НАН Украины)
И.А. Ефремов, Б.В. Бокий
(АП Шахта им. А.Ф. Засядько)

**СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ
ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА
УГОЛЬНОМ МЕТАНЕ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ ИМ. А.Ф. ЗАСЯДЬКО**

Дана оцінка впливу шахтних енергетичних комплексів, що переробляють вугільний метан в теплову та електричну енергію, на скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. На прикладі шахти ім. А.Ф. Засядько показано, що істотне скорочення викидів в атмосферу забезпечується закриттям вугільних і газових котельних шахти, заміщенням енергетичних потужностей на муніципальних котельних і районних теплових електростанціях, утилізацією вугільного метану в енергетичних комплексах.

**DECREASE OF HARMFUL EMISSIONS IN THE
ATMOSPHERE AT INTRODUCTION OF THE POWER COMPLEX ON
COAL METHANE IN CONDITIONS OF ZASJADKO MINE**

The estimation of influence of the mine power complexes, processing coal methane in thermal and electric energy, on decrease of emissions of harmful substances in an atmosphere is given. By the example of Zasjadko mine it is shown, that essential decrease of emissions in an atmosphere is provided with closing of coal and gas boiler of mine, replacement of power capacities on municipal boiler and regional thermal power stations, processing of coal methane in power complexes.

Основними источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при работе угледобывающих предприятий являются шахтные котельные, работающие на угле (NO_x , CO , CO_2 , SO_2 и пыль), а также выбросы метана через шахтные дегазационные системы и исходящие вентиляционные струи. Одним из перспективных путей сокращения вредных выбросов в атмосферу является

утилизация угольного метана в когенерационных энергетических комплексах, утилизирующих угольный метан путем выработки тепловой и электрической энергий, используемых как для энергетического самообеспечения шахты, так и для отпуска сторонним потребителям [1, 2]. Наиболее перспективным является использование когенерационных энергетических комплексов на базе газопоршневых установок [3, 4].

Из анализа работы вакуум-насосных станций на Восточной, Яковлевской и Григорьевской промплощадках шахты следует, что при использовании метано-воздушной смеси с концентрацией метана 25 % и подпиткой природным газом на данных площадках могут быть размещены энергетические модули для выработки тепловой и электрической энергий с электрической мощностью 66,0 МВт и тепловой – 57,9 Гкал/ч. При этом тепловые нагрузки шахты явно недостаточны для утилизации тепла, вырабатываемого энергетическими модулями. Для более полной утилизации тепловой энергии целесообразно использование в качестве теплоносителя горячей воды с температурным графиком 110 °С/70 °С, с подачей данного теплоносителя по магистральному теплопроводу на Центральную промплощадку и на городские котельные, расположенные вблизи Центральной промплощадки. Это позволит существенно сократить как выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от шахтных угольных котельных, так и потребление импортного природного газа, служащего топливом для городских котельных.

На Центральной промплощадке шахты расположены две котельные, № 1 и № 2, работающие на угольном концентрате марки Ж, получаемом от ЦОФ «Киевская». Котельная № 1 оснащена двумя котлами типа ДКВР – 10–13 и четырьмя – типа КЕ – 10–13, которые имеют факельное сжигание топлива. Котельная № 2 оснащена шестью котлами типа РН–18 с топками Ривокатова, которые имеют подовое сжигание топлива. В 2004 году котельные потребили 20,258 тыс. т угля. В том числе котельная №1 – 18,929 тыс. т и котельная №2 – 1,329 тыс. т. Элементный состав угля (на рабочее состояние): углерод – 73,49 %; водород – 4,52 %; (азот + кислород) – 4,39 %; сера – 1,96 %; зола – 8,14 %; влажность – 7,50 %. Низшая теплота сгорания рабочей массы угольного концентрата составляет $Q_i^r = 29,406$ МДж/кг.

Расчет выбросов вредных веществ в атмосферу от котельных № 1 и № 2 производился по методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок [4].

