

Кандидаты техн. наук Л.В. Сергиенко, Е.В. Гладкая
(ИФГП НАН Украины),
канд. геол. наук И.О. Павлов
(ДонНТУ МОНМС Украины),
д-р техн. наук Д.М. Житленок
(ГП «Дзержинскуголь»)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН СКОПЛЕНИЯ СВОБОДНОГО МЕТАНА В ПОДРАБАТЫВАЕМОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Для деяких шахт Красноармійського геолого-промислового району Донбасу наведені результати досліджень впливу основних гірничо-геологічних та гірничотехнічних чинників на характер газовиділення з підроблюваного вуглепородного масиву. На основі отриманих результатів запропоновано критерій формування зон скупчення вільного метану в локальних областях розвантаження порушених пластів-супутників.

FEATURES OF THE FORMATION OF THE FREE ZONES OF ACCUMULATION OF METHANE IN THE ROCK MASS WITH THE INTERACTION OF NATURAL AND TECHNOGENIC FRACTURES

For some mines of Krasnoarmejsky geologo-industrial region of Donbass results of researches of influence of the basic mountain-geological and mining factors on character of gas evolution from an earned additionally rocky file are resulted. On the basis of the received results the criterion of formation of zones of a congestion of free methane in local areas of unloading of the broken layers-companions is offered.

Выделение метана из углепородного массива является одним из главных факторов осложняющих добычу угля, ухудшающих производительность и безопасность труда.

С увеличением глубины разработки резко ухудшились горно-геологические и горнотехнические условия ведения очистных работ. Значительно возросло выделение метана в выработанное пространство, основными источниками которого являются пласты-спутники, осложнились условия проветривания очистных забоев, а коэффициент эффективности дегазации углепородного массива на добычных участках в среднем составляет 25 %. Это в первую очередь связано с неравномерным распределением свободного метана в углепородном массива, что соответственно отражается на метановыделении. Неравномерность метановыделения из подрабатываемого массива, вмещающего пласты-спутники в зависимости от различных горно-геологических и горнотехнических факторов, отмечалась многими исследователями [1, 2].

Так в работе [1] ранее было установлено, что одним из факторов, влияющих на эффективность дегазации, является скорость подвигания очистного забоя, при увеличении которой зона максимального метановыделения из подрабатываемых пластов перемещается в выработанное пространство, что в свою очередь ухудшает связь дегазационных скважин с этой зоной и влияет на эффективность их работы. Также было отмечено влияние скорости подвигания

очистного забоя на угол полных сдвижений пород кровли, от величины которого зависит начало и продолжительность работы дегазационной скважины, а, следовательно, и ее эффективность. При этом согласно результатам исследований, выполненных в работе [2] было установлено отсутствие четко выраженной функциональной зависимости метановыделения от скорости подвигания очистного забоя, что говорит о значительном влиянии горно-геологических факторов. Таким образом, несмотря на разностороннюю изученность проблемы, познания о состоянии нарушенного углепородного массива на больших глубинах и процессах образования скоплений свободного метана в нем при ведении очистных работ в сложных горно-геологических условиях недостаточны. Поэтому, определение основных горно-геологических и горнотехнических факторов, обуславливающих характер газовыделения из углепородного массива, а также условий формирования в нем скоплений свободного метана остается актуальной задачей.

С целью решения данной задачи были проведены исследования влияния различных факторов на формирование зон повышенного содержания метана в подрабатываемом углепородном массиве в пределах поля шахты «Красноармейская-Западная №1» (1 северная лава пласта d_4 бл. № 3) и шахты «УК «Краснолиманская» (9 южная лава южного уклона пласта k_5).

