

В. С. Забурдяев

(и) «Инфра-Инженерия»



# ВЫРАБОТАННЫЕ ПРОСТРАНСТВА МЕТАНООБИЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**В. С. Забурдяев**

**ВЫРАБОТАННЫЕ ПРОСТРАНСТВА МЕТАНООБИЛЬНЫХ  
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 622.2/333  
ББК 33.31  
3-12

Рецензенты:

доктор технических наук *Малинникова Ольга Николаевна*;  
доктор технических наук *Подображин Сергей Николаевич*

**Забурдяев, В. С.**

**3-12** Выработанные пространства метанообильных угольных шахт : монография / В. С. Забурдяев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 136 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1288-9

Исследованы вопросы содержания метана в основных источниках его выделения, метанообильности выработанных пространств при очистной выемке угля, взаимодействия капель жидкости и частиц пыли, петрографических особенностей ископаемых углей и их влияние на выделение метана и пыли, взрываемость метанопылевоздушных смесей. Приведены фактические данные о метаноносности угольных пластов в массиве и зоне влияния очистного забоя, метановыделении в горные выработки и дегазационные скважины. Изучены газодинамические процессы на выемочных участках и фрикционное искрение как источник воспламенения метана. Предложены способы и средства для предотвращения воспламенения метана и угольной пыли от фрикционного искрения в процессе выемки угля горными комбайнами.

Для научных и инженерно-технических работников, студентов, аспирантов и соискателей научных степеней горного профиля.

УДК 622.2/333  
ББК 33.31

ISBN 978-5-9729-1288-9

© Забурдяев В. С., 2023

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## ПРЕДИСЛОВИЕ

На угольных шахтах России вопросы повышения производительности, обеспечения безопасности и санитарно-гигиенических условий труда шахтеров играют важную роль. Среди актуальных проблем в процессе высокопроизводительной разработки газоносных пластов являются предотвращение вспышек и взрывов метана и угольной пыли, создание здоровых условий труда, при которых исключалось бы воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов, порождающих травматизм, аварии и заболевания. Наличие в рудничной атмосфере, помимо пыли, различных газов и паров ускоряет возникновение легочных заболеваний и ухудшает их течение, а наличие гибридных смесей (например, метан – воздух, угольная пыль – воздух, угольная и пиритная пыль, метан – водород – воздух, метан – сероводород – воздух, всевозможные комбинации выше отмеченных составляющих) многократно и в более ранние сроки ускоряет процессы вспышек и взрывов газопылевоздушных смесей, поскольку гибридные смеси способствуют образованию взрывоопасных ситуаций.

Взрывы газовоздушной смеси способствуют взрывам угольной пыли, которые сопровождаются большими разрушениями горных выработок и человеческими жертвами, причиной тому в определенное время являлись сокращение финансирования и материально-технического обеспечения мер по безопасности производства и охране труда, низкий уровень правовых знаний и дисциплины труда, протекания газодинамических процессов в шахтах, недостаточный объем научных исследований, направленных на разработку и применение современных средств контроля, средств индивидуальной и коллективной защиты шахтеров. Из-за снижения уровня оплаты труда некоторые учёные и инженеры, разрабатывавшие средства снижения рисков техногенных аварий, вынуждены были уйти из этой области трудовой деятельности. Доля специалистов высшей квалификации уменьшилась до 5 % экономически активного населения, что на порядок меньше, чем в Германии. Потери добычи угля, связанные с нарушениями производственной и технологической дисциплины, составляли от 0,5 до 1 млн тонн, обусловлены вспышками и взрывами метанопылевоздушных смесей, преимущественно в выработанных пространствах высокопроизводительных шахт.

Еще в XV веке немецкий ученый Георг Агрикола (Бауэр), обобщив опыт горно-металлургического производства, отметил, что горняку нельзя быть несведущим во многих других искусствах и науках, ибо благодаря этому он не сможет находить более легкий и удобный путь к недрам Земли и получать более обильные плоды, в том числе и в наше время применительно к угольным залежам при высокопроизводительной и безопасной их разработке.

В 2006 г. в Москве состоялся Международный форум «Энергетика и уголь России: тенденции, прогноз, международное сотрудничество». Российские специалисты – угольщики, энергетики, производители оборудования и перевозчики угля – встретились со своими коллегами из ведущих стран мира, чтобы обсудить перспективы развития угольной промышленности и энергетического сектора России в русле общемировых тенденций. Мир признал уголь топливом будущего, что весьма важно для России, обладающей огромными ресурсами этого ценнего сырья.

С системным кризисом 90-х годов покончено, российские угольные компании готовы на равных конкурировать с мировыми лидерами горнодобывающей промышленности как по объемам продаж и качеству продукции, так и по уровню промышленной и экологической безопасности, производительности труда.

На угле производится 39 % всей электроэнергии в мире. Уголь является основой энергетики США, Германии, Китая, Индонезии, ЮАР, Австралии и большинства стран Центральной Европы. Запасы угля значительно превышают ресурсы нефти и газа, и это та причина, по которой уголь будет оставаться самым надежным и потому востребованным источником энергоснабжения человечества в обозримом будущем.

Для России освоение запасов угля было и остается основой могущества государства: геополитического, экономического и военного. В 2005 г. доля углей для коксования в общей добыче составила 23,3 %. Основной объем добычи этих углей приходится на предприятия Кузбасса. О значимости Кузбасса говорят как об угольной кладовой России.

В процессе разработки угольных пластов подземным способом выделяется рудничный газ – метан. Метан – один из самых коварных врагов шахтера. Чем глубже в недра земли уходят горные работы и чем интенсивнее ведется добыча угля из пластов, тем больше выделяется метана, и тем выше опасность возникновения вспышек и взрывов в таких регионах, как Кузбасс и Воркутское месторождение.

В монографии освещены исследования по геотехнологическим проблемам разработки опасных по газу и пыли угольных пластов.

На основании литературной и патентной информации, а также собственных исследований и обобщений рассмотрены структура углей и их вещественно-петрографический состав, влияющие на метаноносность и взрывчатые свойства угольной пыли. Большое внимание удалено тем шахтам, на которых, к сожалению, происходили взрывы метана и угольной пыли.

Рассмотрены вопросы фрикционного искрения как источника воспламенения метана и особенности нижнего предела взрываемости отложившейся

угольной пыли. Оценена взаимосвязь пылеобразующей способности угольных пластов и их метаноносности. Изучена эффективность подавления пыли и газопылевзрывозащиты. Уделено внимание заболеваемости шахтёров антракоси-ликазом, а также экологическим проблемам разработки угольных месторождений.

Определены показатели газоотдачи угольных пластов в подготовительные выработки и дегазационные скважины. Исследовано газодинамическое состояние угольного пласта при его дегазации и увлажнении. Изложены перспективные геотехнологические направления обеспечения безопасности труда в шахтах по факторам газа и пыли.

Месторождения России располагают крупнейшими в мире запасами каменного угля и являются самыми метаноносными: 8,3 кг метана в 1 тонне угля, против 7,4 кг/т в Великобритании, 6,7 кг/т в КНР, 5,0 кг/т в США и 3,6 кг/т в ФРГ. Незначительная глубина залегания поверхности зоны метановых газов и высокий сорбционный потенциал углей обусловили высокую газоносность углепородных толщ, где на достигнутых к настоящему времени глубинах ведения горных работ метаноносность угольных пластов достигает 25–28 м<sup>3</sup>/т с.б.м., абсолютная газообильность наиболее газовых шахт 150–180 м<sup>3</sup>/мин, выемочных участков – 80–90 м<sup>3</sup>/мин. В течение года в угольных шахтах РФ выделяется до 1,5–1,6 млрд м<sup>3</sup> метана.

Исследования, выполненные в рамках проблемы комплексного освоения недр Земли и новых технологий извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья, позволили оценить ресурсы метана газоносных месторождений России, определить метанообильность угольных шахт и количественные показатели метановыделения в шахтах при различных технологиях выемки угля и способах управления газовыделением, сформулировать научные, организационные и технические задачи по концепции добычи метана на угольных шахтах, методическим основам и методике прогнозирования ресурсов метана, объемов его выделения, извлечения и использования.

Многолетними исследованиями, проведёнными в различных угольных бассейнах России и других стран СНГ, изучены вопросы генезиса газов угольных месторождений, их химический состав, условия миграции газов в угленосных отложениях, установлены основные физико-химические факторы, обуславливающие коллекторские свойства углей и пород, а также решены многие вопросы выделения газов в горные выработки шахт. Результаты труда ученых и геологов нашли отражение в нормативно-методическом документе «Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах» и «Инструкции по дегазации угольных шахт».