В 2007 году на Центральную промплощадку шахты будет проведена тепло-трасса от Восточной, Яковлевской и Григорьевской промплощадок. Это даст возможность в IV квартале 2007 года вывести из эксплуатации и поставить в резерв угольные котельные № 1 и № 2 Центральной промплощадки. Потребление угля в 2007 году сократится на 7,779 тыс. т, в том числе по котельной № 1 на 7,256 тыс. т и по котельной № 2 на 0,523 тыс. т. Соответственно сократятся и выбросы. Начиная с 2008 года выбросов вредных веществ от угольных котельных шахты им. А.Ф. Засядько вообще не будет. Величины выбросов угольных

котельных и их сокращение по сравнению с 2006 годом (существующее положение) приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Снижение вредных выбросов в атмосферу в связи с выводом из эксплуатации угольных шахтных котельных по годам

Источники выбросов	Выбросы, т/г					
	NO_x	SO_2	CO	CO_2	Пыль	Всего
2006 год						
Котельная № 1	116,887	740,906	67,348	50924,416	222,901	52072,458
Котельная № 2	8,212	52,053	4,732	3577,767	104,401	3747,165
Итого:	125,099	792,959	72,080	54502,183	327,302	55819,623
2007 год						
Котельная № 1	72,002	456,398	41,509	31369,440	137,307	32076,656
Котельная № 2	5,059	32,065	2,915	2203,904	64,406	2308,349
Итого:	77,061	488,463	44,424	33573,344	201,713	34385,005
Снижение выбросов	48,038	304,496	27,656	20928,839	125,589	21434,618
2008 – 2012 годы						
Снижение выбросов	125,099	792,959	72,080	54502,183	327,302	55819,623

На Восточной промплощадке шахты расположена газовая котельная ВПС 1, которая оснащена тремя газотрубными котлами типа HDMRS – 1000, австрийской фирмы «BERTSCH». На Яковлевской промплощадке расположена газовая котельная ВПС 2, которая оснащена двумя газотрубными котлами типа HD – 01–10 немецкой фирмы «CONDOR». В 2004 году газовые котельные шахты потребили 1143,3 тыс. м³ природного газа. В том числе котельная на Восточной промплощадке 762,2 тыс. м³ и котельная на Яковлевской промплощадке 381,1 тыс. м³. Массовый элементный состав природного газа: углерод – 73,67%; водород – 24,65 %; кислород – 0,12 %; азот – 1,56 %. Низшая теплота сгорания природного газа составляет 33,08 МДж/м³, а его плотность – 0,723 кг/м³.

Расчет валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от газовых котельных ВПС 1 и ВПС 2 производился по утвержденной методике [5].

По мере ввода в эксплуатацию энергетических модулей на базе газопоршневых установок на промплощадках шахты, потребители тепла на этих площадках будут получать тепловую энергию, вырабатываемую газопоршневыми установками, а котельные на этих промплощадках будут выводиться из эксплуатации.

В IV квартале 2005 года будет выведена из эксплуатации и закрыта газовая котельная на Восточной промплощадке шахты. Потребление природного газа за год на ней сократится на 381,1 тыс. м³, соответственно сократятся и выбросы от котельной ВПС 1. В IV квартале 2006 года будет выведена из эксплуатации и закрыта газовая котельная на Яковлевской промплощадке шахты, Потребление природного газа за год на ней сократится на 190,55 тыс. м³, соответственно сократятся и выбросы от котельной ВПС 2. Начиная с 2007 года выбросов вредных веществ от газовых котельных шахты им. А.Ф. Засядько вообще не будет. Значения валовых выбросов газовых котельных, а также их сокращение по сравнению с 2004 годом (существующее положение) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сокращение вредных выбросов в атмосферу в связи с выводом из эксплуатации газовых шахтных котельных по годам

