

к специальной штанге, а другой – механизм вращения и перемещения става штанг, установленных на буровом станке. Включением механизмов вращения и перемещения става штанг рабочий орган за корпус 1, вращая, перемещают по направлению к горной породе. Породоразрушающие инструменты 5, вступив в контакт с горной породой, с усилием перемещаются по вогнутой спирали Архимеда с заданным шагом, чем достигается непрерывное разрушение породы с формированием забоя тороидальной формы.

Вывод. Предложения по дальнейшему усовершенствованию сводятся к следующему: роторно-планетарный рабочий орган комбайна для расширения скважин должен иметь механизм вращения роторов вокруг своих осей в виде карданных валов, соединяющих оси роторов и имеющих регулируемые муфты для ориентации роторов относительно друг друга, а породоразрушающие инструменты, в виде цилиндрических шарошек, должны быть установлены по окружности роторов под углом к их плоскости, обеспечивающим за один оборот рабочего органа сдвиг каждого на шаг разрушения горной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент США № 3917009, кл. США 175/53, 175/334, кл. СССР Е 21С 23/00, 1975.
2. Авторское свидетельство СССР № 182643, кл. Е 21 В 13/04, 1963. Бюл. № 17.
3. Авторское свидетельство СССР № 1099039, кл. Е 21 В 7/28, 1984. Бюл. № 23.

УДК [662.411.332:661.92]:662.76.032.003.13

И.Ф. Чемерис

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

На основі розробленого алгоритму розрахунку схем утилізації шахтного метану виконано аналіз впливу концентрації метаноповітряного струменя на вироблення електроенергії і тепла, а також прибуток когенераційного енергетичного модуля. Показано, що найбільш ефективним шляхом стабілізації роботи є подача по каналу повітряного дуття енергетичного модуля метаноповітряного струменя, який збагачений метаном до припустимої концентрації.

THE RESEARCH OF INFLUENCE CONCENTRATION METANE OF AN AIR MIX ON PARAMETERS OF WORK COGENERATION POWER MODULES

On the basis of the developed algorithm calculation scheme utilization of mine metane the analysis of influence concentration metane an air jet on production the electric power and heat, and also profit cogeneration power module is executed. It is shown, that the most effective way stabilization of work is submission on the channel of air blasting the power module metane the air jet enriched with metane up to allowable concentration.

Утилизация шахтного метана в когенерационных энергетических модулях с целью получения тепловой и электрической энергий для самообеспечения угледобывающих предприятий является актуальной задачей, однако в настоящее время утилизируется лишь около 4 % каптируемого метана [1, 2]. Одной из причин

низкой эффективности использования шахтного метана в Донбассе является то, что более половины дегазационных установок выдают на поверхность метановоздушные смеси (МВС), содержание метана в которых менее 30 %. Кроме того, наблюдаются существенные колебания в концентрации и дебите МВС, обусловленные как технологическими причинами, связанными с изменением добычи угля, так и плохим состоянием систем сбора и транспортирования метана. Все это приводит либо к остановке энергетического модуля, либо к снижению его выходных электрической, а, соответственно, и тепловой мощностей. Дадим оценку степени влияния концентрации шахтного метана на технико-экономические показатели работы энергетического модуля и проанализируем возможные пути уменьшения этого влияния.

Экономико-математическая модель энергетического модуля на базе когенерационной газопоршневой установки имеет вид:

$$P_{эмi} = P_{эi} \cdot t_{э} \cdot \left(T_{э} - \frac{P_{эH}}{P_{эi}} \cdot c_{эH} \right) + P_{Ti} \cdot t_T \cdot c_T - Q_{пгi} \cdot c_{пг}, \quad (1)$$

где $P_{эмi}$ - годовая прибыль, получаемая от реализации тепловой и электрической энергий, вырабатываемых энергетическим модулем, грн.; $P_{эH}$ - номинальное значение электрической мощности, вырабатываемой энергетическим модулем, кВт; $P_{эi}$ - текущее значение электрической мощности, вырабатываемой энергетическим модулем, кВт; P_{Ti} - текущее значение тепловой мощности, вырабатываемой энергетическим модулем, Гкал/ч; $t_{э}$, t_T - соответственно время отпуска электрической и тепловой мощности, ч; $T_{э}$, $c_{эH}$ - тариф и себестоимость электроэнергии, вырабатываемой энергетическим модулем, грн/кВт·ч; c_T - себестоимость тепловой энергии, вырабатываемой шахтной котельной, грн/Гкал; $Q_{пгi}$ - годовой расход природного газа, м³; $c_{пг}$ - удельная стоимость природного газа, грн./1000 м³.