Угленосные отложения в бассейнах и месторождениях России так же, как и в углекисловых месторождениях других стран мира, характеризуются преимущественно неравномерным распределением газоносности, геологические условия весьма разнообразны для образования газосодержащих отложений. Угленосность и степень метаморфизованности углей крайне изменчивы, наблюдается довольно резкое изменение метаморфизма углей, встречаются слабометаморфизованные антрациты, преобладают угли средних стадий метаморфизма. С ростом метаморфизма углей возрастает газоносность угольных пластов.

Среднесуточная добыча угля в газовых шахтах России за последние 25–30 лет увеличилась в 7–8 раз и достигла в комплексно-механизированных забоях (КМЗ) 4,7–5,1 тыс. т, в наиболее производительных сверхкатегориальных шахтах – 10–15 тыс. т, в отдельных случаях – 25–30 тыс. тонн угля в сутки.

Добыча угля в метанообильных шахтах сопровождается выделениями значительных объемов метана, что усложняет процесс интенсивной работы очистной техники, показатели которой в газовых шахтах в несколько раз меньше, чем в благоприятных по газовому фактору негазовых шахтах и шахтах с низкими объемами выделения метана в горные выработки.

Углубление горных работ и рост метаноносности пластов угля до 20–25 м<sup>3</sup>/т с.б.м. способствуют интенсивному выделению метана в шахтах Кузбасса до 100–165 м<sup>3</sup>/мин, в шахтах Воркуты – до 140–155 м<sup>3</sup>/мин. При таких высоких показателях метановыделения в горные выработки очистные забои работают с применением комплекса способов и схем дегазации разрабатываемых и сближенных угольных пластов и выработанных пространств с объемами каптируемого метана до 60–65 м<sup>3</sup>/мин на шахтах Кузбасса и до 80–105 м<sup>3</sup> метана на шахтах Воркутского угольного месторождения.

Актуальны разработка новых технико-технологических решений, оценка их эффективности, перспективных методов управления газовыделением на выемочных участках высокопроизводительных метанообильных шахт, изучение условий формирования метановых потоков в шахтах и взрывоопасных ситуаций по пылевому фактору, методов оценки вероятности взрывов метанопылевоздушных смесей при подземной добыче угля, условий и причин возникновения аварий по газу и пыли, эффективность мероприятий по снижению объемов выделения метана в очистных забоях, прогнозы динамики роста подземной добычи угля и объемов газовыделений в них.

Положительные результаты достигнуты путём обобщения передового опыта работы шахт при отработке газоносных пластов угля, внедрения новых высокоеффективных технологических решений по снижению объемов выделения метана в шахтах и предотвращения взрывоопасных ситуаций при подземной разработке метаноносных угольных пластов, базируются на результатах исследований, выполненных в 2011–2019 годах, до коронавируса COVID-19.

Исследования выполнены в Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук.

Искренне признателен сотрудникам лаборатории и горному инженеру-исследователю Т.В. Сабягиной за помощь в компьютерном оформлении первичного текста монографии.

# 1. ГАЗЫ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

## 1.1. Геологические запасы угля в России

В технической литературе принято считать, что 1 тонна каменного угля равна 1,0 т у.т., 1 тонна бурого угля – 0,4 т у.т., нефти – 1,4, 1000 м<sup>3</sup> газа – 1,3 т у.т.

Ресурсы угля в России составляют 1/3 мировых, разведанные запасы – 1/5. Последние по стране составляют более 193 млрд т, из них 44 % каменные угли (в том числе 21 % коксующиеся) и 7 % антрациты. Остальное бурый уголь. Промышленные запасы действующих предприятий – 19 млрд т. Запасов угля в РФ для разработки при существующем уровне добычи хватит на 550 лет. На долю РФ приходится около 5 % мировой добычи угля [1-3].

В пределах Российской Федерации находятся 22 угольных бассейна и 129 отдельных угольных месторождений. Добыча угля ведется в 7 федеральных округах, 25 субъектах РФ и в 85 муниципальных образованиях, из которых 58 являются углепромышленными территориями на базе градообразующих угольных предприятий. На 01.01.2020 г. было 187 предприятий (57 угольных шахт, 130 разрезов). Почти вся добыча угля осуществлялась акционерными обществами. Три четверти всего добываемого угля приходилось на 15 крупных управляющих компаний, в их числе АО «СУЭК», АО «УК «Кузбассразрезуголь», АО ХК «СДС-Уголь», ООО «УК Мечел-Майнинг», «Северсталь-Ресурс», «ЕвразГрупп», Группа «Сибантрацит», ПАО «Кузбасская ТК» и др. Почти все шахты, добывающие коксующиеся угли, интегрированы в металлургические холдинги, среди них «Мечел-Майнинг» (группа «Мечел»), «ЕвразХолдинг» («ЕвразГрупп»), «Северсталь-Ресурс» («СеверСталь»), УГМК, «Холдинг Сибуглемет», Магнитогорский металлургический комбинат (ММК), Промышленно-металлургический холдинг (ПМХ).

В России в 2019 г. добыто 441,4 млн т угля, подземным способом – 107,3 млн т. Уголь потребляется во всех субъектах РФ. Основные потребители угля – это электростанции и коксохимические заводы. Открытым способом добыто 75,7 % российского угля (334,2 млн т). Главным по объему поставщиком угля является Кузнецкий угольный бассейн (57 % всего добываемого в стране угля и 75 % – углей коксующихся марок). Доля добываемого угля по бассейнам: Кузнецкий – 250,5 млн т, Канско-Ачинский – 41,2 млн т, Печорский – 10,2 млн т, Донецкий – 5,4 млн т. Из общего объема произведенного в стране угля 103 млн т приходится на коксующиеся угли. Масштаб и развитие горной промышленности определяют богатство страны, ее могущество и процветание [3–6]. Важная роль в этом отводилась угольной промышленности.

Динамика подземной добычи угля в России свидетельствует, что производство угля в России возрастало до 1988 г., после чего отмечен существенный спад в объемах добычи угля, обусловленный проводившейся реструктуризацией угольной отрасли. С 1999 г. отмечен рост объемов добычи угля подземным способом. Показатели очистной добычи угля подземным способом, причем преимущественно за счет интенсификации очистной выемки угля. Среднедействующее число оборудованных механизированными крепями очистных забоев в 2001 г. сокращено на 10 единиц, увеличена средняя длина лав на 5 м, скорость подвигания очистных забоев и добыча в них угля возросли, соответственно, на 6,3 м/сут и на 182 т/сут, доля комплексно-механизированных забоев (КМЗ) доведена до 90 %.

Показатели геологических запасов угля передовых стран мира приведены в табл. 1.1, а показатели развития угольной промышленности РФ – в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.1  
Геологические запасы угля в мире

Страна	Геологические запасы угля, млрд тонн	Доля, %
Россия	5319	36
США	3600	24
Китай	1500	10
Австралия	864	6
Канада	582	4
Прочие	2928,8	20

Т а б л и ц а 1.2  
Основные показатели развития угольной промышленности РФ

Наименование показателя	Годы						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020*)
Добыча угля, млн т, в том числе:							
Кузнецкий бассейн	395,4	263,7	257,9	298,3	280–310	310–330	375–430
Канско-Ачинский	144,6	92,9	108	133	149–164	152–165	169–178
Доля открытого способа добычи угля, %	51,2	30,6	35	37	49–63	61–78	78–114
	55,8	58	62	65	72	75	75–80

\*) Согласно ранее выполненным прогнозам.

Поставки угля на российский рынок с учётом импорта в первое десятилетие XXI века составили на электростанции – 107–128 млн т, коксохимзаводы – 37–44, населению – 22–27, остальным потребителям – 26–45 млн т.

Выполненные исследования большой группы ведущих ученых, геологов, горных инженеров и экономистов страны позволили получить новую оценку сырьевой базы отрасли при условии ее рентабельной работы в рыночной экономике. Все разведанные ранее запасы угля (201,7 млрд т) были разделены на «благоприятные» и «неблагоприятные». Установлены необходимость и возможность исключения около 40 % низкорентабельных инерентабельных запасов углей. Однако это не меняет принципиальной оценки угля как наиболее надежного энергоносителя на длительную перспективу ввиду значительных остающихся «потенциально рентабельных» его запасов, и в то же время позволяет исключить из разработки целые шахты и отдельные месторождения с запасами, не соответствующими современным технико-экономическим требованиям. Соответственно имеется возможность сконцентрировать добычу на запасах «высокотехнологичных» углей в наиболее благоприятных горно-геологических и природно-географических условиях, причём на наиболее рентабельных месторождениях угля.