Источники выбросов	Выбросы, т/г					
	NO_x	CO	CO_2	N_2O	CH_4	Всего
2004 год						
Котельная ВПС 1	3,782	0,428	1512,305	0,025	0,252	1516,792
Котельная ВПС 2	1,891	0,214	756,152	0,013	0,126	758,396
Итого:	5,673	0,642	2268,457	0,038	0,378	2275,188
2005 год						
Котельная ВПС 1	1,891	0,214	756,152	0,013	0,126	758,396
Котельная ВПС 2	1,891	0,214	756,152	0,013	0,126	758,396
Итого:	3,782	0,428	1512,304	0,026	0,252	1516,792
Снижение выбросов	1,891	0,214	756,152	0,013	0,126	758,396
2006 год						
Котельная ВПС 2	0,945	0,107	378,076	0,006	0,063	379,197
Снижение выбросов	3,782	0,428	1512,304	0,026	0,252	1516,792
2007 – 2012 годы						
Снижение выбросов	5,673	0,642	2268,457	0,038	0,378	2275,188

Для утилизации шахтного метана предлагается установить 22 газопоршневые установки типа JMS 620 – GS – S.LS австрийской фирмы «Jenbacher». Установленная электрическая мощность одной установки составляет 3,035 МВт, а тепловая – 2,63 Гкал/ч. На Восточной промплощадке шахты будут размещены 12 установок, на Яковлевской – 8 установок и на Григорьевской – 2 установки.

Получение электрической и тепловой энергии от газопоршневых установок по мере их размещения на промплощадках шахты и ввода их в эксплуатацию, а также количества наработанных моточасов по годам приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Потребление метана и выработка тепловой и электрической энергий по годам

Показатели \ Годы	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Количество моточасов, тыс. ч	12,0	79,5	140,0	176,0	176,0	176,0	176,0	176,0
Утилизируемый метан, млн. м ³	7,9	52,3	92,1	115,8	115,8	115,8	115,8	115,8
Выработанная электроэнергия, млн. кВт·ч	36,42	241,83	424,90	534,16	534,16	534,16	534,16	534,16
Выработанная тепловая энергия, тыс. Гкал	31,6	209,1	368,2	462,9	462,9	462,9	462,9	462,9

При создании автономных шахтных энергетических комплексов имеет место косвенный экологический эффект, обусловленный уменьшением количества сжигаемого угля на тепловых электростанциях. Принимаем, что на замещаемых тепловых электростанциях установлены угольные котельные агрегаты,

сжигающие низкокалорийный энергетический уголь. Элементный состав сжигаемого угля (на рабочее состояние): углерод – 63,63 %; водород – 3,85 %; (азот + кислород) – 5,30 %; сера – 0,51 %; зола – 20,21 %; влажность – 6,5 %. Низшая теплота сгорания рабочей массы сжигаемого угля составляет $Q_i' = 21,3$ МДж/кг.

Расчет выбросов вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при сжигании энергетического угля на замещаемых электростанциях, удобнее производить, используя удельные показатели выбросов, приведенные к 1 МВт·ч выработанной электроэнергии. Средний расход условного топлива для выработки электроэнергии на тепловых электростанциях Украины составляет 0,4 т на 1 МВт·ч [6], что в пересчете для данного угля составляет 0,55 т угля на 1 МВт·ч. Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании вышеуказанного угля на замещаемых электростанциях определяются как: оксид азота – 0,00294 т; сернистый ангидрид – 0,00536 т; оксид углерода – 0,00013 т; углекислый газ – 1,28480 т; пыль (твердые частицы) – 0,00136 т.

Сокращение выбросов вредных веществ на замещаемых тепловых электростанциях по мере ввода в эксплуатацию газопоршневых установок и увеличения выработки собственной электроэнергии приведено в таблице 4.

