

УДК 622.014.02

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИИ В РАМКАХ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Сухорукова А. Ю., студент гр. ГПс-171, V курс

Научный руководитель: Филимонов К. А., к.т.н., доцент кафедры РМПИ

Кузбасский государственный технический университет

имени Т. Ф. Горбачева

г. Кемерово

Определение нагрузки на забой по газовому фактору является областью научных изысканий на протяжении многих лет. Основные объекты таких исследований – относительная метанообильность и абсолютное метановыделение в очистную выработку (на выемочный участок). Определение этих показателей составляет основу методик расчёта допустимой нагрузки на забой по газовому фактору. Результаты некоторых исследований второй половины XX века вошли в методики руководства [1], которое с 1989 года регламентирует расчёт допустимой нагрузки на забой по газовому фактору. В 2011 году был утверждён нормативный документ [2], регламентирующий проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок (ГОУ). В этой инструкции содержится методика определения допустимой нагрузки на забой по газовому фактору, которая, по сути, является модификацией методики из руководства [1] учитывающей особенности использования ГОУ. Методики определения относительной метанообильности и абсолютного метановыделения в инструкции [2] аналогичны руководству [1], есть лишь незначительные отличия.

Таким образом, результаты научных изысканий в области газового баланса выемочного участка и нагрузки на забой по газовому фактору практически не находят отражения в нормативных документах. Некоторые исследователи и горные инженеры считают, что методика руководства [1] давно устарела и сдерживает потенциал увеличения суточной добычи. С одной стороны, на многих шахтах именно газовый фактор ограничивает суточную добычу, поэтому производственникам выгодно появление новой методики, которая могла бы узаконить увеличение нагрузки по газовому фактору. С другой стороны, эта область нормативной базы одна из главных с точки зрения безопасности горных работ и поэтому должна быть в определённой степени консервативна. Последнее утверждение отражает политику федеральных органов РФ по горному законодательству в рассматриваемой области.

Цель исследования – увеличение эффективности горных работ при их проектировании в рамках нормативной базы по расчёту нагрузки на забой по газовому фактору. Для достижения этой цели необходимо:

- установить технологические параметры, входящие в нормативную методику [1];

– исследовать влияние технологических параметров на результат расчёта нагрузки на забой по газовому фактору;

– оценка эффективности горных работ при изменении технологических параметров.

Под технологическими параметрами понимаются элементы исследуемой методики, для которых при проектировании может быть задано то или иное значение в рамках технологических возможностей (параметры, определяемые технологией).

Вначале исследования отдельно следует озвучить рассматриваемую область применения нормативной методики [1]. Одна из главных критикуемых характеристик этой методики – указанная в руководстве скорость подвигания очистного забоя не более 6 м/сут. На некоторых шахтах это значение уже давно превышается. Поэтому есть мнение, что существует нормативный «тупик»: планирование горных работ с большей скоростью не предусмотрено действующим руководством. По нашему мнению для исследования технологических возможностей в рамках нормативной методики это ограничение может не учитываться. Основу расчёта составляет определение относительной метанообильности q_p и пропускной способности очистной выработки по воздуху Q_p . В инструкции [2], не содержащей ограничений по скорости подвигания забоя, определение этих параметров практически полностью соответствует руководству [1]. Поэтому считаем в рамках данного исследования допустимым использование нормативной методики [1] для скоростей подвигания больших, чем 6 м/сут.

Методика определения допустимой нагрузки на забой по газовому фактору [1] имеет следующие основные элементы (ф. 1...13):

$$l_t = 0,5l_3 + l_{ct}, \quad (1); \quad T_t = \sum_{i=1}^{n_B} \frac{l_{ti}}{60V_{kti}}, \quad (2); \quad k_1 = 1 - a_2 T_t^{b2}, \quad (3);$$

$$k_{w.a} = 0,01(100 - w - A_3), \quad (4); \quad n = a_1 V_{oq} \left[0,002(27 - V^{daf})^2 + 1 \right], \quad (5);$$

$$x = x_r \cdot k_{w.a}, \quad (6); \quad x_1 = x[1 - k \exp(-n)]k_1, \quad (7); \quad k_{pl} = \frac{l_3 \pm 2B_{3,d}}{l_3}, \quad (8);$$