Большинство благоприятных, высокотехнологичных разведанных промышленных запасов углей для подземной отработки сконцентрировано в двух угледобывающих регионах: Кузнецком каменноугольном бассейне и Воркутском месторождении Печорского бассейна.

Реструктуризация сырьевой базы отрасли во многом была связана с отказом от утвердившейся в условиях плановой системы концепции максимально полного извлечения запасов независимо от рентабельности добычи угля. Был введен рабочий термин «технологичность запасов», под которым понимается мера восприимчивости запасов угля в недрах к использованию высокопроизводительной техники, а также экономическая эффективность и величина экономического риска. Принятый термин соответствует международной классификации углей (рамочная классификация ООН), построенной на базе критериев рыночной экономики. Оценка рентабельности промышленных запасов углей производится с учётом их качества, издержек производства при их добыче, отпускных цен на различную угольную продукцию, а также соотношений размера вскрытых угольных запасов к их промышленным.

В результате указанного методического подхода может быть комплексно определена рентабельность промышленных запасов по предприятиям и произведена их ранжировка по эффективности освоения. На основании этой комплексной оценки определены первоочередные предприятия, на которых намечено повышение добычи угля в перспективе. Геологические запасы угольных

месторождений многообразны и содержат в углях различные минерально-сырьевые ресурсы и редкоземельные элементы. Газоносные пласты в больших количествах содержат экологически чистый энергоноситель (метан).

Ресурсы угля в недрах России составляют: до глубины 300 м – 52 %, от 300 до 600 м – 25 %, на глубинах 600–1200 м – 17 %, 1200–1800 м – 6 %. Каменные угли преобладают, их насчитывается 70 %, бурых – около 29,5 %, антрацитов – 0,5 %. Доля благоприятных для освоения запасов на полях действующих и строящихся предприятий – 68 %, на резервных участках – 86 %, на участках для реконструкции – 64 %. На глубинах до 300 м разведанные балансовые запасы углей составляют 73 %, на глубинах 300–600 м – 21 %, значительно меньше – на глубинах 600–900 м [4–7].

Роль угля в топливном балансе мировой экономической системы и России весьма значительна и приоритетна. Показатели развития угольной промышленности в России отмечены в «Энергетической стратегии развития России на период до 2020 года». Просматриваются пути развития угольной отрасли в Российской Федерации, причём с преобладанием открытого способа добычи угля. Топливно-энергетический баланс страны направлен в сторону угля, увеличения его доли в 1,6–2 раза. Весьма важным является, что в России создана необходимая инвестиционная база технологической реконструкции отрасли, в том числе и подземного способа добычи угля.

Возросли объемы добычи угля в ряде стран: в Китае – до 1180 млн т, США – 1100 млн т, Германии – 286 млн т, Индии – 249 млн т, Польше – 200 млн т. Среднедушевое потребление угля составило в США – 3,4 т, Германии – 3,6 т, России – 2,9 т, Китае – 0,98 т [8].

Основными угледобывающими бассейнами по подземной добыче угля являются Кузнецкий и Печорский, где проектная мощность действующих шахт России составляет 78,2 % от общей производственной мощности действующих предприятий по подземной добыче угля, а балансовые запасы угля в этих бассейнах – 81,9 %, промышленные – 84 %, обеспеченность запасами угля – 42–61,4 года [2]. В Кузнецком бассейне как по запасам, так и по добыче угля подземным способом, проектная производственная мощность составляет 59,6 %, балансовые и промышленные запасы угля – 70,1 % и 69,2 %, соответственно. В Печорском угольном бассейне производственная мощность шахт – 18,6 %. Балансовые запасы угля составляют 1133 млн т (против 6725,5 млн т в Кузбассе), промышленные запасы – 828,9 млн т, (против 3889,8 в Кузбассе). Шахты Воркуты самые глубокие в России, отдельные из которых превысили километровую отметку. На горных отводах, действующих в регионах России шахт по добыче угля подземным способом, газоносность пластов различна. Обеспеченность

промышленными запасами угля в различных регионах России составляет от 30 до 65 лет, а на отдельных предприятиях угледобывающих компаний, причем на газоносных месторождениях, от 25 до 140 лет [2].

Угольные месторождения России наиболее метанообильные в мире. Метаноносность пластов при марках углей от бурых до антрацитов ( $A_8$ - $A_9$ ) возрастает от 2–4 до 38–42 м<sup>3</sup>/т с.б.м. Показательными в этом плане являются угольные пласти Кузбасса: изменение природной метаноносности пластов различных марок углей с глубиной залегания от верхней границы метановой зоны до глубин 1200–1800 м [2, 8].

Чем больше метаноносность угольных пластов, тем выше метанообильность шахт. Наиболее производительные из них административно входили в состав АО «СУЭК», АО ОУК «Южкузбассуголь», АО УК «Кузбассуголь», АО УК «Южный Кузбасс», АО ПО «Сибирьуголь», АО «Воркутауголь». В числе самостоятельных шахт – это ЗАО «Распадская», АО «Шахта Воргашорская» и шахта «Заречная», разрабатывающие преимущественно пологие угольные пласти.

Горно-геологические условия разработки пластов угля Воркутского месторождения свидетельствуют о том, что: 1) шахты наиболее глубокие в России; 2) рабочие пласти весьма сближенные; 3) пласти угля наиболее метаноносные и опасные по газодинамическим явлениям и горным ударам; 4) угли пластов опасны по взрывам угольной пыли; 5) кровли пластов труднообрушаемые; 6) пологое падение пластов и их мощность позволяют применять средства комплексной механизации.

Подземным способом намечено добывать 144,17 млн т угля: в Кузбассе – 110,5, Печорском – 13,88, Восточном Донбассе – 7,37, Челябинском – 1,6. Повышение подземной добычи угля планируется только в Кузбассе (рост 45 %). В пределах шахтных полей Россия располагает значительными промышленными запасами углей (Кузбасс – 2,2 млрд т, Печорский – 0,55, Восточный Донбасс – 0,4).

Уголь России является топливом будущего и остается надежным и доступным энергетическим источником при нынешнем уровне техники. В мире на угле производится 39 % всей электроэнергии. Он является основой энергетики для стран Европы, Азии, Северной Африки и многих других регионов мира. В России уголь как энергоисточник для выработки электроэнергии используется на 25 % против 70–90 % в ряде промышленно развитых стран мира. Кроме того, многие месторождения России являются метаноносными, к числу которых относятся и углеметановые месторождения Кузбасса и Воркуты, метан которых в достаточно больших количествах можно извлекать и использовать.

В соответствии с принятыми Правительством РФ документами по стратегии развития энергетического сектора экономики, угольная промышленность в

перспективе до 2030 г. должна существенно увеличить долю угля в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) и удовлетворить внутренние потребности страны в энергоресурсах, и, прежде всего, в топливо обеспечении теплоэлектростанций (ТЭС) и сохранить завоеванные позиции на мировом угольном рынке. Для реализации поставленной стратегической задачи необходимо перевооружение технико-технологической базы отрасли для достижения конкурентоспособности угольного топлива за счет динамики роста производства угольной продукции и структуры ее производства, технологичности минерально-сырьевой базы отрасли.

Российские шахты могут быть рентабельными при добыче угля из комплексно-механизированного забоя не менее 3–5 млн т угля в год, то есть в среднем добывать 10–15 тыс т в сутки в различных горнотехнических условиях, в том числе при разработке метаноносных пластов угля с содержанием метана до 15–20 м<sup>3</sup>/т с.б.м. на отрабатываемых ныне и более глубоких горизонтах. При этом согласно базовому сценарию «Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2020 года», принятой Правительством РФ в 2007 году, предусматривается опережающий ввод мощностей угольной энергогенерации – 49 ГВт из 141 ГВт по всем видам генерации в 2020 году при 22 ГВт на ТЭС, 30 – на АЭС, 40 – на газовых ТЭС. Потребность в энергетических углях возрастет до 289 млн т (со 130 млн тонн в 2006 году), доля угля в топливном балансе ТЭС до 39 % (с 25 % в 2006 году). Производительность труда по шахтам РФ должна быть выше не менее, чем в 1,4–2 раза в сравнении с показателями лучших российских шахт, причем все это за счет широкого внедрения новых технико-технологических решений, обеспечивающих достижение лучших мировых показателей.