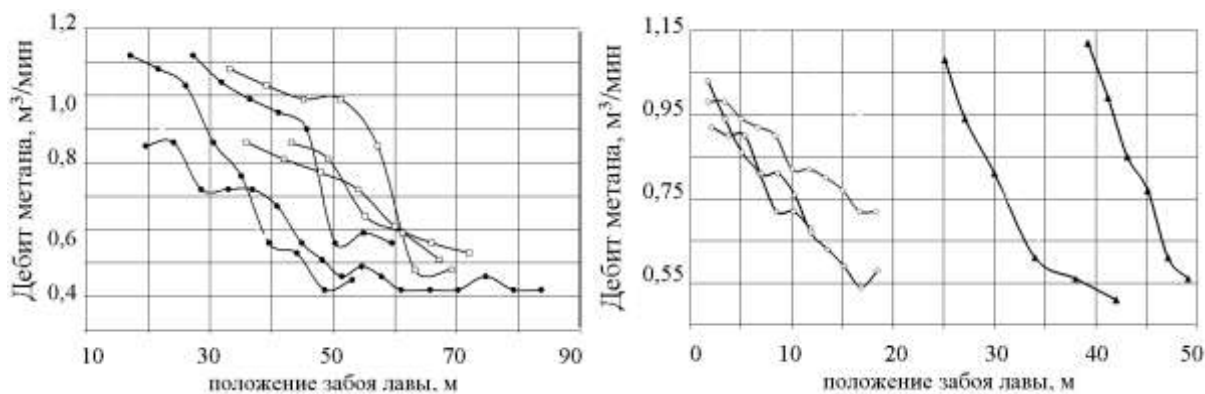
Разрабатываемый на шахте «Красноармейская-Западная № 1» угольный пласт d_4 , характеризуется высокой метанообильностью до $25 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$ В кровле пласта d_4 залегают газоносные пласты-спутники d_4^1 и d_4^2 , вмещающие боковые породы представлены алевролитами и мощными трещиноватыми песчаниками. В газовом балансе 1 северной лавы бл. № 3 пласта d_4 метановыделение из выработанного пространства может достигать до 75 %, поэтому для снижения метанообильности применялась дегазация подрабатываемых пластов-спутников скважинами, пробуренными в кролю пласта навстречу очистному забою.

Природная метаноносность разрабатываемого на шахте «УК «Краснолиманская» угольного пласта k_5 составляет $20 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$ Расположение и количество пластов-спутников относительно отработываемого пласта k_5 анализировались по разведочной скважине № НН-232. Для снижения метанообильности 9 южной лавы южного уклона пласта k_5 применялась дегазация подрабатываемых пластов-спутников скважинами, пробуренными в кровлю пласта навстречу движения очистного забоя.

В качестве основного горнотехнического фактора на вышеуказанных объектах исследования рассматривалось влияние разных скоростей подвигания очистного забоя на уровень метановыделения из подрабатываемых пластов-спутников в подземные дегазационные скважины. С этой целью была выполнена статистическая обработка замеров дебита метана из подземных дегазационных скважин, пробуренных из вентиляционных штреков по длине выемочных столбов исследуемых участков. Согласно результатам замеров маркшейдерских съемок, скорость подвигания очистных забоев за период отработки лав была неравномерна и изменялась в пределах от 1,6 м/сут. до 10 м/сут.

Результаты шахтных наблюдений показали, что максимальный устойчивый дебит метана из дегазационных скважин может принимать значения 0,9 – 1,15

м³/мин. как при низких (1,6 м/сут.), так и высоких (7 – 9 м/сут.) скоростях продвижения очистного забоя (рис. 1).

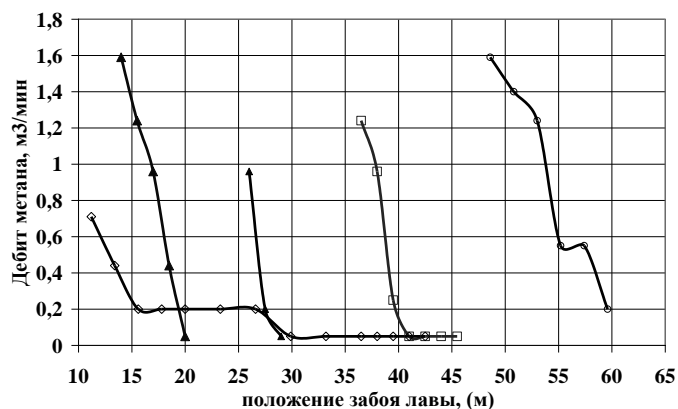


а) ● – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 4$ м/сут; □ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 6$ м/сут; б) ◇ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 1,6$ м/сут; ▲ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 2-3$ м/сут

Рис. 1 – Графики изменения дебита метана из дегазационных скважин пробуренных с вентиляционного штрека 1 северной лавы бл. №3 (шахта «Красноармейская-Западная №1») в подрабатываемый углепородный массив.

