

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩИХ СКВАЖИН

*А.В. Никифоров, Г.И. Колчин, А.С. Лукашев, В.Г. Стеблин, МакНИИ, Украина*

Приведен анализ воздействия опережающих скважин на угленосный массив, рассмотрены способы оценки эффективности бурения опережающих скважин для предотвращения газодинамических явлений, показано, что необходимо применять внутренний контроль по результатам бурения скважин и независимый контроль путем прогноза выбросоопасности в каждом цикле выемки угля.

С момента первого выброса угля и газа в Донбассе (1906 г.) встал вопрос, с одной стороны, разработки способа прогнозирования этого природного явления, а с другой стороны, поиска мер его предотвращения.

Исходя из теории источника выброса угля и газа, обусловленного наличием "газового мешка" (изначально классификация была "выброс газа"), первые попытки борьбы были направлены на его выявление и снижение в нем газового давления бурением шпуров и скважин. В послевоенные годы понимание причин выброса угля и газа было изучено многочисленными шахтными экспериментами. Было установлено, что выбросу угля и газа предшествует задержка деформаций в породах кровли угольного пласта [1]. Тем не менее, развитие способов предотвращения выбросов угля и газа шло по пути повышения дегазации призабойной части угольного пласта, одним из широко применяемых способов было бурение опережающих скважин.

В итоге был разработан нормативный способ бурения опережающих скважин [2] с параметрами: диаметр до 250мм, неснижаемое опережение 5м. Число скважин устанавливалось по величине радиуса эффективного действия, который определялся по газопроницаемости пласта на расстоянии до 7м от забоя – способ весьма трудоемкий и реализуемый не во всех горно-геологических условиях.

При применении опережающих скважин определились два существенных недостатка: выбросы угля и газа при их бурении, выбросы угля и газа при выемке угля в обработанной зоне. Эти недостатки обусловлены отсутствием контроля безопасности бурения скважин и надежной оценки их эффективности, в том числе, в процессе выемки угля.

За период с 1953 по 1977г.г. в Донбассе в процессе бурения скважин произошло 155 внезапных выбросов, при этом почти 80% - при бурении скважин диаметром 150-300мм, около 17% - при диаметре 100-120 мм и менее 4% - при диаметре бурения 60-80мм. Средняя глубина возникновения выбросов при бурении скважин составляет 5-6м, а максимальная – 14м. При большей глубине происходили, так называемые, "внутренние" выбросы в скважины без выноса угля в выработку и разрушения призабойной части пласта.

При выемке угля после применения опережающих скважин произошло выбросов угля и газа более половины от их общего числа при применении других противовыбросных мероприятий.

Интересным оказался опыт применения опережающих скважин при проведении выработок в АО Пройсаг Антрацит ГмбХ в Иббенбюрене (Германия).

Кроме разгрузки массива впереди забоя - распознавание выбросов на ранней стадии их возникновения и их предупреждение. Явными признаками выбросов считаются выдувание из скважины газа с выносом угольной мелочи, трески в массиве. В этом случае производится разгрузочное бурение. Разгрузочные скважины отличаются от разведочных только серией защитных мероприятий: дистанционное управление буровым станком с расстояния 40 м, ограждение забоя при бурении, отключение электрооборудования и т.д.

Параметры опережающих скважин: диаметр коронки 95мм, штанги спиральные для выдачи штыба, длина скважин 20-60м, неснижаемое опережение 5м, для одной скважины 15 м, выход скважин за борт выработки 5м. При бурении контролируется количество газа.

Однако, в способе отсутствует надежная оценка эффективности, в том числе, при выемки угля в обработанном массиве.

Совершенствование опережающих скважин в Украине основывалось не на дегазации угольного пласта, а на создании условий, исключаящих задержку деформаций в породах кровли, при этом было поставлено две задачи: осуществить контроль безопасности бурения, а их эффективность оценивать как по результатам бурения, так и непрерывно в каждом цикле выемки угля. Решение этих задач оказалось возможным путем регистрации и обработки акустического сигнала, возникающего в массиве горных пород в процессе разрушения угля буровым инструментом и при воздействии на забой горного оборудования при выемке угля.