$$q'_{v.pl} = (q_{c.pl} + q_{por})(1 - k_{d.cpl}) + q_{c.h}(1 - k_{d.c.h}) + k_{e.o.}(x - x_o)(1 - k_{d.pl}), \quad (9);$$

$$q'_{pl} = k_{pl}(x - x_1), \quad (10); \quad q_p = q_{y.ch.p} = q'_{pl}(1 - k_{d.pl})k_{y.v.} + k_{y.v.} \cdot q'_{v.pl}, \quad (11);$$

$$A_p = l_3 \cdot m_v \cdot \gamma \cdot V_{oq} \cdot c, \quad (12); \quad A_{cp} = \left(\frac{q_p \cdot A_p}{1440} \right)^{-1,67} \cdot \left(\frac{Q_p}{194} \right)^{1,93} A_p, \quad (13).$$

На начальном этапе исследования рассматривается схема проветривания 1 типа 1М-Н-в-вт. Поэтому в качестве параметра q_p используется относительная метанообильность выемочного участка $q_{y.ch.p}$.

Расшифровка элементов ф. 1...13 представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Элементы методики расчёта допустимой нагрузки на забой
по газовому фактору по руководству [1]**

№	Обозначение	Наименование
1	a_1	коэффициент, зависящий от угольного бассейна
2	a_2	коэффициент, характеризующий газоотдачу из отбитого угля
3	A_3	зольность угля, %
4	b_2	коэффициент, характеризующий газоотдачу из отбитого угля
5	B_{3d}	ширина условного пояса газового дренирования угольного массива через поверхности обнажения пласта в подготовительных выработках, м
6	k	коэффициент, зависящий от угольного бассейна
7	$m (m_B)$	мощность (вынимаемая мощность) пласта, м
8	V^{daf}	выход летучих веществ, %
9	W	пластовая влажность угля, %
10	x_T	природная метаноносность пласта, $\text{м}^3/\text{т с. б. м.}$
11	$x_{\text{ог}}$	остаточная метаноносность угля, $\text{м}^3/\text{т с. б. м.}$
12	γ	плотность угля, $\text{т}/\text{м}^3$
13	c	коэффициент извлечения угля в очистном забое
14	$k_{\text{д.пл.}}$	коэффициент, учитывающий эффективность дегазации разрабатываемого пласта, доли единицы
15	$k_{\text{д.сн.}}$	коэффициент, учитывающий эффективность дегазации надрабатываемых сближенных угольных пластов и вмещающих пород, доли единицы
16	$k_{\text{д.сп.}}$	коэффициент, учитывающий эффективность дегазации подрабатываемых сближенных угольных пластов и вмещающих пород, доли единицы
17	$k_{y.B}$	коэффициент, учитывающий условия выемки пласта и направление движения воздуха по лаве
18	$k_{\text{з.п.}}$	коэффициент, учитывающий метановыделение из эксплуатационных потерь угля в пределах выемочного участка
19	l_3	длина очистного забоя, м
20	$l_{\text{ст}}$	длина выемочного столба, м
21	V_{kti}	скорость движения угля на i -м конвейере выемочного участка, $\text{м}/\text{с}$
22	$V_{\text{оч}}$	скорость подвигания очистного забоя, $\text{м}/\text{сут}$
23	k_1	коэффициент, учитывающий остаточную газоотдачу угля
24	$k_{w.a.}$	коэффициент пересчёта метаноносности пласта
25	$k_{\text{пл}}$	коэффициент, учитывающий влияние системы разработки на метановыделение из пласта
26	l_{ti}	длина i -го конвейера на выемочном участке, м
27	n	показатель, характеризующий газоотдачу пласта через обнаженную поверхность очистного забоя
28	$q'_{\text{вп}}$	относительное метановыделение из выработанного пространства в пределах выемочного участка с учетом эффективности дегазации, $\text{м}^3/\text{т}$
29	$q'_{\text{пл}}$	относительное метановыделение из разрабатываемого пласта в очистной выработке, $\text{м}^3/\text{т}$

