

УДК 622.831

В.К. Костенко¹, Н.Н. Зинченко¹, В.С. Бригида², С. Салехирадж¹

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ШПУРОВОЙ РАЗГРУЗКИ УСТЬЕВ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН

¹Донецкий национальный технический университет

²Донецкий научно-исследовательский угольный институт

Найдена функция влияния технологических параметров разгрузочного бурения на напряжения, возникающие на контуре дегазационной скважины.

О существовании резервов для повышения эффективности подземной дегазации написано во многих работах [1-3]. Общий дебит метана на всех шахтах Украины, разрабатывающих высокогазоносные угольные пласты, составляет 1 млрд. м³/год, при этом системам дегазации отводится менее 30%. Этого явно недостаточно для обеспечения нормального аэрогазового режима на добычных участках при повышении нагрузки на очистные забои.

В результате сдвижения кровли и зависания породных консолей в выработанном пространстве может возникнуть угроза для устойчивости дегазационной скважины. Рост концентрации напряжений во вмещающем скважину углепородном массиве и интенсификация деформаций стенок, обусловленные попаданием устья скважины в зону динамического опорного давления, начинают проявляться с 40 м впереди лавы [4-6]. Одним из наиболее распространенных способов борьбы с этими явлениями является использование разгрузочных скважин [7-8]. Поэтому обоснование параметров шпуровой разгрузки, обеспечивающих устойчивость подземных скважин, является важной научно-технической задачей для повышения безопасности ведения горных работ.

При решении задачи об определении влияния расстояния между осью скважины и осями шпуров, диаметра и количества шпуров на напряженное состояние контура дегазационной скважины методом конечных элементов использовалась теория Мизису-Генки. Необходимо было найти связь между средним значением эквивалентных напряжений на контуре скважины ($k'_\sigma(A-E)$) и параметрами бурения шпуров (рис. 1) – $k'_\sigma(A-E)=f(R_{ш.}; L; N)$, где N – количество концентрично пробуренных шпуров, шт; $R_{ш.}$ – относительный радиус шпура $r_{ш}/r_c$; L – относительная ширина перемычки δ/r_c .

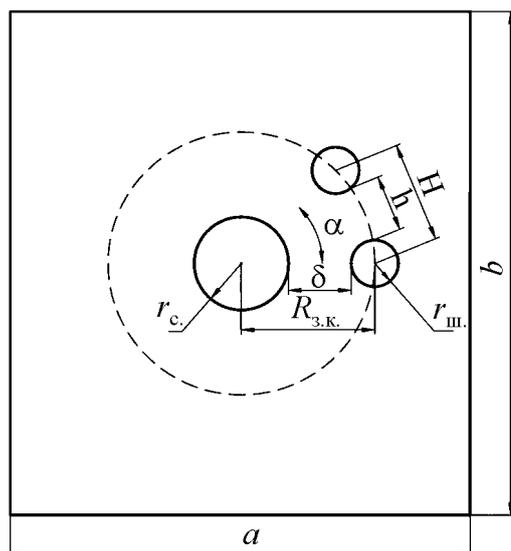


Рис. 1. Основные параметры концентричного бурения шпуров: r_c – радиус скважины; $r_{ш}$ – радиус шпура; α – угол между осями соседних шпуров; δ – ширина перемычки; $R_{з.к.}$ – расстояние между осью скважины и осями шпуров; h – минимальное расстояние между контурами шпуров; H – расстояние между осями шпуров; a – ширина пластины; b – длина пластины

Для обеспечения разгрузки принято, что значение $k'_\sigma(A-E)$ должно быть меньше величины напряжений неразгруженного массива k'_σ не менее чем на 10% ($\leq 1,83$ – условное ограничение №1). В связи с исследованиями [9] о влиянии ширины перемычки на величину напряжений было внесено ограничение №2: $1 \geq \delta/r_{ш} \geq 0,2$.