Исследования в условиях шахты им. А.Ф. Засядько привели к разработке параметров опережающих скважин, способа контроля безопасности бурения и оценки их эффективности. Горно-экспериментальные работы проведены в трех подготовительных выработках на пластах  $l_1$  и  $m_3$ . Были приняты следующие параметры скважин [3,4]: длина не менее 30 м, количество в одном цикле бурения – не менее 5 м, диаметр скважин не более 80 мм, неснижаемое опережение 10 м.

Для контроля безопасности бурения скважин в качестве прогностического параметра использован коэффициент пригрузки ( $P_r$ ), который вычислялся в виде отношения энергии акустического сигнала на заведомо разгруженных первых интервалах бурения скважины к энергии в текущем интервале бурения. Бурение скважины прекращалось при превышении значений коэффициента выше критического уровня, после чего для локальной разгрузки массива бурилась соседняя или дополнительная скважина, затем возвращались к добурированию оставленной скважины.

На стадии разработки способов оценка эффективности опережающих скважин выполнялась путем прогноза выбросоопасности по параметрам акустического сигнала в каждом цикле подвигания забоя [2, 6], а также регулярного (через 5м) измерения величины зоны разгрузки в соответствии с [2] и сорбционных показателей угля по методике МакНИИ [5].

Наиболее низкие значения начальной скорости газовыделения зафиксированы при проведении 12-го западного конвейерного штрека пласта  $l_1$ , как правило, менее 1 л/мин. В

17-м западном конвейерном штреке, проводимом по пласту  $m_3$ , значения начальной скорости газовыделения увеличиваются (в среднем до 2,5 л/мин) после первых 15 м цикла бурения скважин. Наиболее высокие значения зафиксированы при отходе забоя от уклонных выработок.

Оценка сорбционных показателей угля выполнена по величине давления газа, выделившегося из пробы угля объемом 33 см<sup>3</sup> в замкнутом сосуде. Измерения выполнялись в мм рт.ст. спустя 10, 20, 30, 40 секунд после герметизации сосуда. [5], прогностическим параметром служила величина  $\Delta P$ , равная разности давления газа, измеренного спустя 40 с и 10 с после герметизации пробозаборника.

Для 12-го западного конвейерного штрека пласта  $l_1$  характерно постепенное увеличение приращения  $\Delta P$  от 20-25 до 45-52 мм рт.ст. по мере движения забоя по обработанному участку.

Сорбционные показатели в 17-м западном конвейерном штреке пласта  $m_3$  изменяются по более сложному закону: вначале происходит их увеличение, а затем стабилизация на уровне 55-65 мм рт.ст. и некоторое уменьшение на расстоянии 20-25 м от начала бурения скважин в очередном цикле.

Оценка эффективности опережающих скважин выполнена путем прогноза выбросоопасности по параметрам акустического сигнала [2, 6] в каждом цикле подвигания забоя по обработанному массиву. При этом основные результаты оценки сводятся к следующему.

В целом, повышенные значения прогностических параметров акустического сигнала и коэффициента выбросоопасности приурочены к началу движения комбайна после завершения бурения скважин и к зонам геологических нарушений, включая повышенную трещиноватость пород. Повышенные значения после завершения цикла бурения опережающих скважин отмечены на протяжении первых 6-ти метров подвигания забоя.

На этом участке в пределах неснижаемого опережения углепородный массив имеет двойную обработку скважинами, аномальные значения параметров объясняются особенностью развития здесь межслоевых деформаций. Какие-либо признаки выбросоопасности при выемке угля в этой зоне отсутствовали.

Для сопоставления степени дегазации угольного пласта при применении опережающих скважин и гидрорыхления вычислены средние и критические значения давления десорбированного газа, полученные спустя 30 с после герметизации сосуда. Для опережающих скважин они равны, соответственно, 47 и 55 мм рт.ст. для проб с глубины 2 м и 3. При применении гидрорыхления в аналогичных условиях эти значения равны, соответственно, 86 и 105 мм рт.ст. Следовательно, интенсивность дегазации угольного пласта при применении опережающих скважин в качестве противовыбросных мероприятий выше, чем при гидрорыхлении.