Продолжение табл. 1

№	Обозначение	Наименование
30	$q_{\text{пор}}$	относительное метановыделение из вмещающих пород, м ³ /т
31	$q_{\text{сн}}$	относительное метановыделение из надрабатываемого пласта, м ³ /т
32	$q_{\text{сп}}$	относительное метановыделение из подрабатываемого пласта, м ³ /т
33	$q_{\text{уч.р}}$	относительная метанообильность выемочного участка, м ³ /т
34	Q_p	параметр, характеризующий пропускную способность очистной выработки по воздуху, м ³ /мин
35	T_t	время транспортирования угля по выемочному участку, мин
36	x	природная метаноносность пласта, м ³ /т
37	x_1	остаточная метаноносность угля при выдаче его за пределы выемочного участка, м ³ /т
38	x_0	остаточная метаноносность угля, м ³ /т
39	A_p	предполагаемая суточная добыча очистного забоя, т
40	$A_{\text{ср.г}}$	максимально допустимая нагрузка на очистной забой по газовому фактору, т

Анализ методики показывает, что 40 элементов, представленных в табл. 1 могут быть сгруппированы следующим образом:

- 12 являются исходными данными природного характера (№ 1...12);
- 10 – технологическими параметрами (№ 13...22);
- 15 – промежуточными расчётными величинами (№ 23...38);
- 2 – основными результатами расчёта (№ 39 и 40).

Для упрощения восприятия материала методика представлена в не полностью развернутом виде. В частности не приводятся алгоритмы определения значений $q_{\text{сн}}$, $q_{\text{сп}}$ и $q_{\text{пор}}$. Поэтому полный перечень исходных данных природного характера несколько шире.

Поскольку выемка пласта не на полную мощность является скорее исключением в рамках данного исследования считается, что значение m_e равно m и поэтому представлено в исходных данных природного характера.

Таким образом, в части решения первой задачи исследования установлено, что в нормативной методике руководства [1] присутствует 10 технологических параметров, влияющих на значение допустимой нагрузки на забой по газовому фактору. Исследование влияния каждого из них хотя бы по отдельности, не говоря уже о взаимоувязке, является объёмной задачей, выходящей за рамки одной публикации. Поэтому решение этой задачи будет выполняться в несколько этапов.

На первом этапе было выполнено исследование влияния двух технологических параметров, являющимися важнейшими параметрами очистных работ – длины очистного забоя l_3 и скорости его подвигания $V_{\text{оч}}$. Анализ методики показывает, что значения l_3 и $V_{\text{оч}}$ учитываются при определении важнейшего элемента расчёта – относительной метанообильности выемочного участка $q_{\text{уч.р}}$.

Длина очистного забоя l_3 изначально учитывается при расчёте коэффициента $k_{\text{пл}}$ (ф.8) и далее отражается ещё в двух формулах (ф. 10, 11). Установлено, что при увеличении l_3 значение $q_{\text{уч.р}}$ увеличивается, что снижает допустимую нагрузку на забой по газовому фактору $A_{\text{ср г}}$. По сути, коэффициент $k_{\text{пл}}$ учитывает ширину условного пояса газового дренирования угольного массива через поверхности обнажения пласта в подготовительных выработках. При длине очистного забоя более 200 м значение этого коэффициента близко к единице. Изменение этого коэффициента по мере изменения длины очистного забоя l_3 минимально, а значит минимально его влияние на значение $q_{\text{уч.р}}$.

Скорость $V_{\text{оч}}$ изначально учитывается при определении показателя n , характеризующий газоотдачу пласта через обнажённую поверхность очистного забоя (ф. 5), а далее влияние $V_{\text{оч}}$ отражается ещё в трёх формулах (ф. 7, 10, 11). Установлено, что при увеличении $V_{\text{оч}}$ значение $q_{\text{уч.р}}$ снижается, что увеличивает допустимую нагрузку на забой по газовому фактору $A_{\text{ср г}}$.

Оба исследуемых технологических параметра присутствуют в ф. (12), по которой классическим путём определяется один из результатов расчёта – предполагаемая суточная добыча A_p . Согласно руководству [1] подставляемое в ф. (13) значение A_p и результат расчёта, т. е. значение $A_{\text{ср г}}$, должны отличаться не более чем на 3 %. Для конкретных условий существует узкий диапазон значений A_p , при которых указанное выше условие выполняется. Условно можно считать, что это одно конкретное значение ($A_p \approx A_{\text{ср г}}$).