Для оптимизации моделирования было проведено технико-экономическое обоснование выбора основных параметров бурения. Главным фактором, принятым во внимание, было отношение общего объема разгрузочного бурения шпуров ($Q_{ш.}$) к объему работ по бурению дегазационной скважины (Q_c). Принималось, что $Q_{ш.}$ не должно превышать 40% от Q_c . (условное ограничение №3). Значения объемов бурения для всех вариантов моделирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Объемы бурения для всех вариантов модели, %

Кол-во шпуров N	$R_{ш} = r_{ш}/r_{скв}$				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25
6	6	12	18	24	30
7	7	14	21	28	35
8	8	16	24	32	40
9	9	18	27	36	45
10	10	20	30	40	50
11	11	22	33	44	55
12	12	24	36	48	60

Темно-серым цветом окрашены ячейки, в которых варианты модели не удовлетворяют ограничению №3, светло-серым – ограничение №2 и белым – ограничение №1. Выделенные жирным шрифтом значения объемов бурения определяют наиболее рациональные варианты моделирования, удовлетворяющие предъявленным выше ограничениям. Результаты расчета коэффициентов концентрации эквивалентных напряжений при рациональных вариантах моделирования (см. таблицу 1) сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Величина $k'_\sigma(A-E)$ при постоянном значении относительного радиуса шпура $R_{ш.} = 0,6$ и разных L и N

$L = \delta/r_c$	Количество шпуров N , шт.			
	9	10	11	12
0,5	1,945			
0,6	1,952	1,691		
0,9	1,978	1,853	1,675	
1	1,981	1,866	1,73	1,5
1,1	1,988	1,883	1,761	1,594
1,2		1,896	1,794	1,654
1,3		1,9	1,822	1,714
1,4			1,838	1,753
1,5			1,87	1,801
1,6			1,885	1,817
1,7				1,832

Дальнейшие исследования были сконцентрированы на создании поверхностей (трехмерная постановка), отражающих взаимное влияние L и N на $k'_\sigma(A-E)$ при различной величине $R_{ш.}$. Они позволят разработать алгоритм выбора основных технологических параметров бурения разгружающих шпуров, обеспечивающих управление устойчивостью приконтурного массива горных пород, вмещающих дегазационную скважину.

Цель работы – исследование способа шпуровой разгрузки дегазационных скважин для обоснования его основных технологических параметров.

Основная задача исследования – получение поверхности функции, описывающей влияние основных технологических параметров разгрузочного бурения на напряжение на контуре дегазационной скважины. В общем виде методика выполнения работы подразумевает выполнение следующих основных этапов: по данным таблицы 2 производится построение первичной поверхности, выбирается алгоритм строгой интерполяции для оптимизации поверхности, производится расчет всех возможных вариантов аппроксимирующей функции и их ранжирование по уровню коэффициента детерминации, выбирается оптимальная функция.

Результаты исследования. При использовании данных таблицы 2 в качестве первичной информации о поверхности динамики эквивалентных напряжений на контуре скважины очевидно, что количество точек явно недостаточное для качественного построения проекции поверхности динамики на ось XY. Для уточнения такой неполной выборки необходимо применить современные методы точной трехмерной интерполяции.

На практике используют не более 4 типов процедур оптимизации (алгоритмов строгой интерполяции): Akima, Preusser, Renka, Watson. Выбор процедуры производится исходя из коэффициента детерминации так, чтобы проекция (на ось XY) оптимизированной поверхности совпадала с проекцией первичной поверхности. Алгоритм строгой интерполяции – специальные программы, создающие линии поверхности, которые точно проходят через исходные точки, при этом сглаживание данных не происходит. Наиболее удовлетворительные результаты дало использование алгоритма «Watson» (рис. 2), в котором для интерполяции используется процедура круглой арельной основы.

В отличие от треугольников Delaunay, где может быть больше одного способа определения треугольников данных, естественные соседние круги формируют единственное расположение. Основной алгоритм с нулевого натяжения (C_0 interpolant) лучше всего можно сравнить с тугим резиновым листом, соединяющим все точки.