Таким образом, опережающие скважины исключают задержку деформаций в породах кровли при выемки угля и обеспечивают дегазацию призабойной части угольного пласта.

Для условий шахты им. А.Ф. Засядько разработка способа бурения опережающих скважин для предотвращения выбросов угля и газа прошла все стадии [2], и способ утвержден в качестве нормативного.

При проведении подготовительных выработок по пласту  $i_3'$  на СП "Шахтоуправление "Суходольское –Восточное" ПАО "Краснодонуголь" возникла необходимость применения опережающих скважин в качестве мер борьбы с выбросами угля и газа и внезапных выдавливаниями угля. Для применения разработанного на шахте им. А.Ф. Засядько способа проведены горно-экспериментальные работы по его адаптации к конкретным горно-геологическим условиям. Объектами исследований служили: 39-й западный конвейерный штрек, 12-й "бис" и 14 восточные конвейерные штреки, которые проводились комбайновым способом.

Угольный пласт  $i_3'$  мощностью 0,8м в блоке №3 и 1,5м – на остальной части шахтного поля опасен по выбросам угля и газа и внезапным выдавливаниями угля, имеет пологое залегание.

В 39-м западном конвейерном штреке непосредственная кровля пласта представлена песчаником мощностью до 4 м, крепостью  $f = 4-6$ , и песчаным сланцем мощностью до 3,3м, крепостью  $f = 2-3$ . Основная кровля – песчаный сланец мощностью 4,0-14,4 м, крепостью  $f = 4-6$ , и песчаником мощностью 20-26 м, крепостью  $f = 8-10$ . Непосредственная почва пласта – глинистый сланец мощностью до 2,1 м и песчаный сланец мощностью 1,2-3,0м, основная почва - песчаный сланец мощностью 3,0-20,0м. В 39-м западном конвейерном штреке прогнозировалась встреча геологических нарушений. В пределах зоны их влияния выработка проводилась буровзрывным способом в режиме СВ и бурение опережающих скважин не осуществлялось.

Опережающие скважины имели следующие параметры: длина 20м (преимущественно) и 30м, диаметр 80мм, количество скважин в забое 5, величина неснижаемого опережения 10м, углы (в плане) между скважинами  $6^\circ$ . Контроль безопасности бурения выполнен по величине коэффициента пригрузки ( $P_r$ ), критическое значение которого определено равным 2,5.

Для вычисления коэффициента пригрузки и контроля безопасности бурения скважин акустический сигнал при помощи аппаратуры АПСС1 регистрировался поинтервально, передавался на поверхность, где обрабатывался на компьютере по комплексной программе МАКНИИ PROGNOZ 4.0.

На рис. 1 приведены средние значения коэффициента пригрузки ( $P_r$ ) по длине скважин в 39-м западном конвейерном штреке. На первых интервалах бурения значения  $P_r$  близки к 1, а к концу двойной обработки массива (10 м неснижаемое опережение) увеличивается на 10-15 %, оставаясь, в основном, на этом же уровне до конца скважины, за исключением скважин № 5, пробуренных вблизи кутка по падению угольного пласта. Низкие значения  $P_r$  по скважинам, особенно на участке двойной обработки массива, свидетельствуют об эффективном их разгружающем действии на массив.

Оценка эффективности бурения опережающих скважин выполнена по результатам прогноза выбросоопасности по параметрам акустического сигнала в каждом цикле выемки угля и регулярно через 5м подвигания забоя измерением величины зоны разгрузки по динамике газовыделения ( $g_0$ ) и значений сорбционного показателя  $\Delta P$ .

Прогноз выбросоопасности выполнялся с использованием аппаратуры АПСС 1 для регистрации и передачи акустического сигнала на поверхность и обрабатывающего и анализирующего программного комплекса PROGNOZ 4.0.

В результате обработки по спектру акустического сигнала вычислялись прогностические параметры и коэффициент выбросоопасности  $K_v$ , служащий для качественной оценки состояния массива. Повышение его значений свидетельствуют об увеличении напряженного состояния в призабойной части угольного пласта.