Условием максимального использования установленной мощности энергетического модуля является постоянство электрической и тепловой мощностей $P_{э} = P_{эH} = \text{const}$ и $P_T = P_{TH} = \text{const}$ при переменной концентрации метана в метановоздушной смеси по каналу основного топлива $k_2 = \text{var}$. Выполнение этого условия наиболее рационально реализовывать обогащением воздушного дутья метановоздушной смесью до допустимой концентрации $k_1 = 0,025$, а также дополнительным обогащением, при необходимости, метановоздушной смеси, подаваемой в газопоршневую установку в качестве основного топлива, природным газом до минимальной концентрации метана k_2 .

На рис. 1 приведена обобщенная технологическая схема установки для сжигания шахтного метана в энергетических модулях.

Часть шахтной вентиляционной струи $Q_{вс}$ с концентрацией метана k_3 или атмосферный воздух ($k_3 = 0$) поступает на газоприготовительную станцию ГПС-1, на второй вход которой подается часть метановоздушной струи от вакуумнасосной станции $Q_{мвс1}$ с концентрацией метана k_4 . На выходе ГПС-1 формируется метановоздушная смесь с расходом Q_1 и предельно допустимой концентрацией метана $k_1 \leq 0,025$, которая используется в качестве воздушного дутья энергетиче-

ского объекта. Часть метановоздушной струи от вакуум-насосной станции $Q_{\text{мвс}2}$ с концентрацией метана k_5 поступает на газоприготовительную станцию ГПС-2, на второй вход которой подается природный газ с расходом $Q_{\text{пг}}$ и концентрацией k_6 для обогащения подаваемой в качестве основного топлива метановоздушной смеси с расходом Q_2 до минимальной концентрации $k_2 \geq 0,3$.

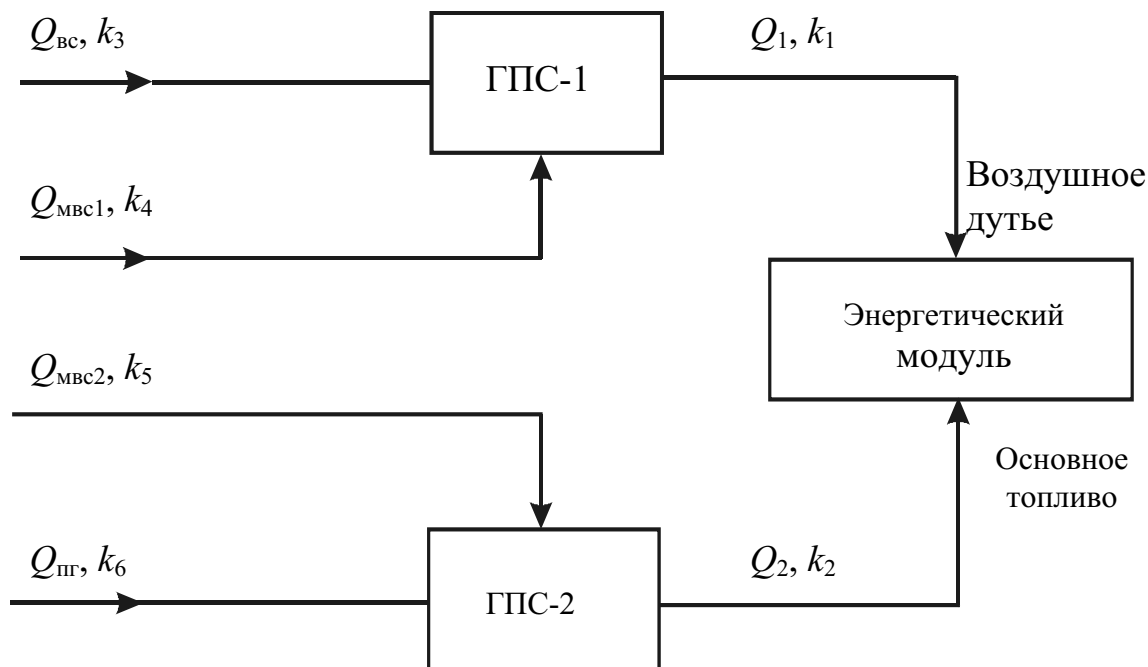


Рис. 1 – Технологическая схема установки для сжигания шахтного метана в энергетических модулях