Таблица 4 - Сокращение выбросов вредных веществ на замещаемых тепловых электростанциях

Годы	Снижение выбросов					
	NO_x	SO_2	CO	CO_2	Пыль	Всего
2005	107,074	165,211	4,734	46792,4	49,531	47148,950
2006	710,980	1296,209	31,438	310703,2	328,889	313070,716
2007	1249,206	2277,464	55,237	545911,5	577,864	550071,271
2008 – 2012	1570,430	2863,097	69,441	686288,8	726,457	691518,225

В 2007 году наряду с теплотрассой на Центральную промплощадку шахты будут проведены теплотрассы для подачи тепла от шахтного энергокомплекса к городским муниципальным котельным кварталов №№ 225, 287, 518 и Ионина. Это даст возможность реализовать излишки тепловой энергии на нужды города. В IV квартале 2007 года может быть реализовано 48,095 тыс. Гкал тепла. Начиная с 2008 года и далее, ежегодно может быть реализовано 139,98 тыс. Гкал тепловой энергии.

На замещаемых городских муниципальных котельных установлены газовые котлы, сжигающие природный газ. Расчет выбросов вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при сжигании природного газа на замещаемых городских котельных произведем, используя удельные показатели выбросов, приведенные к 1 Гкал выработанной тепловой энергии. Для выработки 1 Гкал тепла на котельных необходимо расходовать $140,5 \text{ м}^3$ природного газа. Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании указанного количества природного газа определяются как: оксид азота – 0,001 т; оксид углерода – 0,00008 т; углекислый газ – 0,273 т; оксид диазота – 0,000005; метан – 0,00005 т.

Снижение выбросов вредных веществ на замещаемых тепловых городских муниципальных котельных по мере реализации тепловой энергии шахтного энергокомплекса на муниципальные нужды приведено в таблице 5.

Таблица 5 - Сокращение выбросов вредных веществ на замещаемых тепловых городских муниципальных котельных

Годы	Снижение выбросов					
	NO_x	CO	CO_2	N_2O	CH_4	Всего
2007	48,090	3,847	13128,6	0,000240	0,00240	13180,539
2008 – 2012	139,980	11,198	38214,5	0,000699	0,00699	38365,685

Устанавливаемые на промплощадках шахты, газопоршневые установки типа JMS 620 – GS – S.LS австрийской фирмы «Jenbacher», потребляют метано-воздушную смесь в пересчете на чистый метан с учетом запальной дозы в объеме 658 м³/ч.

Расчет выбросов вредных веществ, выделяющихся в атмосферу при работе газопоршневых установок, удобнее производить, используя удельные показатели выбросов, приведенные к 1 м³ утилизируемого метана. Удельные выбросы оксидов азота NO_x , оксида углерода CO и несгоревших углеводородов взяты по данным фирмы-изготовителя газопоршневых установок, а углекислого газа CO_2 и оксида азота N_2O рассчитаны по утвержденной методике [5]. Низшая теплота сгорания метана составляет $Q_i^r = 35,87$ МДж/м³, плотность метана, равна 0,7167 кг/м³. Значения удельных валовых выбросов при сжигании 1 м³ метана в газопоршневых установках определяются как: оксид азота – $0,5 \cdot 10^{-6}$ т; оксид углерода – $0,65 \cdot 10^{-6}$ т; углекислый газ – $1407,154 \cdot 10^{-6}$ т; оксид азота – $0,0026 \cdot 10^{-6}$; метан – $0,15 \cdot 10^{-6}$ т.

Объемы утилизируемого метана по годам приведены в таблице 3. Выбросы вредных веществ в атмосферу от газопоршневых установок по мере их размещения на промплощадках шахты им. А.Ф. Засядько и ввода в эксплуатацию приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбросы вредных веществ в атмосферу от газопоршневых установок по годам

Годы	Выбросы, т/г					
	NO_x	CO	CO_2	N_2O	CH_4	Всего
2005	3,948	5,132	11110,887	0,021	1,184	11121,172
2006	26,155	34,002	73609,633	0,136	7,847	73677,773
2007	46,060	59,878	129627,026	0,240	13,818	129747,022
2008-2012	57,904	75,275	162959,690	0,301	17,371	163110,541

Сокращение вредных выбросов от метана, предназначенного для утилизации в газопоршневых установках, рассчитанное через эквивалент выбросов углекислого газа CO_2 по отношению к метану CH_4 , равный 21, приведено в таблице 7.