На рис. 2 приведены средние значения коэффициента выбросоопасности, полученные в результате прогноза по параметрам акустического сигнала и совмещенные с началом бурения скважин. Незначительные повышения значений  $K_v$  на первых интервалах по сравнению с остальной частью скважины обусловлены той же причиной, что и в условиях шахты им. А.Ф. Засядько – развитие межслоевых деформаций после бурения скважин начинается с контактов вблизи пласта. [4]

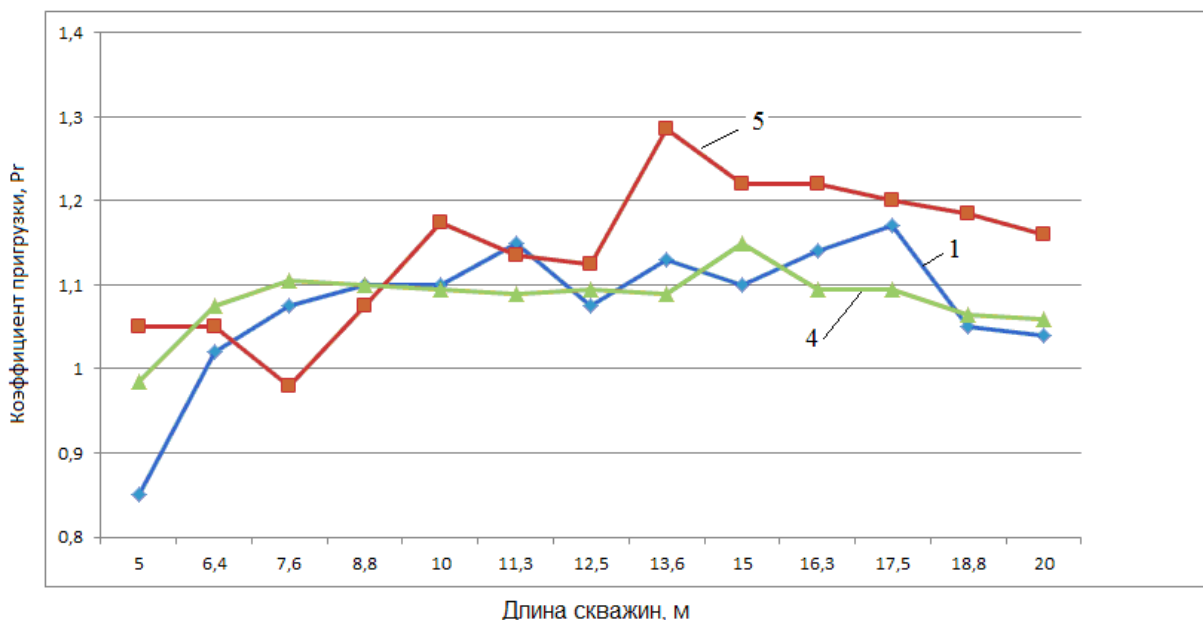


Рисунок 1 – Средние значения коэффициента пригрузки при бурении опережающих скважин (1, 4, 5) длиной 20 м в 39-м западном конвейерном штреке