При этом мощность на выходе энергетического объекта

$$P = P_{\text{вд}} + P_{\text{от}} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) Q_{\text{нг}}^{\text{п}} \eta_{\text{э}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{вд}} = Q_1 k_1 Q_{\text{нг}}^{\text{п}} \eta_{\text{э}}$ – мощность, реализуемая по каналу воздушного дутья; $P_{\text{от}} = Q_2 k_2 Q_{\text{нг}}^{\text{п}} \eta_{\text{э}}$ – мощность, реализуемая по каналу основного топлива; Q_1 и k_1 – объем и концентрация метановоздушной смеси по каналу воздушного дутья; Q_2 и k_2 – объем и концентрация метановоздушной смеси по каналу основного топлива; $\eta_{\text{э}}$ – к. п. д. энергетического объекта; $Q_{\text{нг}}^{\text{п}}$ – низшая теплота сгорания газообразного топлива, определяемая по формуле

$$Q_{\text{нг}}^{\text{п}} = 0,01 \left[Q_{\text{H}_2\text{S}} H_2\text{S} + Q_{\text{CO}} \text{CO} + Q_{\text{H}_2} H_2 + \sum (Q_{\text{C}_m\text{H}_n} C_m H_n) \right],$$

где $Q_{\text{H}_2\text{S}}$, Q_{CO} и т.д. – теплота сгорания отдельных составляющих, входящих в состав газообразного топлива.

Теоретический объем воздуха, необходимого для сжигания метана в энергетическом объекте, определяется как

$$V^0 = V_r^0(Q_1 k_1 + Q_2 k_2), \quad (3)$$

где V_r^0 – удельный объемный расход воздуха для сжигания газообразного топлива, определяемый по формуле

$$V_r^0 = 0,0476 \left[\sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n + 0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S - O_2 \right]. \quad (4)$$

Подставляя (3) в (2) получим

$$V^0 = \frac{PV_r^0}{Q_{\text{нр}}^p \eta_s}. \quad (5)$$

Зависимость (5) позволяет при заданной мощности P определить теоретический объем воздуха, подаваемого в энергетический объект.

На основании систем балансовых уравнений по расходу метановоздушных смесей и метана для узлов схемы рис.1 определим значения Q_1 , Q_2 , $Q_{\text{нр}}$

$$Q_1 = V^0 \frac{k_2(\alpha V_r^0 + 1) - 1}{V_r^0(k_2 - k_1)}, \quad (6)$$

$$Q_2 = V^0 \frac{\alpha - \frac{[k_2(\alpha V_r^0 + 1) - 1](1 - k_1)}{V_r^0(k_2 - k_1)}}{1 - k_2}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{нр}} = Q_2 \frac{k_2 - k_5}{k_6 - k_5} = Q_2 \frac{k_2 - k_5}{1 - k_5}, \quad (8)$$

где $\alpha = 1,7 - 2,2$ – коэффициент избытка воздуха, представляющий для газопоршневых установок отношение фактически поданного воздуха для сжигания топлива к количеству воздуха, необходимого для стехиометрической смеси. В энергетических модулях в виде паровых котлов в топку подается количество воздуха, определяемое из стехиометрических соотношений, т.е. коэффициент избытка воздуха на входе в топку равен 1,0. Для котельных понятие коэффициент избытка воздуха $\alpha_{\text{уг}}$ относится к соотношению объема газов, уходящих в дымовую трубу, к объему воздуха, поданного в топку котла. Этот избыток обусловлен присосами наружного воздуха как в топку, так и по каналу дымовых газов и определяется конструктивными особенностями упомянутых устройств.

Полученные зависимости (2) – (8) являются основой для оценки влияния концентраций метана k_1 и k_2 в метановоздушных смесях, поступающих на входы га-

зопоршневой установки, на экономические показатели энергетического модуля по переработке метана в тепловую и электрическую энергии.