При этом, в условиях одинаковой скорости продвижения повышенный дебит метана может устанавливаться как на расстоянии 10 м от устья дегазационных скважин до положения линии очистного забоя, так и при 40 м (рис. 2).

Таким образом, исследования показали отсутствие функциональной зависимости метановыделения от скорости продвижения очистного забоя, а повышение дебита метана, наблюдаемое на разных расстояния от устья скважины обусловлено неравномерным характером распределения зон скопления свободного метана в подработанном углепородном массиве.



▲ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 0,8$ м/сут; ◇ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 1,1$ м/сут; ○ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 2,5$ м/сут; □ – расход метана из дегазационных скважин при $V_{\text{под}} = 3,3$ м/сут

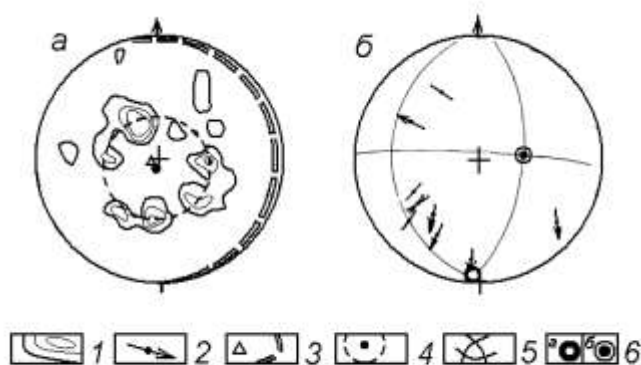
Рис. 2 – Графики изменения дебита метана из дегазационных скважин, пробуренных с вентиляционного штрека 9 южной лавы южного уклона пласта k₅ (шахта «УК «Краснолиманская») в подрабатываемый углепородный массив.

Для оценки влияния горно-геологических факторов на газовыделение из подрабатываемого углепородного массива был выполнен структурно-тектонический анализ условий отработки 1 северной лавы бл. № 3 пласта

d₄ шахты «Красноармейская-Западная № 1».

В тектоническом отношении исследуемый участок имеет сложный характер. Выемочное поле лавы находится в лежащем крыле Удачинского надвига. Залегание пород практически горизонтальное, с небольшим наклоном (4 – 5°) в западном направлении (простираание изогипс – субмеридиональное). Спокойное залегание пород осложняется очень пологой поперечной антиклинальной складкой (простираание оси – субширотное). Породы и уголь разбиты трещинами «эндокливажа». В породах кровли развиты как продольные (аз.пад. 90°∠85°), так и поперечные трещины (аз.пад. 160°∠80°). В угле преобладают трещина продольной ориентировки – аз.пад. 105°∠82°.

При проведении подготовительных выработок в пределах участка было выявлено несколько десятков мелкоамплитудных разрывных нарушений с амплитудами смещения пласта от нескольких дециметров до метров. В зонах тектонических нарушений отмечается повышенная трещиноватость углепородного массива. В морфологическом отношении практически все нарушения являются сбросами. Статистическая обработка пространственных ориентировок разрывов позволила выделить следующие их основные системы: аз. пад. 330°∠30°, аз. пад. 185°∠40°, аз. пад. 92°∠32° (рис.3).



1 – изолинии плотности распределения полюсов разрывов; 2 – полюса разрывов и направление смещения висячего крыла; 3 – проекции на верхнюю полусферу полюса и плоскости напластования; 4 – ось и пояс симметрии распределения полюсов разрывов; 5 – плоскости действия главных нормальных напряжений; 6 – оси главных нормальных напряжений: а) σ_1 (растяжения), б) σ_3 (сжатия).

Рис. 3 – Реконструкции тектонофизических параметров (поле шахты «Красноармейская-Западная»): а) плотностная стереограмма полюсов тектонических разрывов в выемочном поле 1-й северной лавы; б) реконструкция тектонического поля напряжений (для 5-й южной лавы).