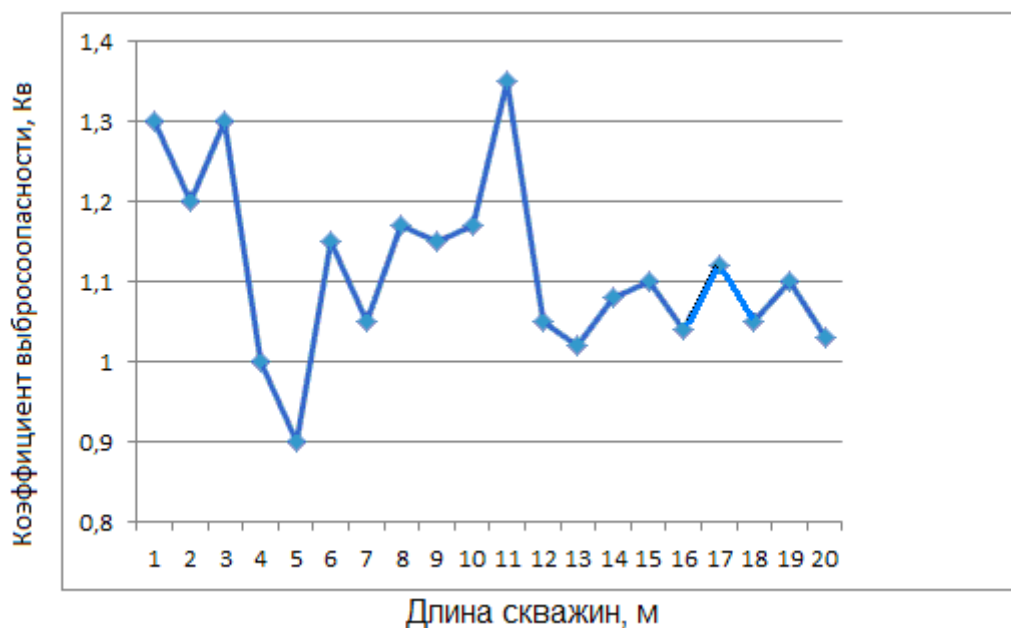


Рисунок 2 – Распределение средних значений коэффициента выбросоопасности  $K_v$  при прогнозе выбросоопасности, совмещенном с началом бурения скважины

Локальное понижение значений  $K_v$  в районе 4-5м от забоя свидетельствуют о наиболее интенсивной двойной обработке массива, по мере приближения к концу неснижаемого опережения отмечено небольшое увеличение значений от 0,9 до 1,1, затем –знакопеременные незначительные вариации значений.

В результате прогноза отсутствовали зоны, опасные по выбросам угля и газа или по внезапному выдавливанию угля. На отдельных интервалах горных выработок прогнозировалось повышение горного давления, особенно часто такой прогноз был в 39-м западном конвейерном штреке, где в кровле и почве угольного пласта залегает песчаник, песчаный сланец.

Признаки выбросоопасности отсутствовали при выемки угля комбайном в процессе проведения выработок.

Динамика деформаций в породах кровли угольного пласта отражается на значениях прогностического параметра  $K_g$ , предназначенного для выявления опасных зон по внезапному выдавливанию угля [5]. На рис. 3 высокие значения коэффициента свидетельствуют об интенсивном развитии межслоевых деформаций (расслоений) на расстоянии 13-30м от угольного пласта. После каждого цикла бурения значения  $K_g$  увеличиваются, достигают максимума на расстоянии 4-6м движения забоя, затем расслоения охватывают всю толщу пород кровли и значения  $K_g$  уменьшаются к началу следующего цикла бурения, которое выполняется спустя 10м подвигания забоя.

В результате анализа значений начальной скорости газовыделения ( $g_o$ ) с величиной измерительной камеры 0,2 м получены следующие результаты.

В 39-м западном конвейерном штреке по всем измерениям, минимальные – 0 л/мин, максимальные – более 25 л/мин, средние значения по левому и правому шпурам равны, соответственно, 2,37 и 2,47л/мин, стандарт ( $\sigma$ ) – 4,18 и 3,35л/мин. Разброс значений весьма существенный. При этом 4,3% всех замеров превышают критический уровень 4,0, определенный для измерительной камеры 0,5 м. Количество шпуров, в которых зафиксированы значения, соответствующие прогнозу "Опасно", составляют 20%.