Одним из актуальных вопросов при создании энергетических модулей на базе газопоршневых установок является прогнозирование изменения выходных параметров установок (электрической и тепловой мощностей), как реакции на изменение концентрации метана по каналу основного топлива, определение допустимого диапазона изменения этой концентрации и технико-экономическое обоснование путей стабилизации выходных параметров энергетических модулей. Одним из наиболее перспективных путей решения этой актуальной проблемы является использование в качестве воздушного дутья метановоздушной смеси с допустимой концентрацией метана k_1 . Отдельные аспекты этой проблемы рассматривались в работах [3-5]. Зарубежные фирмы (“Caterpillar”, “Deutz” и др.) гарантируют сохранение выходной мощности газопоршневых установок до концентрации $k_2 = 0,4$. При значениях $k_2 < 0,4$ предполагается снижение выходной мощности газопоршневой установки. Зависимости электрической мощности на выходе газопоршневой установки от концентрации метана k_2 по каналу основного топлива представлены на рис. 2.

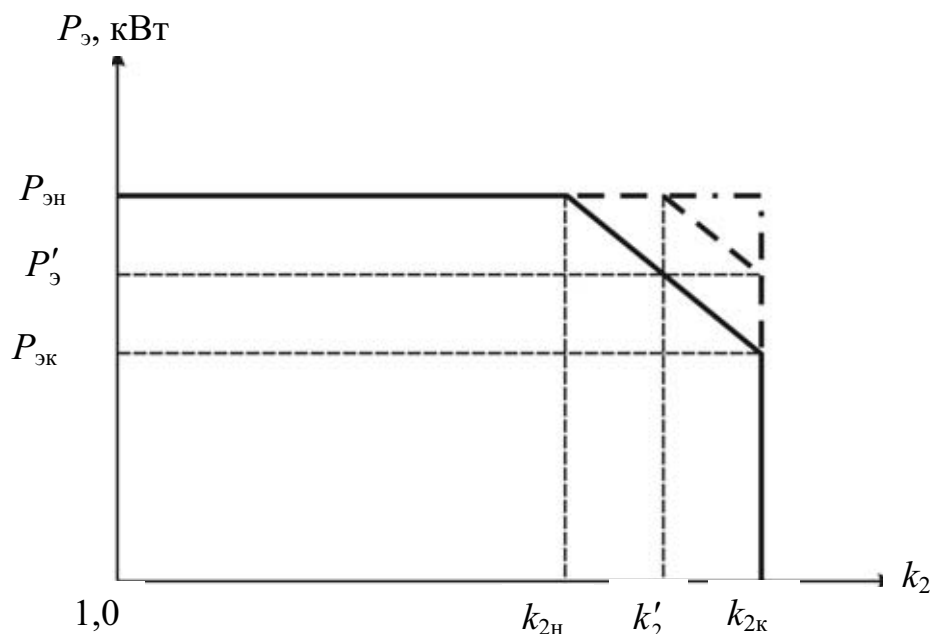


Рис. 2 – Зависимости электрической мощности на выходе газопоршневой установки от концентрации метана k_2

На рис. 2 обозначено: $k_{2н}$ - начальное значение концентрации метана k_2 , при котором еще обеспечивается номинальная электрическая мощность установки $P_{эН}$; $k_{2к}$ - конечное минимально допустимое значение концентрации метана k_2 , при котором мощность газопоршневой установки уменьшается до значения $P_{эк}$; k'_2 - значения минимальной концентрации метана k_2 , при котором за счет обогащения метаном воздушного дутья обеспечивается номинальная мощность газопоршневой установки; $P'_э$ - минимальная мощность газопоршневой установки при совместной подачи метановоздушной смеси как по каналу воздушного дутья, так и по каналу основного топлива.

Текущее значение электрической мощности на выходе газопоршневой установки от концентрации метана k_2 определится как

$$P_{\text{э}} = P_{\text{эН}} - \frac{P_{\text{эН}} - P_{\text{ЭК}}}{k_{2\text{Н}} - k_{2\text{К}}} \cdot (k_{2\text{Н}} - k_2) = P_{\text{эН}} - K_{\text{э}} \cdot (k_{2\text{Н}} - k_2) \quad (9)$$

Ввиду того, что тепловая мощность меняется пропорционально электрической, определение зависимости тепловой мощности $P_{\text{Т}}$ от k_2 осуществляется по формуле (9) путем замены $P_{\text{э}}$ и $P_{\text{эН}}$ на $P_{\text{Т}}$ и $P_{\text{ТН}}$.