На объемы подземной добычи угля оказывает метаноносность угольных пластов, в пределах (табл. 1.3) и достигают для углей марки Г – 12–15 м<sup>3</sup>/т с.б.м., пластов с марками углей К и ОС – от 15 до 23 м<sup>3</sup>/т с.б.м., значения которой изменяются в широких пределах.

Влияние петрографического состава углей на метаноносность угольных пластов проявляется в газовых, жирных и коксовых углях, метаноемкость которых увеличивается по мере повышения содержания в них фузинита. Петрографический состав длиннопламенных, тощих и более метаморфизованных углей на их метаноносность оказывает менее заметное влияние. Повышенное содержание микрокомпонентов группы витринита способствует увеличению числа трещин в угле и повышению его газопроницаемости. Более высокое содержание фузинита в углях увеличивает их сорбционную метаноемкость [4].

Т а б л и ц а 1.3

## Изменение метаноносности угольных пластов от марки углей

Марка угля	Метаноносность угольных пластов, м <sup>3</sup> /т с.б.м.
Б	2–4
Д	4–8
Г	8–12
Ж	12–15
К	15–26
ОС	26–32
Т	32–38
А <sub>8</sub> –А <sub>9</sub>	38–42
А <sub>10</sub> –А <sub>11</sub>	42–2
А <sub>12</sub> –А <sub>14</sub>	2–0

Влияние глубины залегания пластов угля и марки углей на природную метаноносность пластов при различной глубине верхней границы метановых газов на примере Кузнецкого бассейна весьма существенно. Природная метаноносность углей увеличивается от длиннопламенных до коксующихся и снижается от коксующихся до антрацитов. При этом с глубиной залегания пластов метаноносность углей всех марок в Кузбассе возрастает.

Учитывая большие колебания в числовых значениях метаноносности угольных пластов и антрацитов целесообразно решать проблему оценки ресурсов метана и возможных объемов его извлечения с учётом природных свойств углей в условиях конкретных месторождений угля и горных отводов угольных шахт, отдавая предпочтение перспективным метаноносным бассейнам, месторождениям и отдельным шахтам. К их числу, в первую очередь, следует отнести Кузнецкий угольный бассейн и Воркутское месторождение.

По степени технологичности разработки запасов угля в России выделены 3 группы: высокотехнологичные, технологичные и низкотехнологичные. За критерий технологичности принимается нагрузка на очистной забой, соответствующая горно-геологическим условиям залегания пластов угля. В связи с этим сформулированы следующие приоритетные направления развития подземной добычи угля:

- 1) совершенствование традиционных комплексно-механизированных технологий добычи угля;
- 2) строительство угледобывающих предприятий для отработки свиты не-глубоких угольных пластов комбинированным открыто-подземным способом;
- 3) развитие нетрадиционных технологий угледобычи;

4) использование механизма проекта совместного осуществления (ПСО) в рамках ратифицированного Россией и Германией протокола по снижению выбросов парниковых газов и повышению безопасности ведения горных работ на предприятиях обеих стран.

Для добычи угля на метаноносных угольных месторождениях несомненный интерес представляют направления № 1 и № 4.

Технический прогресс в сфере деятельности человечества не мог не затронуть угледобывающую отрасль передовых стран, в том числе и России. Интенсивно внедрялись передовые технологии подготовительных и очистных работ, способы и схемы проветривания как выработок, так и в целом угольных шахт. Сочувственствовались и технические решения по обеспечению безопасности ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях залегания и отработки пластов угля, метаноносность которых резко возрастила с глубиной, росли и объемы выделения метана по мере увеличения объемов угледобычи. Во второй половине XX века возникла потребность в дегазации источников метановыделения.

### *1.2. Производительность очистных забоев в метанообильных шахтах*

Скоростное ведение очистных работ влияет на границы зон разгрузки свиты угольных пластов. Подвигание очистных забоев с высокими скоростями приводит к смещению в сторону выработанного пространства зон начала и максимума газовыделения из сближенных пластов угля в выработки и дегазационные скважины, что приводит к перераспределению метановых потоков в выработках шахты (табл. 1.4).

Т а б л и ц а 1.4

Доля метанообильности выработанного пространства в газовом балансе шахты и участка

Шахта	Среднесуточная добыча угля, тонн	Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин		
		шахты	выемочного участка / индекс отраба- тываемого пласта	выработанного пространства действующего участка
Им. С.М. Кирова	11274	100,4	70,4/24	57,7
Им. В.Д. Ялевского (бывш. «Котинская»)	11578	51,9	48,4/52	37,1
«Абашевская»	2856	81,7	45,5/26	40,1
«Алардинская»	3341	152,8	61,0/3-3а, 21	50,7
«Есаульская»	4952	169,3	61,9/26	59,0
«Осинниковская»	1545	96,2	46,7/E5	39,6

Для эффективной работы метанообильных очистных забоев по добыче угля необходимы мероприятия по снижению интенсивности метановыделения из выработанных пространств путем применения средств дегазации сближенных угольных пластов и выработанных пространств, прежде всего, в пределах действующих выемочных участков и отработанных полей.

Аэrogазодинамическое состояние высокопроизводительных выемочных участков оценено утечками воздуха, которые свидетельствуют об их значительных объемах из призабойного пространства лавы в выработанное пространство. Положительная по газу ситуация наблюдается на выемочных участках с применением комплексной дегазацией по снижению интенсивности метановыделения из основных источников.

Безопасность ведения очистных работ в значительной степени зависит от концентрации метана в выработанных пространствах, которая утечками воздуха из призабойного может разбавляться до взрывоопасного содержания в пределах 5–15 % (по объему). Схема определения необходимого расхода воздуха в выработанном пространстве очистного забоя приведена на рис. 1.1.

Применительно к конкретным горнотехническим условиям отработки угольного пласта устанавливается количественная связь между среднесуточной добычей угля ( $A$ , т/сут) на участке и интенсивностью выделения метана ( $I_{в.п}$ , м<sup>3</sup>/мин) в выработанное пространство, то есть зависимость  $I_{в.п} = f(A)$ , обозначенная цифрой 1. Затем определяются необходимые расходы воздуха в выработанном пространстве при наперед заданных содержаниях в нем метана (с, %).

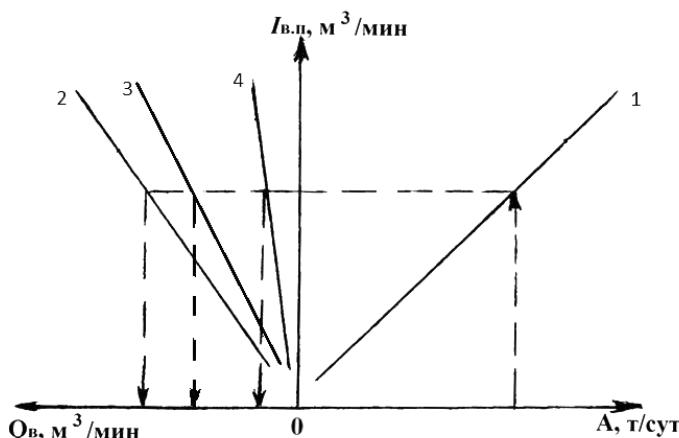


Рис. 1.1. Схема определения расхода воздуха в выработанном пространстве очистного забоя:  
1 – зависимость между среднесуточной добычей угля и интенсивностью метановыделения,  
2, 3 и 4 – расходы воздуха в выработанном пространстве выемочного участка  
при содержании в нем метана 2, 5 и 15 %, соответственно

Управление состоянием углепородного массива в современных условиях является ключевым технологическим процессом, обеспечивающим достижение стратегических условий конкурентоспособности подземной угледобычи в России, более трети продукции которой направляется на внешний рынок. Метанообильность ряда шахт РФ при объеме добычи угля до 3–4 млн т в год достигает 150 м<sup>3</sup>/мин. Устранение негативного влияния «газового фактора» предусматривает применение оптимальных в горнотехнических условиях технологических схем подготовки и отработки угольных пластов, способов вентиляции и дегазации угольных шахт, утилизации шахтного метана (ШМ). Определяющая роль отводится технико-технологическим решениям по управлению газовыделением средствами вентиляции, дегазации угольных пластов и выработанных пространств [4–7].