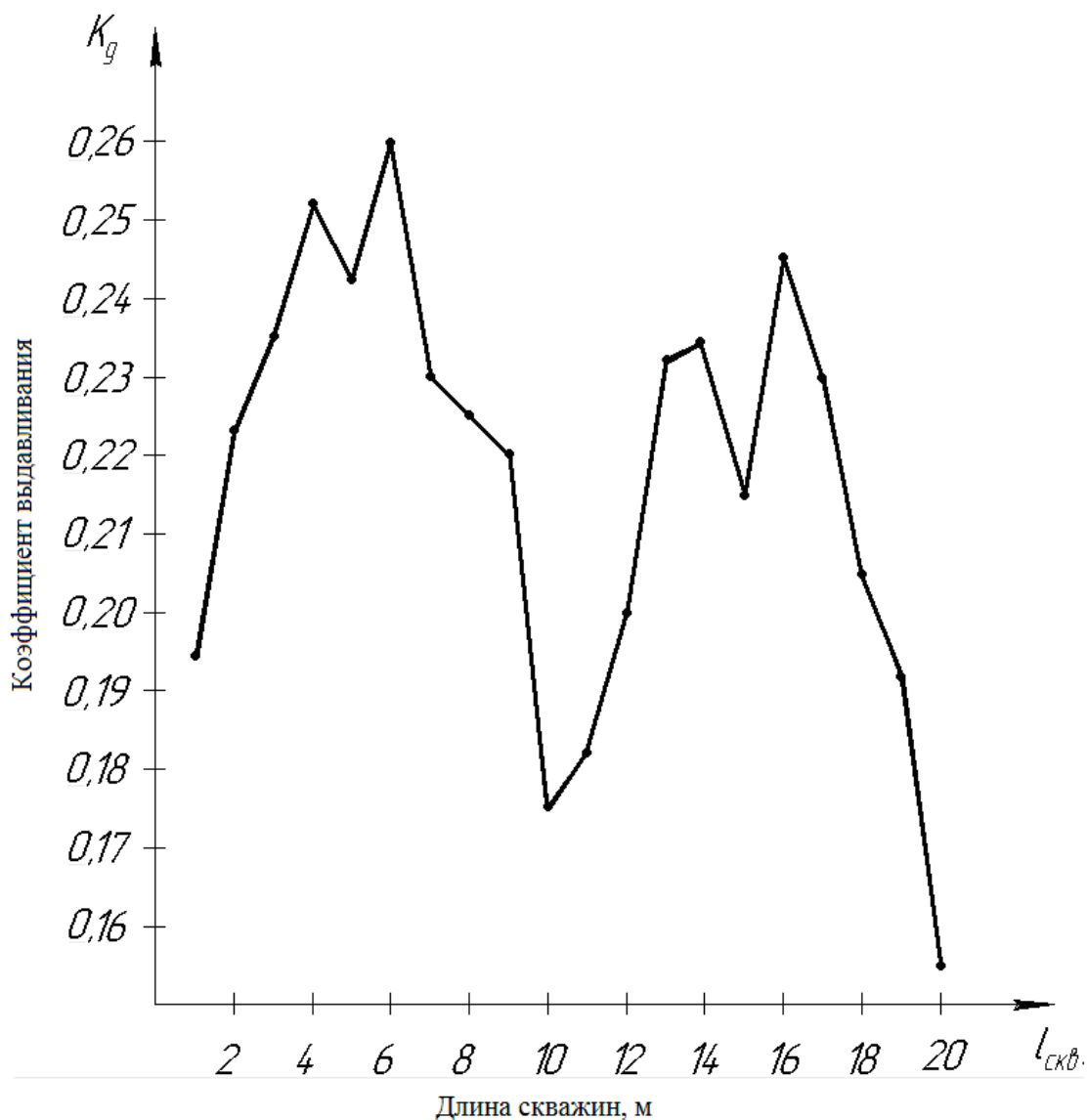


Рисунок 3 – Динамика средних значений коэффициента выдавливания угольного пласта при движении забоя по участку, обработанному опережающими скважинами длиной 20 м в 39-м западном конвейерном штреке

Приуроченность аномальных значений  $g_o$  к циклам бурения скважин и подвигания забоя определена по 35 шпурам. В 24 случаях замеры выполнены в забое после бурения опережающих скважин и 11 приходятся на бурение шпуров между циклами.

При проведении выработки буровзрывным способом в режиме СВ также выполнялись измерения начальной скорости газовыделения. В период от 12.12.10 до 18.01.11 зафиксировано превышение критических значений по 24-м шпурам из 46 пробуренных. При этом по 4-м шпурам значения  $g_o$  превышают 25 л/мин, среднее значение по всему интервалу измерений ( $n = 46$ ) 6,4л/мин.