Рассмотрим четыре основных режима работы газопоршневой установки:

Концентрация метана в метановоздушной смеси, подаваемой по каналу основного топлива, изменяется от $k_{2\text{Н}}$ до $k_{2\text{К}}$; воздух, поступающий в установку Q_1 , не содержит метана ($k_1 = 0$); подача природного газа отсутствует.

Уравнение экономико-математической модели в данном случае запишется в виде:

$$P_{\text{эм}i} = P_{\text{э}i} \cdot t_{\text{э}} \cdot \left(T_{\text{э}} - \frac{P_{\text{эН}}}{P_{\text{э}i}} \cdot c_{\text{эН}} \right) + P_{\text{Т}i} \cdot t_{\text{Т}} \cdot c_{\text{Т}}. \quad (10)$$

Значения $P_{\text{э}}(k_2)$ и $P_{\text{Т}}(k_2)$ определяются по зависимости (9). Затем по формуле (5) определяется значения V^0 , а по формулам (6) и (7) определяются значения расходов по каналам воздушного дутья Q_1 и основного топлива Q_2 . Значения остальных величин, входящих в формулу (10), являются константами для конкретного энергетического объекта.

Концентрация метана в метановоздушной смеси, подаваемой по каналу основного топлива, изменяется от $k_{2\text{Н}}$ до $k_{2\text{К}}$; воздух, поступающий в установку Q_1 , не содержит метана ($k_1 = 0$); при $k_{2\text{К}} \leq k_2 < k_{2\text{Н}}$ потери мощности компенсируются подачей природного газа.

Уравнение экономико-математической модели в данном случае имеет вид (1). По формуле (5) определяется значения V^0 , а по формулам (6) и (7) определяются значения расходов по каналам воздушного дутья Q_1 и основного топлива Q_2 . Исходя из условия постоянства электрической и тепловой мощностей при изменении концентрации метана в метановоздушной смеси, дополнительный расход природного газа определяется по зависимости (8) с заменой k_2 на $k_{2\text{Н}}$. При этом коэффициент k_4 изменяется в пределах $k_{2\text{Н}} \geq k_4 \geq k_{2\text{К}}$.

Концентрация метана в метановоздушной смеси, подаваемой по каналу основного топлива, изменяется от $k_{2\text{Н}}$ до $k_{2\text{К}}$; воздух, поступающий в установку Q_1 , содержит допустимую концентрацию метана ($k_1 = 0,025$); подача природного газа отсутствует.

Уравнение экономико-математической модели в данном случае имеет вид (10). По формуле (5) определяется значения V^0 , а по формулам (6) и (7) определяются значения расходов по каналам воздушного дутья Q_1 и основного топлива Q_2 . Подача по каналу воздушного дутья метановоздушной смеси с концентрацией мета-

на $k_1 = 0,025$ обеспечивает постоянство электрической и тепловой мощностей при концентрации метана в метановоздушной смеси по каналу основного топлива, равной k'_2 . Значение k'_2 находится в пределах $k_{2к} \leq k'_2 < k_{2н}$ и определяется из условия равенства мощности, выделяемой при сжигании метана, поступающего по каналу воздушного дутья, потерям электрической и тепловой мощностей при значениях $k_2 < k_{2н}$ по каналу основного топлива. Данное условие запишется как

$$Q_1 \cdot k_1 \cdot Q_{нт} \cdot \eta_э = K_э \cdot (k_{2н} - k_2) \quad (11)$$

Подставляя в (11) выражение (6) и разрешая полученное уравнение относительно k_2 , получим

$$k'_2 = -\frac{R}{2} + \sqrt{\frac{R^2}{4} - \left(k_1 \cdot k_{2н} - \frac{P_{энт} \cdot k_1}{K_э} \right)} \quad (12)$$

где

$$R = \frac{P_{энт} \cdot k_1 (\alpha V_{г^0} + 1)}{K_э} - k_{2н} - k_1$$

Концентрация метана в метановоздушной смеси, подаваемой по каналу основного топлива, изменяется от $k_{2н}$ до $k_{2к}$; воздух, поступающий в установку Q_1 , содержит допустимую концентрацию метана ($k_1 = 0,025$); подача природного газа осуществляется при $k_2 > k'_2$.

Уравнение экономико-математической модели в данном случае имеет вид (1). По формуле (5) определяется значения V^0 , а по формулам (6) и (7) определяются значения расходов по каналам воздушного дутья Q_1 и основного топлива Q_2 . Подача по каналу воздушного дутья метановоздушной смеси с концентрацией метана $k_1 = 0,025$ обеспечивает постоянство электрической и тепловой мощностей при концентрации метана в метановоздушной смеси по каналу основного топлива, равной k'_2 , определяемого по формуле (12).