Эффективность технико-технологических решений при разработке метаноносных угольных месторождений в значительной степени определяется существующей нормативно-правовой базой, разработанной по циклу исследований, выполненных специалистами ИПКОН РАН, определило необходимость предварительной дегазацию при разработке угольных пластов с природной газоносностью более 13,0 м<sup>3</sup>/т с.б.м., стимул для извлечения и утилизации ШМ при подземной угледобыче из газоносных угольных пластов [9–11]. Указанное требование обусловило повышение эффективности дегазационных работ в Кузнецком бассейне, как одного из основных инструментов снижения метанообильности и предотвращения вспышек и взрывов метанопылевоздушных смесей в шахтах.

Интенсификация горных работ в период начала XXI века и необходимость дальнейшего повышения безопасности горных работ по газовому фактору определили целесообразность совершенствования нормативной базы [9].

Опыт применения очистной угледобывающей техники на угольных шахтах России и основные показатели подземного способа добычи угля приведены в табл. 1.5 и 1.6.

На высокопроизводительных шахтах среднесуточная добыча угля составляла от 3,8 до 14,0 тыс. т. В 2001 г. в работе находилось 70 % очистных комплексов первого и второго поколений и только 24 % механизированных крепей третьего поколения, импортное оборудование составляло 6 %. На шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» в 2019 г. добыча угля достигла 10 389 т, АО Шахтоуправление «Талдинское-Кыргайское» – 9410 т, ООО «Шахта Листвянская» – 9229 т.

Учитывая положительный опыт работы шахт РФ и угледобывающих отраслей зарубежных стран, можно ожидать, что в России на подземных работах найдут широкое применение высокой энерговооруженности и большого ресурса очистные комплексы для производства угля на протяженных выемочных участках с длиной лав 250–300 м, где возможна среднесуточная добыча 5–15 тыс. т

угля на пластах мощностью 1,8–4,5 м. Однако такие нагрузки на очистные забои в метанообильных шахтах РФ без применения эффективных технологий дегазации не могут быть достигнуты по газовому фактору.

На пластах с высокой метаноносностью рентабельная добыча угля возможна только при использовании комплекса современных способов проветривания выемочных участков и средств снижения метановыделения из основных источников. При этом средства дегазации разрабатываемых пластов должны обеспечивать эффективность дегазации не менее 40–50 %. Нижнее значение упомянутой эффективности подземной дегазации пласта в настоящее время достижима, а для верхнего (50 % и более) предложены научно обоснованные технико-технологические решения на основе эффективных методов воздействия на массив угля с целью повышения газоотдачи в дегазационные скважины.

Подземная разработка метаноносных угольных пластов представляет собой сложную техническую проблему вследствие ряда причин. Это, как правило, склонность углей к самовозгоранию, высокая газоносность, ударо- и выбросоопасность, сложная сеть горных выработок в пласте и т. д. Поэтому важное значение имеет предварительная подготовка шахтных полей и их частей к эффективному использованию прогрессивной технологии угледобычи [4–7]. На практике широко получили применение методы дегазации, снижающие объемы выделения метана в горные выработки и выработанные пространства из сближенных пластов угля [9].

Таблица 1.5

## Основные показатели подземного способа добычи угля на метаноносных месторождениях РФ

Наименование показателей	Единица измерения	Предприятие					
		АО «Воркутауголь»	Шахта «Воргашорская»	АО УК «Кузбассуголь»	АО УК «Кузнецкотоль»	Шахта «Распадская»	АО «Межгорченско-уголь»
Добыча угля	млн т/год	$\frac{8,979}{8,227}$	$\frac{3,411}{0,650}$	$\frac{16,702}{5,683}$	$\frac{15,212}{11,487}$	$\frac{6,374}{6,374}$	$\frac{1,771}{1,716}$
Число шахт / очистных забоев	шт.	6/18,1	1/7	21/32	13/18,6	1/5,1	2/3,6
Добыча угля из действующих очистных забоев	млн т/год	8,136	3,180	15,105	13,812	5,765	1,483
Среднесуточная добыча угля	тыс. т/сут	29,0	9,9	48,4	42,3	18,0	5,0
Среднедействующая длина линии очистных забоев	м	3539	840	4752	3266	1014	498
Среднемесячное подвигание линии очистных забоев	м/мес	58,1	71,3	74,7	90,9	99,1	43,0
Добыча угля из одного действующего очистного забоя	т/сут	1452	1949	1399	2078	3215	1276
Проведение подготовительных выработок	тыс. м/год	26,7/25,4**)	10,2/10,2	103,4/86,6	77,2/74,5	31,2/31,2**)	11,8/11,8**)

Окончание таблицы 1.5

Наименование показателей	Единица измерения	Предприятие					
		АО «Воркутауголь»	Шахта «Воргашорская»	АО УК «Кузбассуголь»	АО УК «Кузнецкуголь»	Шахта «Распадская»	АО «Межуреченский уголь»
Среднесписочная численность работников по основному виду деятельности	тыс. чел.	16,499	3,264	26,872	20,102	4,653	2,868
Примечание							
* ) Числитель – всего, знаменатель – для коксования.							
**) Числитель – всего, знаменатель – с механизированной погрузкой угля и породы.							

Таблица 1.6

## Показатели добычи угля в очистных забоях шахт России

Наименование показателей	Шахта				
	«Полосухинская»	«Есаульская»	«Заречная»	«Галдинская-Западная»	Им. С.М. Кирова
Очистной комплекс	4КМ138	3КМ138	3КМ138	КМ138	КМ130
Вынимаемая мощность пласта, м	2,7–2,8	2,3	2,0	2,5	4,7
Длина очистного забоя, м	175	184	211	250	150
Продолжительность добычи угля, мес.	5	12	1	7	9
Объем добываемого в лаве угля, млн т	—	1,3	—	1,0	0,93
Среднесуточная добыча угля, тыс. т/сут	3,9	5,0	5,7	5,2	3,8
					5,2
					14,0

## 2. ПРИРОДНЫЕ ГАЗЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

### 2.1. Газы призабойного пространства горных выработок

Шахтные газы – это, прежде всего, метан с примесью диоксида углерода и азота, иногда водорода, сероводорода, тяжелых углеводородов, оксидов углерода и азота, прочих опасных для здоровья газов. Минимально допустимые концентрации опасных газов в рудничном воздухе действующих горных выработок установлены Правилами безопасности в угольных шахтах\*).

Геология газов угольных месторождений в значительной степени определена их угленасыщенностью, вековой миграцией газов, газоносностью и газопроницаемостью пластов угля и пород, условиями залегания, формами связи природных газов с углами.

В подземных условиях природные газы в рудничном воздухе с различной степенью их разбавления свежим воздухом склонны к воспламенению, горению и взрывам. Прежде всего, это касается метана, температура воспламенения которого в различных газотермодинамических условиях изменяется в пределах 650–750 °C при концентрации метана в воздухе 5–15 %. Этот показатель для окиси углерода составляет 610–658 °C, водорода – 530–590 °C, сероводорода – 290–320 °C.

Свойства газов сведены в таблицу 2.1.

Т а б л и ц а 2.1  
Состав и показатели газов

Газы	Формула	Энергия разрыва связей, кДж/моль	Температура воспламенения, °C	Теплота горения, ккал/моль	Пределы воспламенения, % (об)
Метан	CH <sub>4</sub>	440	650–750	308–424	5,3
Водород	H <sub>2</sub>	435	530–590	115–136	4,0–75
Сероводород	H <sub>2</sub> S	340–360	260–320	271,5	4,3–45*)
Оксид углерода	CO	1070,3	630–700	134,9	12,5–74**)
Диоксид углерода	CO <sub>2</sub>	531,4	610–658	–	–

\* ) При 6 % образуется взрывоопасная смесь.  
\*\*) Взрывоопасная смесь с воздухом.

\*) Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»: приказ Ростехнадзора от 19 ноября 2013 г. № 550.

Процессы формирования взрывоопасных ситуаций в угольных шахтах протекают значительно быстрее при наличии в рудничной атмосфере гибридных смесей в различных сочетаниях объемов метана, сероводорода, оксида и диоксида углерода и угольной пыли. При этом исследована интенсивность выделения метана и тонкодисперсной пыли в горные выработки в процессе разрушения массива угля комбайнами и выноса пыли потоками воздуха по сети горных выработок и в выработанное пространство выемочных участков.