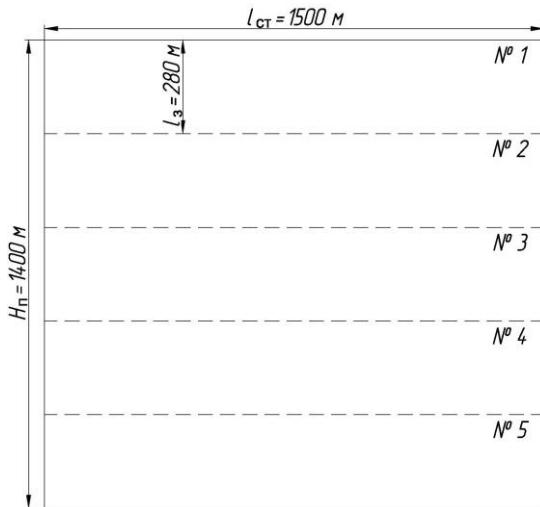
Из пяти элементов ф. (12) по сути, только два ($V_{\text{оч}}$ и l_3) являются варьируемыми параметрами, с помощью которых может быть получено требуемое конкретное значение A_p . Поэтому, исходя из установленного выше влияния технологических параметров $V_{\text{оч}}$ и l_3 на значение $q_{\text{уч.р}}$, очевидно, что добыча A_p и, соответственно нагрузка $A_{\text{ср г}}$ может быть увеличена относительно некоторого исходного значения путём уменьшения длины очистного забоя l_3 и увеличения скорости его подвигания $V_{\text{оч}}$.

Для оценки эффективности горных работ при изменении технологических параметров $V_{\text{оч}}$ и l_3 были выполнены расчёты по представленной выше нормативной методике для двух вариантов проектирования горных работ. Рассмотрены выемочные панели с размером по падению $H_{\text{п}} = 1400$ м и длиной выемочных столбов $l_{\text{ст}} = 1500$ м. Значения A_p определялись для целого числа выемочных циклов в сутки. Это необходимо для корректной оценки влияния скорости подвигания забоя.

Расчёты выполнены для системы разработки длинными столбами по простирианию с сохранением конвейерного штрека для повторного использования. За базовый (Б) принят вариант с длиной забоя $l_3 = 280$ м, в панели будет 5 выемочных столбов (рис. 1). При принятых исходных данных A_p будет не более чем 4445 т в сутки (6 выемочных циклов, $V_{\text{оч}} = 4,8$ м/сут).

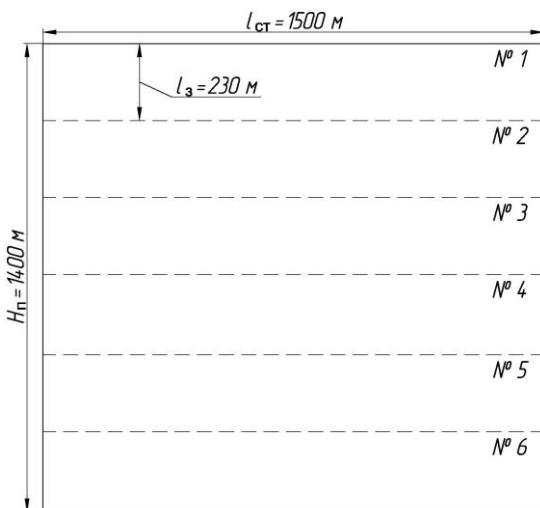
В альтернативном варианте (A) значение l_3 уменьшено до 230 м, количество выемочных столбов будет 6 (рис. 2). При такой длине лавы максимальное значение A_p составит 4869 т в сутки (8 выемочных циклов, $V_{\text{оч}} = 6,4$ м/сут). За счёт увеличения скорости подвигания на 2 цикла в сутки

при снижении длины лавы на 50 м произошло уменьшение относительной метанообильности на 8,7 % (с 4,87 до 4,48 м³/т). Это позволяет повысить максимально допустимую нагрузку на забой по газовому фактору, а, следовательно, и предполагаемую добычу с учётом целого числа циклов.