Таблица 7 - Сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу за счет утилизации шахтного метана в ГПУ по годам

Годы	2005	2006	2007	2008 – 2012
Сокращение выбросов CO_2 , т/год	118990	788306	1388212	1745180

Суммарное снижение валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от всех вышерассмотренных источников выбросов при внедрении энергетического комплекса на угольном метане в условиях шахты им. А.Ф. Засядько приведено в таблице 8 (знак “ – “ свидетельствует об увеличении валовых выбросов вредных веществ).

Анализ таблицы показывает, что внедрение 22 газопоршневых установок по утилизации шахтного метана позволит с 2008 года за счет экономии угля, который ранее сжигался на шахтных котельных Центральной промплощадки, сократить вредные выбросы в атмосферу на 55,8 тыс. т в год. За счет вывода газовых котельных на Восточной и Яковлевской промплощадках, вредные выбросы в атмосферу сокращаются на 2,3 тыс. т в год. За счет собственной выработки электроэнергии и тепла при утилизации шахтного метана имеет место косвенный экологический эффект, обусловленный уменьшением на эту же величину выработки электроэнергии на тепловых электростанциях и тепла на городских котельных и соответствующим сокращением сжигаемого угля и природного газа, а, следовательно, и уменьшения вредных выбросов в атмосферу в размере 729,9 тыс. т в год. Суммарное сокращение вредных выбросов в атмосферу составит 788 тыс. т в год. Кроме того, внедрение газопоршневых установок позволит сократить выбросы углекислого газа CO_2 в атмосферу в размере 1,75 млн. т в год.

В результате внедрения шахтного когенерационного энергетического комплекса в условиях шахты им. А.Ф. Засядько может быть выработано 534,2 млн. кВт·ч электроэнергии и 462,9 тыс. Гкал тепла для энергетического самообеспечения шахты, что позволит получить ежегодную прибыль в размере 96,6 млн. грн. При этом также будет сэкономлено 20,26 тыс. т угля (3,92 млн. грн) и 1143,3 тыс. м³ природного газа (381,3 млн. грн.). Кроме того, может быть получена предполагаемая прибыль от продажи квот на вредные выбросы в атмосферу. Как следует из таблицы 7, при утилизации 115,95 млн. м³ имеет место сокращение эмиссии углекислого газа CO_2 в атмосферу в количестве 1745,18 тыс. т в год. В соответствии с рядом договоренностей на мировом уровне предусмотрены жесткие штрафные санкции за увеличение объемов выбросов в атмосферу метана и других вредных газов. Утилизация шахтного метана позволит не только избежать штрафных санкций, но и получить возможность улучшить финансовое положение угледобывающих предприятий за счет продажи квот от уменьшения вредных выбросов в соответствии с Киотским соглашением, которое недавно было ратифицировано Украиной.

Полученные результаты в равной степени могут быть отнесены и к другим угледобывающим предприятиям, на которых имеются благоприятные условия для сокращения вредных выбросов в атмосферу путем переработки шахтного