На стереограмме полюса разрывов распределяются по малокруговым траекториям вокруг субвертикальной оси симметрии, образуя структурный рисунок, который можно характеризовать как «конус сжатия» (рис.3). Ось конуса субвертикальна – аз. пад. 22°∠84°, апикулярный угол составляет 35°. Анализ полученного структурного рисунка, дает основание предположить, что при образовании всего этого набора разрывов одна из активных осей эллипсоида дефор-

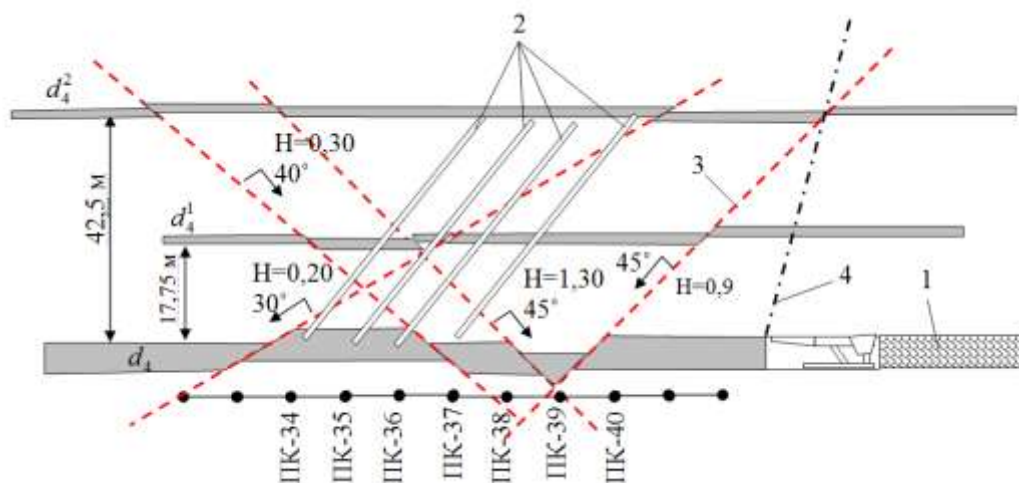
маций была ориентирована субвертикально.

Для реконструкции параметров тектонического поля напряжений, определяющего механизм структурообразования в пределах исследуемого участка был использован кинематический метод анализа трещино-разрывных структур [3, 4]. Исходными данными служили замеры, выполненные в горных выработках 5 южной лавы блока № 3, расположенной в одном локальном объеме в пределах поля шахты «Красноармейская-Западная №1». Согласно проведенным исследованиям, восстановленное поле напряжений характеризуется следующими параметрами: ось максимального сжатия σ_3 субвертикальна – аз. пад. $265^\circ \angle 60^\circ$; ось максимального растяжения σ_1 близгоризонтальна – аз. пад. $3^\circ \angle 5^\circ$; промежуточная ось σ_2 наклонна – аз. пад. $97^\circ \angle 30^\circ$ (рис. 3б). По пространственной ориентировке осей и по зафиксированной кинематике тектонических разрывов – это сбросовый тип поля.

По данным [5], аналогичный тип поля характерен, в целом, для всего Красноармейского района и Западно-Донбасского региона. Т.е., региональное поле тектонических напряжений в пределах поля шахты «Красноармейская-Западная» должно характеризоваться субвертикальным сжатием – субгоризонтальным растяжением.

Дальнейшие исследования по изучению механизма образования разрывных нарушений на участке 1 северной лавы пласта d_4 бл. № 3 показали, что в большинстве своем, вскрытые разрывные дислокации являются атектоническими, образование которых можно связывать с процессами диагенеза и уплотнения осадков при формировании пород угленосной толщи. Так, встреченные при прохождении вентиляционного штрека малоамплитудные сбросы приурочены либо к местам значительного увеличения мощности песчаников подстилающей толщи от 3 м до 14 м, либо с локальным изменением мощности песчаников междупластья $d_4 - d_4^1$ от 7 м до 14 м. Это позволяет предполагать в подобных зонах развитие аналогичных разрывных дислокаций в пластах-спутниках, что согласуется с результатами исследований, выполненных в условиях Западного Донбасса [6]. При сдвигении горных пород на подработанной площади в реконструированном поле напряжений наиболее вероятно развитие трещин субширотной ориентировки (продольных к простиранию забоя лавы).