Сравнение вышеупомянутых четырех основных режимов работы газопоршневой установки осуществим по величине годовой прибыли $\Pi_{эм}$, получаемой от реализации тепловой и электрической энергий, вырабатываемых энергетическим модулем при изменении концентрации метановоздушной смеси k_2 по каналу основного топлива.

Исходные данные для расчета: $P_{энт} = 4000$ кВт; $P_{экт} = 2800$ кВт; $P_{тнт} = 3,73$ Гкал/ч; $P_{ткт} = 2,61$ Гкал/ч; $t_э = t_т = 8000$ ч.; $t_т = 4400$ ч.; $T_э = 0,15$ грн/кВт·ч; $c_т = 67,2$ грн/Гкал; $c_{энт} = 0,05$ грн/кВт·ч; $c_т = 318$ грн/1000м³; $V^0 = 9534,4$ м³/ч; $V_{г^0} = 9,73$ м³/м³; $Q_{пт}^p = 8500$ ккал/м³; $\eta_э = 0,414$; $\alpha = 1,7$; $K_э = 6000$ кВт; $K_т = 5,6$ Гкал.

На рис. 3 приведены значения годовой прибыли $\Pi_{эм}$ для четырех вышерассмотренных режимов, номера которых указаны на рисунке.

Из анализа рис. 3 следует, что наиболее эффективной является работа газо-

поршневой установки при наличии в воздухе Q_1 по каналу воздушного дутья метана с допустимой концентрацией $k_1 = 0,025$. При этом обеспечивается постоянство электрической и тепловой энергии при снижении концентрации метана в метановоздушной смеси по каналу основного топлива до значения $k'_2 = 0,26$.

При дальнейшем уменьшении k_2 до значения $k_2 = 0,2$ из двух режимов, с компенсацией концентрации метана по каналу основного топлива природным газом и без компенсации, предпочтительным по экономическим показателям является вариант с компенсацией, обеспечивающий при $k_2 = 0,2$ получение годовой прибыли 3,95 млн. грн. против 3,77 млн. грн при работе без компенсации концентрации метана при $k_2 < k'_2$ (режимы 3 и 4).