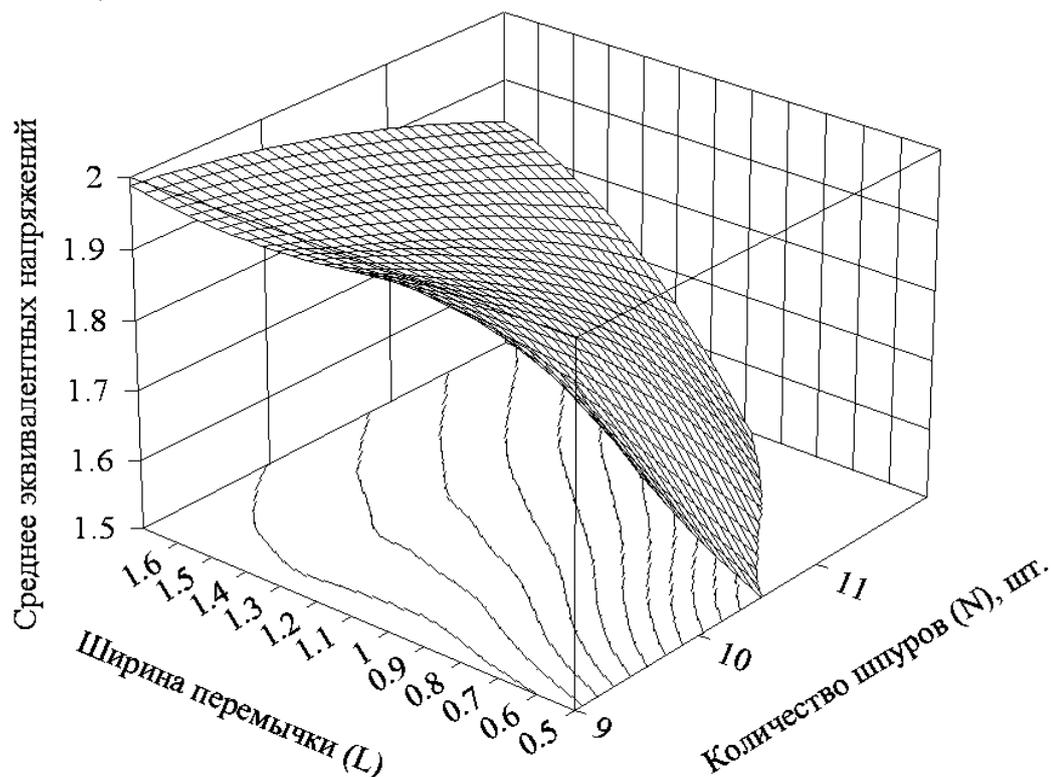


Рис. 2. Оптимизированная по алгоритму «Watson» поверхность динамики $k'_\sigma(A-E)$ от L и N при относительном радиусе шпура = 0,6

В этом случае интерполяция происходит по типу C1 – всюду, кроме узловых данных, где существуют разрывы. C1 (единожды непрерывно дифференцируемый) интерполяция начнет производиться, когда будет установлено одно или больше значений натяжения. В этом случае информация о градиенте используется для того, чтобы сгладить разрывы в узлах [10].

При дальнейшем расчете было найдено 416 возможных вариантов, аппроксимирующих функции оптимизированной поверхности, которые имеют различные значения коэффициентов детерминации (r_{\max}^2 - доля дисперсии зависимой переменной). Его рассматривают как универсальную меру связи одной случайной величины от множества других (чем ближе ее значение к единице, тем она более достоверно отражает исходную функцию). Итоговый вид функции, наиболее точно отражающей зависимость $k'_\sigma(A-E)$ от L и N, представлен на рис. 3.