Актуальны исследования по содержанию в углях других взрывоопасных вещественных и газовых компонентов, способствующих формированию в забоях взрывоопасных ситуаций. Этапом таких исследований является изучение элементного состава углей и газосодержащих пород, его анализ по фактору взрывоопасности и опасности дыхания для шахтеров.

Из многообразия природных свойств углей, влияющих на процессы выделения взрывоопасных газов, прежде всего, метана и тонкодисперсной пыли, следует выделить внутренние петрографические разности, в числе которых основные группы витринита и фюзинита, а также группы семивитринита и лейптина. Их содержание в углях изменяется в широких пределах и зависит от типа углей, характеризуемых показателем выхода летучих веществ.

По показателю отражательной способности углей теплота сгорания микрокомпонентов группы лейптина более высокая, чем у остальных групп и достигает 38 МДж/кг при отражательной способности  $R_o = 1,0\%$ . Пределы содержания лейптина по обследованным угольным пластам Кузбасса и Воркутского угольного месторождения приведены в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

Содержание лейптина в углях

Угольное месторождение	Пласт	Содержание лейптина, %
Кузнецкий бассейн	Байкаимский *)	2,8–11,2
	14**)	6–18
	III**)	2–4
	Горелый *)	2,6–10,5
Воркутское месторождение	Мощный **)	2,9–6,0
	Четвертый *)	2,0–5,5
	Тройной *)	5–6

\*) Вспышки и взрывы метана.

\*\*) Взрывы метана и угольной пыли.

Присутствие в углях лейптиита способствует высокой вероятности взрывов метановоздушных и метанопылевоздушных смесей.

Практика ведения горных работ в угольных шахтах показывает, что каждый пятый–седьмой взрыв метана и пыли происходит от фрикционного искрения в процессе трения резцов исполнительного органа комбайна с включениями в пласте пирита. Облако горения пиритной пыли по времени в десятки раз превышает время существования раскаленного следа, появляющегося в процессе взаимодействия резцов с крепкими породами. Воспламенение метана происходит практически мгновенно при наличии в рудничном воздухе в различных сочетаниях водорода, сероводорода, оксида углерода. При этом с увеличением содержания пирита в угольном пласте время достижения критической температуры окисления резко уменьшается уже при содержании пирита от 1,5 % и более. Минимальная энергия воспламенения углеводородов и угольной пыли зависит от температуры окружающей среды. Вспышка метана инициирует воспламенение пыли. Нижний предел взываемости пыли находится в зависимости от выхода летучих веществ и составляет для отложившейся тонкодисперсной взвешенной пыли менее 40 г/м<sup>3</sup> при V<sup>daf</sup> более 30 %.

Анализ взрывоопасных ситуаций на угольных шахтах РФ свидетельствует, что от фрикционного искрения по пириту в сравнении с песчаником аварийность происходила в 4–6 раз чаще. Среди источников зажигания метана доля фрикционного искрения составляет 30–50 %, взрыва – 14–26 %. Число взрывов, вызванных фрикционным искрением, за 10 лет (1991–2000 гг.) составило 25 против 43 в течение предыдущих 30 лет. Тяжесть травматизма возросла в 2,5 раза.

Основная причина воспламенения метанопылевоздушных смесей в шахтах – отсутствие эффективных технико-технологических решений по подаче воды на раскаленный след, появляющийся в процессе контакта резцов комбайна с крепкими включениями пород в угольном пласте, в том числе с железным колчеданом (пиритом), пылевые частицы которого склонны к воспламенению.

Аварийность на шахтах по факторам газа и угольной пыли зафиксирована многократно, преимущественно на глубоких шахтопластах Кузнецкого бассейна и Воркутского месторождения. Наиболее аварийными по трагичности были шахты «Ульяновская» и «Распадская», «Осинниковская» (включая бывш. шахты «Капитальная», «Высокая», «Тайжина») и «Алардинская» в Кузбассе (16 случаев) и «Комсомольская», «Воркутинская», «Северная» в Воркуте (15 случаев). Причем, кроме упомянутых двух факторов, другие потенциально опасные факторы не учитывались и не были изучены. В их числе элементный состав углей, прежде всего, содержание железа и серы.

Исследованы образцы угля, отобранные на 10 пластах Кузбасса (11 образцов) и на 3 пластах Воркутского месторождения (20 образцов). Методика

исследования заключалась в механическом измельчении угля и определении в углях содержания 9 элементов вещественного состава с использованием рентгенофлюоресцентного спектрометра OLYMPUS X-5000.

Элементный состав веществ в углях газоносных пластов свидетельствует, во-первых, о силикозоопасности подземных условий для шахтеров, работающих в забоях, причем в большей степени в шахтах Воркуты (содержание силиция до 8,75 %) и, во-вторых, о потенциальной взрывоопасности атмосферы забоев по фактору фрикционного искрения при работе комбайнов в очистных и подготовительных выработках. Они опасны как на шахтах Кузбасса при содержании железа до 3 % и серы до 1,89 %, так и особо опасны в забоях шахт АО «Воркутауголь» при содержании в пластах угля железа до 4,6 % и серы до 5,8 %.

Доказательством для таких выводов является аварийность на шахтах Кузбасса и Воркуты по газопылевому фактору в период 1986–2016 гг. При числе шахт, работавших по добыче угля на глубоких газоносных пластах Воркутского месторождения, на порядок меньшем, чем в Кузнецком угольном бассейне, число взрывов газопылевых смесей в упомянутый период времени оказалось по актам аварийности практически равным (15 и 16 случаев). Поэтому надо учитывать не только содержание в рудничной атмосфере угольной пыли и метана, но и элементный состав включений в газоносных углях, прежде всего, железа и серы. Возможно, что это обусловлено тем, что мероприятия по увлажнению угольных пластов через скважины на шахтах Воркуты не проводились из-за неосвоенной технологии бурения длинных пластовых скважин.

Наличие в шахтной атмосфере метана до 3 % (об) снижает величину нижнего предела взрывоопасности угольной пыли в 6 раз, а невзрывоопасную пыль антрацита делает взрывоопасной. При повышении содержания в углях микрокомпонентов группы витринита с 35–50 % до 85–90 % смещает начало его термического разложения, а также снижает его энергию активации с 77,7 до 9,8 кДж/моль, соответственно, при понижении температуры с 130–110 до 90–84 °С. Скорость выделения летучих веществ в процессе прогрева угольной пыли до 300 °С увеличивается с 0,025 до 0,7 см<sup>3</sup> / с·г. Количественное содержание элементов в углях необходимо учитывать при определении показателей сорбции углей.

Наиболее взрывчатая угольная пыль состоит из частиц размером менее 100–60 мкм, а присутствие в ней микрокомпонентов группы лейптина и взрывоопасных фракций пирита при его содержании в угле от долей до первых процентов ускоряет развитие процесса воспламенения и взрыва метанопылевоздушной смеси. При этом после взрыва угольной пыли содержание микрокомпонентов лейптина снижается в 20 раз, пирита в 8 раз, витринита в 1,3 раза. Изменяется и содержание других петрографических компонентов (табл. 2.3).

Особые характеристики присущи сероводороду. При температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа нижний предел температуры его воспламенения составляет 290–320 °С, начало термического разложения – 310 кДж/моль, пределы взрывоопасных концентраций по объему – 4,3–45 %, энергия разрыва связей – 363 кДж/моль, дипольный момент 0,68. Эти показатели ставят сероводород на ведущее место по степени взрывоопасности газов.

Т а б л и ц а 2.3  
Содержание в углях петрографических компонентов

Условия	Содержание (среднее), %					
	витринит	флюзинит	семивитринит	лейптилит	пирит	минеральные примеси
До воспламенения и горения	69,7	12,4	11,7	2,0	1,2	4,3
После воспламенения и горения	54,4	21,3	18,2	0,1	0,15	6,1
Снижение содержания	1,3	–	–	20	8	–
Увеличение содержания	–	1,7	1,6	–	–	1,4

Присутствие в углях Кузбасса и Воркутского угольного месторождения сероводородсодержащих веществ отводит особую роль сероводороду в процессе формирования взрывоопасных ситуаций на выемочных участках метанообильных шахт. Оценено влияние петрографических компонентов на метаноносность углей и интенсивность выделения метана и тонкодисперсной пыли в рудничную атмосферу. Отмечена потенциальная взрывоопасность газов и пыли при фрикционном искрении, возникающем при работе очистных комбайнов в зонах пласта, содержащего пирит.

Показатели метанообильности угольных шахт Воркуты и Кузбасса приведены в табл. 2.4–2.6.