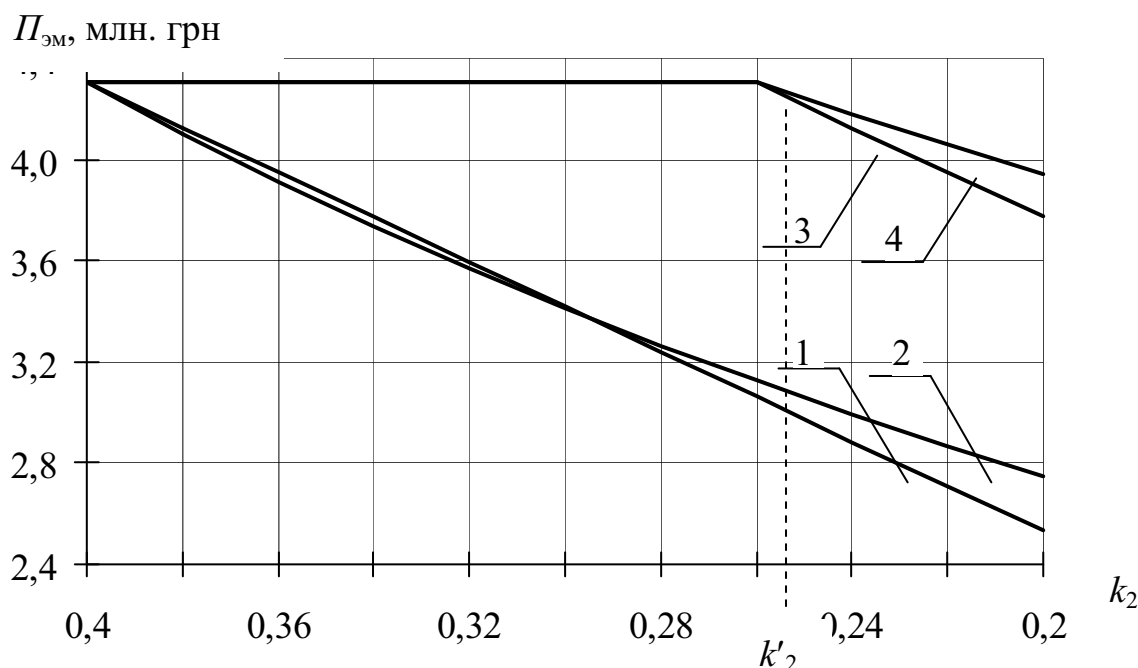


Рис. 3 – Годовая прибыль $P_{эм}$, при работе энергетическим модулем при изменении концентрации метановоздушной смеси k_2 по каналу основного топлива при четырех основных режимах работы газопоршневой установки

При отсутствии в воздушном дутье шахтного метана экономические показатели газопоршневой установки резко ухудшаются, обеспечивая при работе без компенсации природным газом получение прибыли 2,5 млн. грн. против 2,75 млн. грн. при работе с компенсацией природным газом (режимы 1 и 2).

Полученные результаты показывают существенное влияние подачи метана с допустимой концентрацией в воздушном дутье на экономические показатели энергетического модуля на базе газопоршневой установки. В предельном случае при $k_2 = 0,2$ использование воздушного дутья с концентрацией метана $k_1 = 0,025$ позволяет поднять прибыль энергетического модуля с 2,75 млн. грн. (режим с $k_1 = 0$) до 3,95 млн. грн. или на 43,6 %.

Зависимости относительной разности в прибылях энергетического модуля $\Delta P_{эм}^{\partial}$ при работе с отсутствием метана в воздушном дутье и с компенсацией кон-

центрации метана по каналу основного топлива природным газом и без нее от времени теплового потребления t_T и тарифа на электроэнергию T_3 определены по формуле

$$\Delta\Pi_{\text{эм}}^{\partial} = \frac{(k_{2n} - k_2)[K_3 \cdot t_3(T_3 - c_3) + K_T \cdot t_T \cdot c_T] - Q_{\text{пг}} \cdot c_{\text{пг}}}{\Pi_{\text{эмн}}} \quad (13)$$

Анализ зависимости (13) показывает, что как при увеличении времени теплового потребления t_T , так и при увеличении тарифа на электроэнергию относительная разность в прибылях энергетического модуля увеличивается при уменьшении k_2 от $k_{2н} = 0,4$ до $k_{2к} = 0,2$. Максимальное значение $\Delta\Pi_{\text{эм}}$ достигается при $t_T = 8000$ часов и $T_3 = 0,25$ грн/кВт·ч и составляет около 1,4 млн. грн. или 33 % от $\Pi_{\text{эмн}} = 4,3$ млн. грн.

На рис. 4 приведены зависимости допустимой концентрации метана k'_2 по каналу основного топлива от концентрации метана k_1 в воздушном дутье при различных коэффициентах избытка воздуха, рассчитанные по формуле (12).