Также установлено, что различный характер изменения дебита метана из дегазационных скважин в зонах, приуроченных к разрывам в пределах 1 северной лавы пласта d_4 бл. № 3 обусловлен характером нарушения, в частности пространственной ориентировкой и углом наклона сместителя. Так, при пересечении скважинами разрывных нарушений максимальный дебит метана в среднем составил $0,95 \text{ м}^3/\text{мин}$. Однако, для некоторых скважин (ПК 34 – 35) дебит метана не превысил $0,45-0,52 \text{ м}^3/\text{мин}$. (рис. 4).



1 – выработанное пространство; 2 – дегазационные скважины; 3 – мелкоамплитудные разрывные нарушения 4 – плоскость сдвижения подрабатываемого углепородного массива.

Рис. 4 – Схема расположения дегазационных скважин, пробуренных в нарушенном углепородном массиве.

Для повышения эффективности дегазации подрабатываемого углепородного массива, вмещающего пласты-спутники, согласно проведенных шахтных исследований, был разработан критерий, характеризующий условия скопления свободного метана K_3 в локальных зонах разгрузки нарушенных пластов-спутников, физическая сущность которого основывается на взаимодействии основной (тектонической) трещиноватости и техногенной трещиноватости, образованной при разгрузке углепородного массива:

$$K_3 = \frac{\alpha_{\text{тект}}}{\alpha_{\text{техн}}},$$

где $\alpha_{\text{тект}}$ – угол наклона системы основной (тектонической) трещиноватости относительно горизонтальной плоскости, град.

где $\alpha_{\text{техн}} = 90 - \frac{1}{2} \arctg \rho$ – угол развития техногенной трещиноватости, град.; ρ – угол внутреннего трения, град. [7].

Разработанный критерий позволяет прогнозировать локальные зоны скопления свободного метана в подрабатываемых пластах-спутниках, подверженных влиянию тектонических нарушений. При этом, если $0,5 \leq K_3 \leq 1,25$ – в подрабатываемом пласте-спутнике формируется зона скопления свободного метана, обусловленная раскрытием существующих в угольном пласте трещин. При $K_3 < 0,5$ или $K_3 > 1,25$ – зона скопления свободного метана в подрабатываемом пласте-спутнике не формируется, что подтверждается натурными измерениями дебита метана из дегазационных скважин (табл.).

Таблица 1- Влияние взаимодействия техногенной и тектонической трещиноватости на количество метана, извлекаемое из дегазационных скважин

| №, п/п | Номер пикета, на котором пробурена дегазационная скважина | $\alpha_{\text{тект}}$, град. | $\alpha_{\text{техн}}$, град. | $\frac{\alpha_{\text{тект}}}{\alpha_{\text{техн}}}$ | Количество метана, выделяемое в дегазационную скважину, м ³ /мин. |
|--------|---|--------------------------------|--------------------------------|---|--|
| 1. | ПК 34 | 135 | 65 | 2,2 | 0,52 |
| 2. | ПК 35 | 135 | 65 | 2,2 | 0,45 |
| 3. | ПК 39 | 45, 30 | 65 | 0,5 – 0,7 | 0,92 |
| 4. | ПК 40 | 45 | 65 | 0,7 | 1,03 |