Т а б л и ц а 2.4

Показатели метанообильности шахт Воркуты при среднесуточной добыче угля

Шахта	Обозначение на рис. 2.1	Добыча угля, тыс. т/сут	Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин
«Воргашорская»	1	10,4–15	70,5–125
«Северная»	2	5,0–6,9	150–240
«Комсомольская»	3	4,2–6,2	143–210
«Воркутинская»	4	2,1–4,1	100–240
«Заполярная»	5	2,4–5,4	105–235

Значительное повышение среднесуточной добычи угля при отработке мощных угольных пластов возможно за счет проветривания выемочных участков и снижения выделения метана из источников (табл. 2.7). Процент извлечения метана средствами дегазации в различных горно-геологических условиях должен составлять: при метанообильности до 30 м<sup>3</sup>/мин – 30–50 %, от 30 до 40 м<sup>3</sup>/мин – 50–65 % и более 60 м<sup>3</sup>/мин – 75–80 %. При этом объемы каптируемого метана от достигнутого необходимо увеличить в 3–10 раз. На шахтах же с низкой эффективностью дегазации, но с достаточно высокой метанообильностью, этот показатель должен возрасти в 5–10 раз.

Т а б л и ц а 2.5

Показатели метанообильности шахт Центрального Кузбасса

Шахта	Обозначение на рис. 2.1	Добыча угля, тыс. т/сут	Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин
«Заречная»	1	12,7–15	88–90
им. В.Д. Ялевского (б. «Котинская»)	2	5,1–26	62–100
Им. С.М. Кирова	3	11,2–16,6	99–150
«Полысаевская»	4	4,7–15,5	79–210
«Октябрьская»	5	6,4–16	55–220
«Комсомолец»	6	4,4–12	39–240
«Чертинская»	7	3,0–7,5	124

Т а б л и ц а 2.6

Показатели метанообильности шахт Южного Кузбасса

Шахта	Добыча угля, тыс. т/сут	Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин
«Алардинская»	3,3–8,5	40–60
«Распадская»	4–24	60–41,5
«Есаульская»	9–12,5	100–170
«Абашевская»	6,1–81,6	80–185

## Т а б л и ц а 2.7

Показатели дегазации при отработке мощных пластов угля

Шахта	Добыча угля, т/сут	Метанообильность шахты		Объемы каптируемого метана, м <sup>3</sup> /мин	Дегазируемые источники метана	Извлечение метана средствами дегазации, %
		абсолютная, м <sup>3</sup> /мин	относительная, м <sup>3</sup> /мин			
<i>Воркутское месторождение</i>						
«Комсомольская»	6890	189	60,6	114	Подрабатываемые пласти угля	39,3
«Воргашорская»	16540	106	9,2	8	Выработанное пространство	7,5
<i>Кузнецкий бассейн</i>						
«Распадская»	21250	108	7,3	1,3	Выработанное пространство	1,2
«Октябрьская»	7240	99	19,7	14,4	Подрабатываемые пласти и выработанное пространство	14,5
«Полысаевская»	5910	59	14,4	24,2	То же	40,9

Интенсификация очистных работ, посадка непосредственной и основной кровли при отработке угольных пластов приводят к повышению газовыделения в выработки. Наибольшую сложность представляет задача сглаживания пиковых значений концентрации метана в период посадок основной кровли. Это задача решается средствами дегазации, она является необходимым элементом технологических схем ведения очистной выемки угля на высокогазообильных добычных участках. Нормальная по газовому фактору обстановка характеризуется не только тем, что средняя концентрация метана остается ниже допустимой, но и тем, что при случайных или периодических повышениях концентрации она не превзойдет значений, регламентированных Правилами безопасности.

В наиболее газообильных шахтах Печорского и Карагандинского бассейнов при разработке первого в свите сближенного пласта выделение метана на выемочном участке достигает 50–70 м<sup>3</sup>/мин, в отдельных случаях и более. В этих

условиях на дегазационную систему ложится основная нагрузка: эффективность комплекса способов и схем дегазации должна составлять 60–80 %, достигая в отдельные периоды 85–90 %. Передовыми по подземной добыче угля были угольные компании как АО «СУЭК-Кузбасс», АО ХК «СДС-Уголь», АО «Мечел», ЗАО «Северсталь-ресурс», АО «ОУК «Южкузбассуголь», ООО «УК «Заречная». Наиболее крупными производителями угля для коксования стали «Мечел», «Сибуглемет», «Северсталь», «СДС-Уголь», «Евраз», «Распадская», «УГМК», «Белон», «СУЭК», «ПМХ» (кокс).

## 2.2. Метанообильность выемочных участков с комплексно-механизированными забоями

Основные показатели метановыделения в наиболее производительных шахтах Воркуты и Кузбасса сведены в табл. 2.8, в которой показана категория опасности шахт по метану: среднесуточная добыча угля на четырех метанообильных шахтах превышала 10 тыс. тонн угля, а метановыделение в среднем составляло на шахтах АО «Воркутауголь» 100–150 м<sup>3</sup>/мин при добыче угля от 4095 до 6890 т/сут, на шахтах Кузбасса – от 11 до 170 м<sup>3</sup>/мин при объемах добычи угля 1600–12 780 т/сут. На шахтах со среднесуточной добычей угля более 11 тыс. т метановыделение составляло от 50 до 100 м<sup>3</sup>/мин (шахты им. С.М. Кирова, «Котинская», «Заречная»). Наиболее метанообильной была шахта «Есаульская» (169,3 м<sup>3</sup>/мин) при среднесуточной добыче угля 4952 тонн.

Метанообильность опасных по внезапным выбросам угля и газа шахт АО «Воркутауголь» изменялась в пределах 33,4–101,6 м<sup>3</sup>/т, шахт Кузбасса – от 10,9 до 41,2 м<sup>3</sup>/т, сверхкатегорных шахт Воркуты и Кузбасса – 13,8–83,3 м<sup>3</sup>/т. На шахте им. В.Д. Ялевского (бывш. «Котинская»), отнесенное к III категории по метану, этот показатель составил 6,6 м<sup>3</sup>/т при абсолютном метановыделении 51,9 м<sup>3</sup>/мин и среднесуточной добыче угля 11 578 тонн.

Т а б л и ц а 2.8

Метанообильность шахт Воркуты и Кузбасса

Шахта	Добыча угля, т/сут	Метановыделение, м <sup>3</sup> /мин	Относительная метанообильность, м <sup>3</sup> /т	Категория по метану
Воркутское месторождение				
«Северная»	6890	149,0	59,8	Опасная по внезапным выбросам
«Комсомольская»	6170	143,0	33,4	То же

О кон ч ани е т а б ли цы 2.8

Шахта	Добыча угля, т/сут	Метановыделение, м <sup>3</sup> /мин	Относительная метанообильность, м <sup>3</sup> /т	Категория по метану
Воркутское месторождение				
«Воркутинская»	4095	100,5	101,6	То же
«Заполярная»	5486	105,3	86,2	То же
«Воргашорская»	10 465	126,2	17,4	Сверхкатегорная
Кузнецкий бассейн				
Им. С.М. Кирова	11 264	100,4	12,8	Сверхкатегорная
«Котинская»	11 578	51,9	6,6	III категория
«Заречная»	12 787	88,4	11,7	Сверхкатегорная
«Заречная» (шахто-участок Октябрьский)	6440	61,8	13,8	То же
«Польсаевская»	5321	46,8	52,9	То же
«Комсомолец»	2359	39,0	26,6	То же
«Чертинская-Коксовая»	3034	124,1	40,3	Опасная по внезапным выбросам
«Чертинская-Южная»	1598	11,4	10,9	То же
«Абашевская»	2856	81,6	41,2	То же
«Есаульская»	4952	169,3	59,5	Сверхкатегорная
«Алардинская»	3341	152,8	83,3	То же
«Юбилейная» (2 район)	4724	106,6	32,5	То же
«Распадская»	3978	41,5	15,0	То же

Для технологических схем разработки газоносных пластов рекомендовано прямоточное проветривание с обособленным разбавлением метана по источникам его выделения. По такой схеме проветриваются высокопроизводительные очистные забои Кузбасса и Воркуты на пластах, не склонных к самовозгоранию. Лучшие результаты по допустимой нагрузке на лаву достигаются при прямоточной схеме проветривания (см. табл. 2.8), при которой наибольшее значение присуще и эффективности дегазации (табл. 2.9).