a_1	0,21	$k_{\text{д.пл.}}$	0	n	1,07
a_2	0,115	$k_{\text{д.сн.}}$	0,0	$q'_{\text{вп}}$	4,48
A_3	17	$k_{\text{д.сп.}}$	0,0	$q'_{\text{пл}}$	4,38
b_2	0,25	$k_{y.B}$	0,55	$q_{\text{пор}}$	0,0
$B_{\text{з.д.}}$	5	$k_{\text{э.п.}}$	0,1	$q_{\text{сн}}$	3,7
k	1	l_3	280	$q_{\text{сп}}$	0,0
m_B	2,5	$l_{\text{ст}}$	1500	$q_{\text{уч.р}}$	4,87
V_{daf}	21,5	$V_{\text{кти}}$	2	T_t	13,7
W	5	$V_{\text{оч}}$	4,8	x	9,36
x_{Γ}	12	k_1	0,78	x_1	4,8
$x_{\text{ог}}$	2	$k_{w.a.}$	0,78	x_o	1,56
γ	1,35	$k_{\text{пл}}$	0,96	A_p	4445
c	0,98	Σl_{ti}	1640	$A_{\text{ср.г}}$	4490

Рис. 1. Раскройка панели и результаты расчёта базового (Б) варианта



a_1	0,21	$k_{\text{д.пл.}}$	0	n	1,43
a_2	0,115	$k_{\text{д.сн.}}$	0,0	$q'_{\text{вп}}$	4,48
A_3	17	$k_{\text{д.сп.}}$	0,0	$q'_{\text{пл}}$	3,66
b_2	0,25	$k_{y.B}$	0,55	$q_{\text{пор}}$	0,0
$B_{\text{з.д.}}$	5	$k_{\text{э.п.}}$	0,1	$q_{\text{сн}}$	3,7
k	1	l_3	230	$q_{\text{сп}}$	0,0
m_B	2,5	$l_{\text{ст}}$	1500	$q_{\text{уч.р}}$	4,48
V_{daf}	21,5	$V_{\text{кти}}$	2	T_t	13,5
W	5	$V_{\text{оч}}$	6,4	x	9,36
x_{Γ}	12	k_1	0,78	x_1	5,55
$x_{\text{ог}}$	2	$k_{w.a.}$	0,78	x_o	1,56
γ	1,35	$k_{\text{пл}}$	0,96	A_p	4869
c	0,98	Σl_{ti}	1615	$A_{\text{ср.г}}$	4856

Рис. 2. Раскройка панели и результаты расчёта альтернативного (А) варианта

Обоснованная выше возможность увеличения суточной добычи, является преимуществом альтернативного варианта. Само по себе увеличение незначительное – 9,5 % (424 т), что менее добычи с одного выемочного цикла даже при длине очистного забоя 230 м. Дальнейшая оценка эффективности горных работ показала, что основное преимущество альтернативного варианта заключается в достижении приблизительно такой же, как и в базовом варианте, добычи при меньшей длине лавы и большей скорости подвигания.

Результаты оценки эффективности приведены в табл. 2. В расчётах использованы участковые себестоимости добычи 1 т и проведения 1 м выработки, приблизительно рассчитанные по четырём элементам затрат (заработка плата, электроэнергия, материалы, амортизация оборудования).

Таблица 2

Оценка эффективности вариантов B и A

Показатель			Единицы измерения	Вариант B	Вариант A	Δ ($A - B$)
Проведение штреков	количество	—	6	7	1	
	общая длина	м	9000	10500	1500	
	себестоимость 1 м	руб.	0,03	0,03	0	
	общая стоимость	млн руб.	270	315	45	
Перемонтаж очистного комплекса	количество	—	4	5	1	
	продолжительность одного	сут	13,6	12,6	-1	
	общая продолжительность	сут	54,4	63,0	8,6	
	стоимость 1 сут перемонтажа	млн руб.	0,26	0,25	-0,01	
	общая стоимость перемонтажей	млн руб.	14,1	15,8	1,7	
Продолжительность отработки панели			мес.	51,2	46,1	-5,1
Себестоимость добычи угля	1 т	руб.	277,24	252,90	-24,34	
	в годовом выражении	млн руб.	431,3	431,0	-0,3	
	за отработку панели	млн руб.	1840,2	1655,8	-184,4	
Общая себестоимость по оценив. показателям			млн руб.	2124,3	1986,6	-137,7

Анализ результатов оценки показывает, что эффективность альтернативного варианта выше за счет меньшей себестоимость добычи. При снижении длины лавы на 18 % и увеличении суточной добычи забоя на 9,5 % происходит снижение себестоимости добычи 1 т угля на 9,6 %. Это достигается из-за большей добычи, осуществляющейся с меньшими затратами, в первую очередь по амортизационным отчислениям. Дополнительные затраты на проведение одного выемочного штрека и один перемонтаж очистного комплекса примерно в 4 раза меньше экономического эффекта от добычи каждой тонны угля с меньшей себестоимостью. Отработка панели по альтернативному варианту произойдет на 5,1 мес быстрее при меньшей на 137,7 млн руб. общей себестоимости по оцениваемым показателям.