Зона разгрузки, определенная по динамике газовыделения, изменяется от 1,5 м до 4,0м. Характер распределения величины зоны разгрузки приведен на рис. 4. В 39-м западном конвейерном штреке около 42% составляет величина 2м и менее, т.е. безопасная глубина выемки не превышает 0,7м, а в 11% она равна 0,2м. Резкое увеличение вероятности величины зоны разгрузки до 4-хм обусловлено наличием замеров  $g_o$  менее 0,8л/мин.

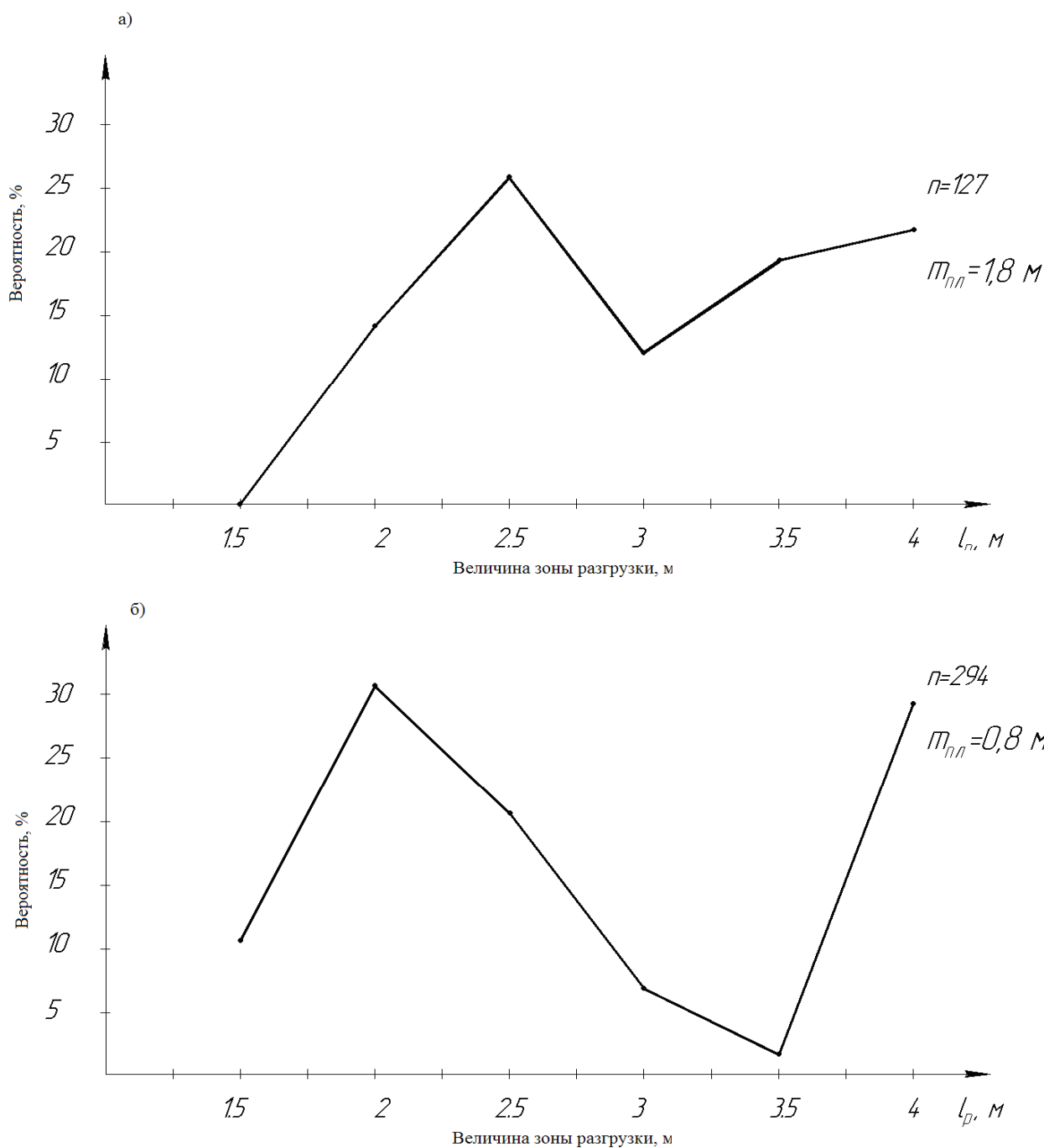


Рисунок 4 – Распределение величины зоны разгрузки а) в 12-м "бис" восточном конвейерном штреке и б) в 39-м западном конвейерном штреке ш. "Суходольская – Восточная"

Результаты приведенного анализа позволяют сделать вывод о непригодности для оценки эффективности опережающих скважин использование измерения зоны разгрузки по динамике начальной скорости газовыделения, поскольку они противоречат фактическим данным.