Таблица 8 - Суммарное снижение валовых выбросов вредных веществ в атмосферу

Источник выбросов	Снижение выбросов, т/г							Всего
	NO_x	SO_2	CO	CO_2	Пыль	N_2O	CH_4	
2005 год								
От закрытия угольных котельных	–	–	–	–	–	–	–	–
От закрытия газовых котельных	1,891	–	0,214	756,152	–	0,013	0,126	758,396
На замещаемых электростанциях	107,074	195,211	4,734	46792,400	49,531	–	–	47148,950
На замещаемых городских котельных	–	–	–	–	–	–	–	–
От метана, предназначенного для утилизации	–	–	–	118990,000	–	–	–	118990,0
От газопоршневых установок	-3,948	–	-5,132	-11110,887	–	-0,021	-1,184	-11121,172
Всего:	105,017	195,211	-0,184	155427,665	49,531	-0,008	-1,058	155776,174
2006 год								
От закрытия угольных котельных	–	–	–	–	–	–	–	–
От закрытия газовых котельных	3,782	–	0,428	1512,304	–	0,026	0,252	1516,792
На замещаемых электростанциях	710,980	1296,209	31,438	310703,200	328,889	–	–	313070,716
На замещаемых городских котельных	–	–	–	–	–	–	–	–
От метана, предназначенного для утилизации	–	–	–	788306,000	–	–	–	788306
От газопоршневых установок	-26,155	–	-34,002	-73609,633	–	-0,136	-7,847	-73677,773
Всего:	688,607	1296,209	-2,136	1026911,871	328,889	-0,110	-7,595	1029215,735

Продолжение таблицы 8

Источник выбросов	Снижение выбросов, т/г							
	NO_x	SO_2	CO	CO_2	Пыль	N_2O	CH_4	Всего
2007 год								
От закрытия угольных котельных	48,038	304,496	27,656	20928,839	125,589	–	–	21434,618
От закрытия газовых котельных	5,673	–	0,642	2268,457	–	0,038	0,378	2275,188
На замещаемых электростанциях	1249,206	2277,464	55,237	545911,500	577,864	–	–	550071,271
На замещаемых городских котельных	48,090	–	3,847	13128,600	–	0,000240	0,00240	13180,539
От метана, предназначенного для утилизации	–	–	–	1388212,000	–	–	–	1388212,000
От газопоршневых установок	-46,060	–	-59,878	-129627,026	–	-0,240	-13,818	-129747,022
Всего:	1304,947	2581,96	27,504	1840822,370	703,453	-0,202	-13,438	1845426,594
2008 – 2012 годы								
От закрытия угольных котельных	125,099	792,959	72,080	54502,183	327,302	–	–	55819,623
От закрытия газовых котельных	5,673	–	0,642	2268,457	–	0,038	0,378	2275,188
На замещаемых электростанциях	1570,430	2863,097	69,441	686288,800	726,457	–	–	691518,225
На замещаемых городских котельных	139,980	–	11,198	38214,500	–	0,000699	0,00699	38365,685
От метана, предназначенного для утилизации	–	–	–	1745180,000	–	–	–	1745180,000
От газопоршневых установок	-57,904	–	-75,275	-162959,690	–	-0,301	-17,371	-163110,541
Всего:	1783,278	3656,056	78,086	2363494,25	1053,759	-0,262	-16,986	2370048,180

метана в тепловую и электрическую энергии, а также за счет вывода в резерв шахтных угольных котельных.

Это позволит существенным образом разрешить экологические, экономические и социальные проблемы шахтерских регионов Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чемерис И.Ф. Технично-економические аспекты работы шахтных энергетических комплексов // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 1999. – Вып. 15. – С. 55 – 61.
2. Звягильский Е.Л., Бокий Б.В. Утилизация шахтного метана – путь решения проблем выбросов метана в атмосферу. Горная геология, геотехника и маркшейдерия. Сб. научн. докладов. – Донецк, 2004. – часть I, С. 220 – 228.
3. Булат А. Ф., Чемерис И.Ф., Перепелица В.Г., Подтуркин Д.Г. Когенерационные технологии – прогрессивный путь решения проблем энергопотребления и энергосбережения в промышленных регионах Украины. // Энергозберігаючі технології та автоматизація: Держкоменергозбереження України. - Київ, 2002. - № 2 (26). – С. 44 – 46.
4. А. Ф. Булат, И. Ф. Чемерис. К проблеме энерготехнологической переработки метана угольных месторождений. // Уголь Украины. – 2002. – № 5, С. 6 – 9.
5. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок / Методика определения: Министерство топлива и энергетики Украины. Объединение энергетических предприятий «Отраслевой резервно-инвестиционный фонд развития энергетики». – Киев, 2002. – 44 с.
6. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; відпов. ред. Шидловський А.К. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.