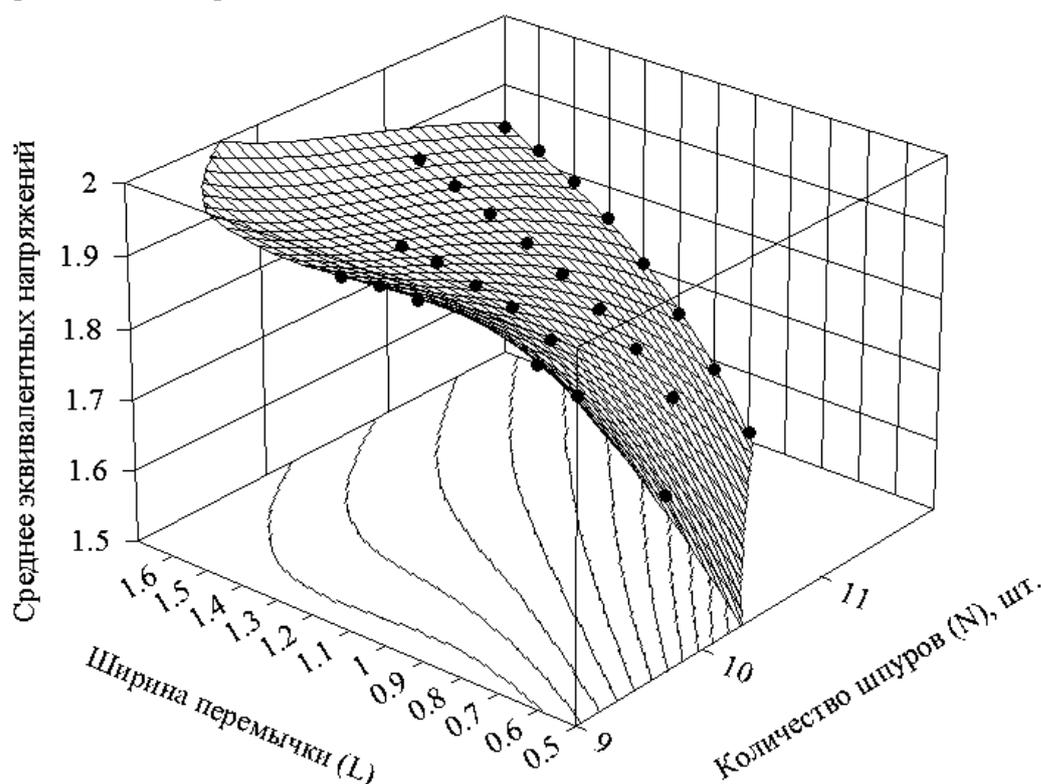


Рис. 3. Итоговый вид функции оптимизированной поверхности с обозначенными точками исходных данных табл. 1

В результате проведенных исследований была впервые найдена аналитическая зависимость величины концентрации эквивалентных напряжений на контуре дегазационной скважины от относительной ширины перемычки и количества шпуров при относительном радиусе шпура 0,6. Эта зависимость имеет логарифмический вид (ее коэффициенты представлены в табл. 3):

$$k'_\sigma(A - E) = a + b \ln N + cL + d(\ln N)^2 + eL^2 + fL \ln N + g(\ln N)^2 + hL^3 + iL^2 \ln N + jL(\ln N)^2.$$

r^2 Coef Det DF Adj r^2 Std Error F-value
 0,9984630203 0,9975024081 0,0058990686 1227,0726576

Здесь r^2 Coef Det – коэффициент детерминации; DF Adj r^2 – приспособленный коэффициент смешанной корреляции; Std Error – среднеквадратическая ошибка.

Таблица 3

Значение коэффициентов и точность итоговой функции

Parm.	Std Error	t-value	95.00%	Confidence Limits	P> t
1	3	4	5	6	7
a	28,08379	3,42015	36,79929	155,30252	0,00326
b	37,20001	-3,46795	-207,49292	-50,52259	0,00294
c	7,69775	1,89448	-1,65763	30,82404	0,07530
d	16,59618	3,69265	26,26901	96,29875	0,00181
e	1,46509	3,63532	2,23500	8,41714	0,00205
f	7,80113	-2,51652	-36,09067	-3,17277	0,02218
g	2,50140	-4,03221	-15,36365	-4,80867	0,00086
h	0,11704	4,32336	0,25906	0,75291	0,00046
i	0,77154	-4,07387	-4,77096	-1,51534	0,00079
j	1,99043	3,13702	2,04459	10,44349	0,00601

Здесь Parm – наименование коэффициентов уравнения; Std Error – среднеквадратическая ошибка; t-value – коэффициент Стьюдента; 95.00% – вероятность; Confidence Limits – доверительный интервал.