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что образование локальных зон скопления свободного метана в пластах-спутниках при отработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, обусловлено взаимодействием систем тектонической и техногенной трещиноватости. Это послужило основанием для разработки критерия формирования зон скопления свободного метана K_3 в локальных областях разгрузки нарушенных пластов – спутников и позволяет использовать выявленные закономерности для прогнозирования вышеуказанных зон, что существенно повысит эффективность дегазации подрабатываемого углепородного массива, вмещающего пласты-спутники и безопасность ведения очистных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов О.И. Дегазация шахт при высоких нагрузках на очистные забои [Текст] / О.И. Касимов, М.И. Верзилов // Обзор. ЦНИЭИуголь. - М. - 1983. – Вып. 11.
2. Рязанцев Н.А. О причинах уменьшения метановыделения из пласта при высоких скоростях подвигания забоя [Текст] / Н.А. Рязанцев, А.К. Носач, Б.А. Кодунов, А.Н. Рязанцев // Проблеми гірничої технології: сб. науч. тр. КИИ ДонНТУ. – Донецк. - 2010. – С. 116 – 124.
3. Гущенко О.И. Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений [Текст] / О.И. Гущенко // Док. АН СССР. – 1973. – т.210. - №2. – С.331 – 334.
4. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции тектонических напряжений. О.И. Гущенко // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука. - 1979. – С.7 -25.
5. Павлов И.О. Поля напряжений и особенности разрывной тектоники шахтных полей Красноармейского района Донбасса [Текст] / И.О. Павлов, В.А. Корчмагин, Е.В. Сухинина // Зб. наукових праць УкрНДМІ. – Донецьк. – 2008. - №5. – Ч.2. – С.189-195.
6. Лукинов В.В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса [Текст] / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко. – Киев: Наук. думка. - 2008. - 352 с.
7. Сергиенко Л.В. Прогнозирование зон скопления свободного метана в подрабатываемых пластах – спутниках в сложных горно-геологических условиях. / Л.В. Сергиенко, Е.В. Гладкая, Е.А. Винник, Д.М. Житленок // Материалы XXI Международной Научной Школы «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: Таврический национальный университет. – 2012. – С. 287 – 290.

Д-р техн. наук Е.Л. Звягильский,
канд. техн. наук П.Е. Филимонов
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)
канд. техн. наук В.Л. Морус
(ИГТМ НАН Украины)

СУХОЕ, МЕЛКОЕ И ТОНКОЕ ГРОХОЧЕНИЕ ВЛАЖНЫХ РЯДОВЫХ УГЛЕЙ ПЕРЕД ОБОГАЩЕНИЕМ

Розглянуто процеси сухого, дрібного й тонкого просівання вологого рядового вугілля перед збагаченням. Наведено приклади застосування техніки для здійснення таких процесів.

DRY, SHALLOW AND THIN CRASHING OF MOIST ORDINARY COALS BEFORE ENRICHING

The processes of dry, shallow and thin crashing of moist ordinary coals before enriching are considered. The examples of application of technique for realization of such processes are resulted.

В деятельности горнодобывающих и обогатительных предприятий на всех этапах добычи и переработки минерального сырья всегда наиболее важными и актуальными являются проблемы экономии энергетических и материальных ресурсов. Созданные на основании традиционных подходов структуры взаимодействий добывающих и обогатительных производств, как правило, предусматривают вовлечение в обогащение всех объёмов добываемых минералов. Это перегружает технологические схемы обогатительных фабрик, затрудняет или делает невозможным решение проблем оптимизации наиболее сложных, энерго и материалоёмких обогатительных переделов.

Вместе с тем, проведенный на примере угледобывающей промышленности анализ составов перемещаемых потоков горной массы свидетельствует, что непосредственно после добычи они зачастую содержат значительные (до 30 - 40%) объёмы классов крупности, приближающихся, а иногда и вполне соответствующих по своим потребительским параметрам конечным товарным продуктам. Как правило, это классы крупностью менее 3-6 мм, исключительно только механическое извлечение которых из добытой горной массы позволяет значительно сокращать грузопотоки, направляемые в технологические схемы обогатительных фабрик. Осуществляя таким образом, так называемое, превентивное или опережающее обогащение углей с естественными физико-механическими характеристиками, можно добиваться соответствующего существенного (до 30 - 40%) снижения энергетических и материальных затрат предприятий на обогащение. Средством реализации таких процессов в первую очередь может служить принципиально новая высоконадёжная и технологически эффективная специальная техника грохочения.

В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины в течение многих лет ведутся исследовательские работы по созданию, освоению производства и широкому внедрению технологически высокоэффективного и долговечного обогатительного оборудования на основе рабочих поверхностей из износостойких резин и динамически активных просеивающих поверхностей типа СДАЛ [1,2]. Одним из направлений таких работ, развиваемых в последнее