Максимальные значения сорбционного показателя  $\Delta P$  при длительном подвигании забоя изменяются в небольших пределах, не превышающих 20%. Отклонения от этого уровня зафиксированы при повышении значений коэффициента выбросоопасности, а также при подходе и пересечении геологических нарушений.

Еще одним доказательством отражения состояния угольного пласта в значениях сорбционных показателей угля служит отсутствие существенных отклонений от среднего при производстве замеров в пределах двойной обработки угольного пласта опережающими скважи-

нами, в том числе, при измерениях непосредственно после бурения скважин.

Анализ значений сорбционного показателя полностью подтверждает целесообразность его применения для оценки эффективности бурения опережающих скважин в качестве борьбы с газодинамическими явлениями.

Анализ влияния опережающих скважин на дегазацию угольного пласта выполнен по данным АГЗ.

Установлено что опережающие скважины способствуют более равномерному распределению концентрации метана в забое, при этом повышенными значениями отмечаются работа комбайна по забою и бурение скважин.

Для контроля эффективности опережающих скважин по результатам обработки акустического сигнала разработан алгоритм и программа "Анализ", включенная в комплекс PROGNOZ 4.0. Программа включает анализ значений коэффициентов пригрузки, соблюдение паспорта бурения скважин в цикле при низменном положении забоя. Бурение опережающих скважин эффективно при соблюдении следующих условий:

- отсутствует прогноз "Опасная ситуация" хотя бы по одной скважине;
- единичные превышения коэффициента  $P_g$  критического уровня зафиксированы не более чем в двух скважинах;
- средние значения коэффициента пригрузки по скважинам не превышают уставки (по умолчанию 2.0);
- в забое пробурены все скважины, предусмотренные паспортом;
- длина всех скважин соответствует паспорту.

Таким образом, эффективность бурения опережающих скважин необходимо оценивать в два этапа. Первый этап оценки эффективности, внутренний, автоматизированный, по результатам бурения скважин. Второй этап – независимый контроль эффективности опережающих скважин путем автоматизированного прогноза выбросоопасности в каждом цикле подвигания забоя по параметрам акустического сигнала.

Учитывая специфику поведения угольного пласта  $i_3'$ , в зонах влияния геологических нарушений рекомендуется дополнительно для оценки эффективности опережающих скважин измерять сорбционный показатель угля по методике МакНИИ.

Проведенные исследования по адаптации способа контроля безопасности и оценки эффективности опережающих скважин позволили разработать правила его применения для условий СП "Шахтоуправление "Суходольское-Восточное".

#### Список литературы

1. Бобров И.В. Способы безопасного проведения подготовительных выработок на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 264 с.
2. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. СОУ 10.1.00174088.011-2005. - Минуглепром Украины, Киев. – 2005. – С. 224.
3. Способ предотвращения выбросам угля и газа. Патент на полезную модель № 17924:2006. – С. 3
4. Коптиков В.П., Бокий Б.В., Бабенко И.В., Колчин Г.И. Контроль безопасности бурения скважин по параметрам акустического сигнала. Сборник научных трудов. – М.: МакНИИ, 2005. – С. 76-88.
5. Коптиков В.П., Бойко Я.Н., Никифоров А.В. Разработка способа прогноза выбросоопасности по сорбционным показателям угля. 1-ая Международная научно-техническая конференция "Подземные катастрофы: модели, прогноз и предотвращение". Днепропетровск. НГУ. – 2009. – С. 134 – 137.
6. Брюханов А.М., Рубинский А.А., Колчин Г.И. Контроль состояния горного массива. Материалы международной конференции "Форум горняков 2009", Национальный горный университет, г. Днепропетровск. – 2009. – С.19.