Проекция логарифмической функции на ось N–L представляет собой номограмму, отражающую значение $k'_\sigma(A-E)$ при изменении количества шпуров и относительной ширины перемычки, при использовании которой можно обосновать наиболее рациональные параметры способа шпуровой разгрузки.

1. Костенко В.К. Изыскание резервов для повышения эффективности подземной дегазации [Текст] / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, В.С. Бригида, Н.Н. Зинченко // 6-я Межд. конф. по проблеме горной промышленности, строительства и энергетике. – Тула: ТулГУ. – 2010. – Т1. – С. 150–157.
2. Гатаулин Н.Н. Дегазационные системы угольных шахт Украины – фактическое состояние и перспективы развития [Текст] / Н.Н. Гатаулин, В.К. Костенко, В.С. Бригида, Н.Н. Зинченко // Сб. науч. трудов ДонУГИ. – Вып. 106. – Донецк: ДонУГИ. – 2011. – С. 134 – 147.
3. Брюханов П.А. Обоснование критериев устойчивости и эффективности работы дегазационной скважины [Текст] / П.А. Брюханов, В.В. Назимко, А.А. Резниченко // Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених: Матеріали V наук.-практ. конф. – Донецк, 2010. – С. 59–65.

4. *Антипов И.В.* Исследования изменения опорного давления впереди очистных забоев пологих пластов [Текст] / И.В. Антипов, Н.И. Лобков // Физико-технические проблемы горного производства. – ИФГП НАНУ. – Донецк, 2003. – №6. – С. 78 – 81.
5. *Антипов И.В.* Особенности механизма деформации угольного пласта в зоне влияния очистных работ [Текст] / И.В. Антипов, Д.В. Щербинин, Р.В. Дегтярь // Физико-технические проблемы горного производства. – ИФГП НАНУ. – Донецк, 2005. – №8. – С. 104 – 111.
6. *Дубов Е.Д.* Дегазационные системы угольных шахт Украины – фактическое состояние и перспективы развития [Текст] / Е.Д. Дубов, М.В. Поляков, Д.В. Щербинин // Сб. науч. трудов ДонУГИ. – Вып. 102. – Донецк: ДонУГИ. – 1999. – С. 12–31.
7. *Стариков Г.П.* Физико-механическое обоснование параметров разгрузочных скважин [Текст] / Г.П. Стариков, Д.В. Мельников, Н.И. Волошина, В.Н. Чистоклетов // Физико-технические проблемы горного производства. – ИФГП НАНУ. – Донецк, 2005. – №8. – С. 129 – 133.
8. *Мельников Д.В.* Основы метода расчета параметров разгрузочных скважин [Текст] / Д.В. Мельников // Физико-технические проблемы горного производства. – ИФГП НАНУ. – Донецк, 2011. – №14. – С. 93 – 98.
9. *Савин Г.Н.* Распределение напряжений около отверстий [Текст]. – Киев: Наукова думка, – 1968. – С. 854.
10. *Watson D.* nngidr: An Implementation of Natural Neighbor Interpolation, Claremont, Australia, – 1994. – 170 с.

В.К. Костенко, Н.Н. Зінченко, В.С. Бригіда, С. Салехірадж

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СПОСОБУ ШПУРОВОГО РАЗВАНТАЖЕННЯ ГИРЛ ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН

Знайдена функція впливу технологічних параметрів розвантажуючого буріння на напруження, що виникають на контурі дегазаційної свердловини.

V.K. Kostenko, V.S. Brigida, N.N. Zinchenko, S. Salehiraj

THE METHOD PARAMETRES SUBSTANTIATION OF DEGASSING WELLHEAD RELIEVING

The influence function of technological parameters of unloading drilling on the voltage originating on a contour degassing of the borehole is found.