В качестве возможного пути увеличения максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору, как правило, рассматривается проведение дегазации. В табл. 3 представлены результаты расчёта базового варианта при выполнении пластовой дегазации B_d , а в табл. 4 – его сравнительная оценка с альтернативным вариантом A . В расчёте заложено увеличение себестоимости добычи 1 т из-за применения дегазации на 10 %.

Таблица 3

Результаты расчёта для варианта B_d

a_1	a_2	A_3	b_2	B_{3d}	k	m_B	V^{daf}	W	x_g	x_{og}	γ	c
0,21	0,115	17	0,025	5	1	2,5	21,5	5	12	2	1,35	0,98
$k_{d,pl}$	$k_{d,sn}$	$k_{d,sp}$	$k_{y,b}$	$k_{\varphi,p}$	l_3	l_{ct}	V_{kti}	V_{oq}	k_1	$k_{w,a}$	k_{pl}	Σl_{ti}
0,2	0	0	0,55	0,1	280	1500	2	5,6	0,78	0,78	0,96	1640
n	q'_{vp}	q'_{pl}	q_{por}	q_{sn}	q_{sp}	$q_{uch,p}$	T_t	x	x_1	x_o	A_p	$A_{ep,g}$
1,18	4,32	4,13	0	3,7	0	4,19	13,7	9,36	5,06	1,56	5186	5206

Таблица 4

Оценка эффективности вариантов B_d и A

Показатель		Единицы измерения	Вариант B_d	Вариант A	Δ ($A - B_d$)
Проведение штреков	количество	—	6	7	1
	общая длина	м	9000	10500	1500
	себестоимость 1 м	руб.	0,03	0,03	0
	общая стоимость	млн руб.	270	315	45
Перемонтаж очистного комплекса	количество	—	4	5	1
	продолжительность одного	сут	13,6	12,6	-1
	общая продолжительность	сут	54,4	63,0	8,6
	стоимость 1 сут перемонтажа	млн руб.	0,26	0,25	-0,01
	общая стоимость перемонтажей	млн руб.	14,1	15,8	1,7
Продолжительность отработки панели		мес.	43,9	46,1	2,2
Себестоимость добычи угля	1 т	руб.	284,91	252,90	-32,01
	в годовом выражении	млн руб.	517,1	431,0	-86,1
	за отработку панели	млн руб.	1891,7	1655,8	-235,9
Общая стоимость по оцениваемым показателям		млн руб.	2175,8	1986,6	-189,2

Применение в базовом варианте дегазации пласта восстающими параллельно-одиночными скважинами с $k_{д,пл} = 0,2$ позволяет при неизменной длине очистного забоя в 280 м производить на один выемочный цикл больше. В полученном варианте B_d будет наибольшая суточная добыча в 5186 т. Но это не делает вариант B_d более эффективным. Вариант с дегазацией уступает не только варианту A , но и базовому варианту B (себестоимость отработки панели больше на 51,5 млн руб). Единственное преимущество варианта B_d – меньший на 7,3 месяца срок отработки панели по сравнению с вариантом B нивелируется необходимостью более раннего начала подготовительных работ из-за дегазации.

Проведённое исследование показывает, что изменение технологических параметров в рамках нормативной методики расчёта максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору [1] может значительно повысить эффективность горных работ. Установленный эффект от достижения некоторого значения суточной добычи меньшим по длине очистным комплексом при большей скорости его подвигания проецируется и на планирование горных работ при отсутствии ограничения добычи по газовому фактору.

Список литературы

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / колл. авт. – Макеевка-Донбасс, 1989. – 320 с. – Текст : непосредственный.
2. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок (утв. приказом № 680 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2011). – Текст : непосредственный.