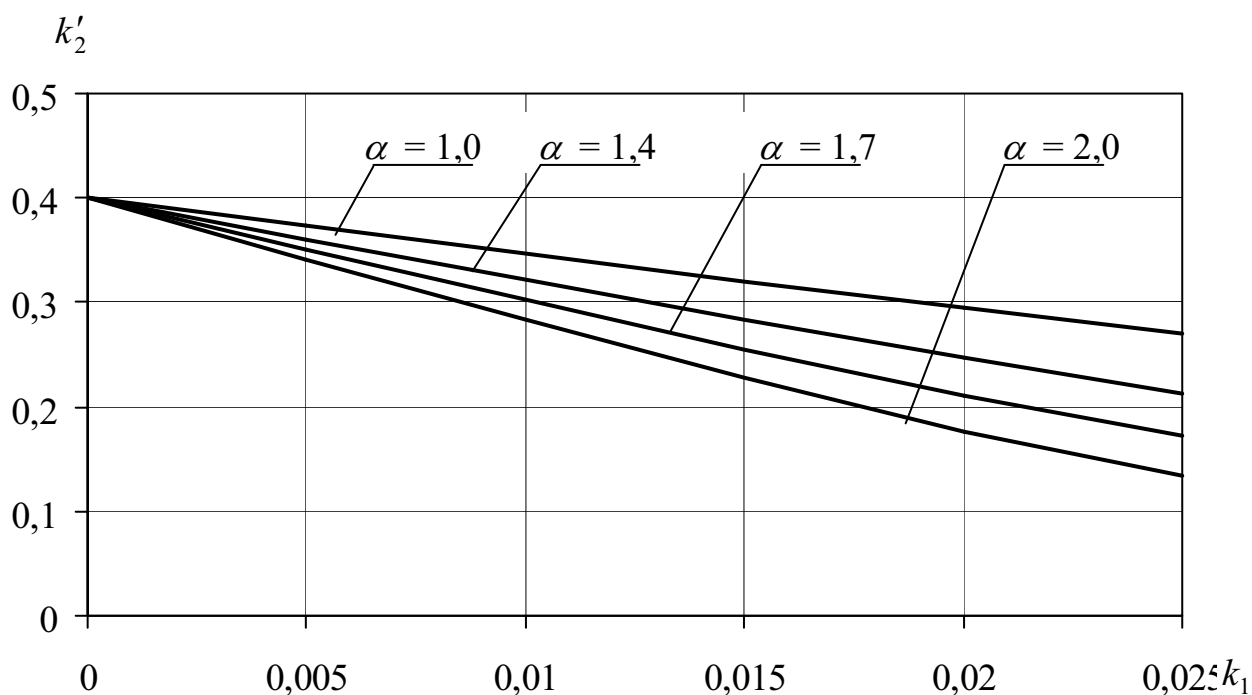


Рис. 4 – Зависимости допустимой концентрации метана k'_2 по каналу основного топлива от концентрации метана k_1 в воздушном дутье при различных коэффициентах избытка воздуха (1 - $\alpha = 1,0$; 2 - $\alpha = 1,4$; 3 - $\alpha = 1,7$; 4 - $\alpha = 2,0$)

Анализ рис. 4 показывает, что допустимая концентрация метана k'_2 , при которой обеспечивается постоянство электрической и тепловой мощностей, генерируемых энергетическим модулем, уменьшается с увеличением концентрации метана k_1 по каналу воздушного дутья, причем интенсивность уменьшения k'_2 возрастает с увеличением коэффициента избытка воздуха α . Так при $k_{2н} = 0,4$,

$k_1 = 0,025$ и $\alpha = 1$ значение k_2' составляет 0,27, а при тех же значениях $k_{2н}$ и k_1 и значении $\alpha = 1,7$ значение k_2' составляет 0,17. При этом обеспечивается постоянство электрической и тепловой мощностей, генерируемых энергетическим модулем, во всем диапазоне допустимых колебаний концентрации метана по каналу основного топлива k_2 .

Из анализа зависимостей (6) и (7) следует, что при увеличении концентрации метана k_1 расход метановоздушной смеси по каналу воздушного дутья Q_1 незначительно возрастает (6 – 8 %), в то время как расход метановоздушной смеси по каналу основного топлива Q_2 уменьшается, причем степень уменьшения Q_2 возрастает с увеличением коэффициента избытка воздуха α . Так при $k_1 = 0,025$ и $\alpha = 1$ уменьшение Q_2 составляет 21,95 %, а при $\alpha = 1,7$, характерного для газопоршневых установок, уменьшение Q_2 составляет 40,11 % от его значения при $k_1 = 0$. Полученные результаты свидетельствуют о высокой технико-экономической эффективности обогащения метановоздушной смеси с допустимой концентрацией метана k_1 по каналу воздушного дутья, что приводит при $k_2 = k_{2н} = \text{const}$ к уменьшению расхода высококонцентрированной метановоздушной смеси, а при $k_2' \leq k_2 \leq k_{2н}$ к обеспечению постоянства электрической и тепловой мощностей, генерируемых энергетическим модулем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис. К проблеме энерготехнологической переработки метана угольных месторождений. // Уголь Украины. – 2002. – № 5, С. 6-9.
2. А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис. Направления энерготехнологической переработки метана угольных месторождений. // Геотехническая механика. Межведомств. сб. научн. трудов, вып. 32. 2002. – С. 67-74.
3. В.Г. Лаврик. Повышение эффективности использования попутного шахтного метана. // Известия ВУЗов. Горный журнал, 1996. – № 1. – С. 71-74.
4. Е.А. Ельчанинов. О промышленном использовании метана действующих и закрываемых шахт. // Уголь, 1997. – № 9. – С. 49-52.
5. В.И. Серов. Электроэнергетика угольной промышленности. // Уголь, 1992. – № 12. – С. 53-58.