Развивать подземную добычу угля планируется на основе применения прогрессивной технологии, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов при одновременном улучшении условий труда и техники

безопасности. На таких шахтах реальна концентрация горных работ, выражающаяся в высокой производительности очистных забоев и достаточных для подготовки фронта очистных работ темпах проведения подготовительных выработок.

Т а б л и ц а 2.9

Сравнение схем проветривания выемочного участка

Схема проветривания выемочного участка	Природная газоносность, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Допустимая нагрузка на лаву по метану, т/сут		Коэффициент дегазации подрабатываемых пластов
		без дегазации	с дегазацией разрабатывающего пласта (К <sub>дег.пл</sub> = 40 %)	
Прямоточная	10/20	3100/2000	5100/3300	0,7
Возвратноточная	10/20	1500/1000	3000/2000	0,25
Возвратноточная с делением лавы на две раздельно проветриваемые части	10/20	3200/2200	5200/3600	0,7
Возвратноточная (комбинированная) с газоотсосом*	10/20	2800/1200	—	—

\*<sup>)</sup> По допустимой концентрации метана в выработанном пространстве (дренажном штреке) схема не отвечает требованиям безопасности по газовому фактору.

Воркутское месторождение является наиболее газоносным и освоенным. Его разработка в настоящее время ведется четырьмя шахтами, которые отрабатывают пластами угля рудницкой подсвиты, и шахтой «Воргашорская». Незначительная глубина залегания поверхности зоны метановых газов и наличие экрана пород в состоянии вечной мерзлоты обусловили высокую газоносность углепородной толщи месторождения, которая на глубинах 800–1000 м составляет 25–28 м<sup>3</sup>/т, относительная метанообильность шахт – 60–70 м<sup>3</sup>/т, а на выемочных участках – до 80–90 м<sup>3</sup>/т. При этом абсолютная газообильность газовых шахт достигает 170 м<sup>3</sup>/мин, выемочных участков – 80–90 м<sup>3</sup>/мин. При такой метаноильности выработок невозможно достижение высоких показателей работы угольных шахт и, в первую очередь, нагрузки на очистной забой, без применения прогрессивной технологии ведения очистных работ в сочетании с эффективными методами управления метановыделением, включающими рациональные схемы проветривания выемочных участков и эффективные способы дегазации источников метановыделения.

При выборе технологических решений следует учитывать зависимость метанообильности от среднесуточной добычи угля и содержание метана в пластах и выработанных пространствах.

Фактические объемы метановыделения на современных глубинах подземной разработки угля составляют 13–14 кг СН<sub>4</sub>/т, что существенно влияет на интенсивность отработки высокометаноносных угольных пластов и рентабельность подземного способа производства угля. При этом весьма важной является своевременная подготовка угольных пластов к отработке с последующим обеспечением шахт и забоев необходимым количеством воздуха и мероприятиями по эффективной дегазации источников метановыделения как для снижения метанообильности очистных и подготовительных выработок, так и для извлечения кондиционных по метану газовоздушных смесей, пригодных для утилизации. Без реализации перечисленных мероприятий по интенсивной отработке метаноносных пластов угля нельзя эффективно использовать высокопроизводительную угледобывающую технику в комплексно-механизированных забоях (КМЗ), доля которых на шахтах России составляет 86–90 %. На газообильных участках КМЗ кроме вентиляции должен применяться комплекс способов и схем дегазации разрабатываемых и сближенных угольных пластов с максимально возможной эффективностью в конкретных горнотехнических условиях: не менее 30 % при дегазации разрабатываемых угольных пластов, 70–80 % – при дегазации сближенных пластов и выработанных пространств.

Метаноносность угля при разработке свиты угольных пластов влияет на интенсивность метановыделения в выработки выемочных участков и, естественно, на метанообильность шахт, величина которой существенно зависит от объемов добытого угля. Так, при газоносности пласта Болдыревский (пласт 24-ая шахта им. С.М. Кирова), равной  $X = 15,2 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ , и среднем коэффициенте его предварительной дегазации в интервале глубин 350–400 м от земной поверхности, равном 0,2, газоносность пласта после скважинной дегазации составляла  $X' = 12,2 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ , а с учетом влияния на массив угля горного давления естественной его дегазации уровень, которой оценен коэффициентом 0,69, газоносность пласта в зоне выемки угля комбайном –  $X_b = 4,2 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ . При выходе летучих веществ  $V^{daf} = 40 \%$  метановыделение в лаве при работе комбайна с производительностью  $j = 7,4 \text{ т/мин}$  составило  $I_k = 8,9 \text{ м}^3/\text{мин.}$  Показатели дегазации необходимо повышать.

Прогнозы метанообильности выемочных участков с учетом фактических данных о геологическом строении свиты угольных пластов, горнотехнических условий их отработки, физико-механических и газодинамических свойств пластов угля, позволяют рекомендовать эффективные способы, схемы и параметры дегазации основных источников метановыделения, определенные в соответст-

вии с положениями Инструкции по дегазации угольных шахт. Производство угля в КМЗ достигает 10–15 тыс. тонн угля в сутки, а в отдельных случаях при меньшей метанообильности – до 25–30 тыс. т/сут. Такая интенсивность добычи угля оказывает влияние на объемы метановыделения и перераспределение газового баланса очистных забоев и выемочных участков. Показатели метанообильности проектируемых участков в блоке № 3 шахты сведены в табл. 2.10.

Т а б л и ц а 2.10

Метанообильность и газовый баланс выемочных участков при высоких нагрузках на лаву (шахта им. С.М. Кирова)

Наименование показателя	Угольный пласт	
	Болдыревский	Поленовский
<i>Метаноносность, м<sup>3</sup>/т с.б.м:</i>		
природная пластина (Х)	16,5	18,5
отбитого угля (Х1)	13,6/4,5*	15,2/4,5*
<i>Метанообильность, м<sup>3</sup>/т:</i>		
разрабатываемого пласта (q <sub>пл</sub> )	2,58/5,5*	3,0/6,7*
сближенных пластов (q <sub>с.п</sub> )	24,0	4,9
вмещающих пород (q <sub>пор</sub> )	0,4	0,5
выемочного участка (q <sub>уч</sub> )	26,98/29,9*	8,4/12,1*
<i>Метановыделение на участке с дегазацией (по прогнозу), м<sup>3</sup>/мин</i>	185,3	15,2
<i>Добыча угля, т/сум:</i>		
возможная	13 147	10 396
допустимая по газовому фактору / плановая	4197/13 147**	2014/10 396**
<i>Газовый баланс выемочного участка, доли ед.:</i>		
разрабатываемый пласт (n <sub>пп</sub> )	0,1/0,2*	0,36/0,55*
выработанное пространство (n <sub>в.и</sub> )	0,9/0,8*	0,64/0,45*

\* Числитель – показатели по Руководству [14], знаменатель – по предлагаемым ИПКОН РАН зависимостям.

\*\* Числитель – допустимая нагрузка на лаву по газовому фактору, знаменатель – нагрузка на лаву, которую необходимо обеспечивать средствами дегазации и вентиляции.

Высокоинтенсивная отработка газоносных и выбросоопасных пластов угля на выемочных участках требует глубокой дегазации не разгруженных от

горного давления разрабатываемых пластов угля. При этом, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2011 г. № 315, дегазация угольного пласта обязательна, если природная метаноносность пласта превышает  $13 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$  и вентиляцией невозможно обеспечить содержание метана в исходящей струе очистной выработки менее одного процента.

При значительных объемах поступления метана в призабойное пространство лавы из выработанного пространства (сближенных пластов и пород) возникает необходимость в более глубокой предварительной дегазации разрабатываемого пласта. На высокопроизводительных выемочных участках со сложным газовым балансом требуется мероприятия по комплексной дегазации основных источников метановыделения. При этом чем больше величина природной метаноносности разрабатываемого пласта и производительность очистного комбайна, тем меньше величина нижнего предела метаноносности подвергаемого предварительной дегазации пласта, то есть потребуется более глубокая степень его искусственной дегазации, больше будет извлечено метана и меньше его выделятся в рудничную атмосферу.

На пластах с вынимаемой мощностью 1,5–4,5 м и минутной производительностью очистного комбайна 5,1–10,6 т/мин необходимая степень скважинной дегазации угольного массива должна достигать 0,3–0,4 или 0,35–0,45 по уровню снижения метановыделения из разрабатываемого пласта в призабойное пространство лавы. Такой уровень дегазации разрабатываемых угольных пластов достижим при использовании перекрещивающихся скважин [9]. Для более глубокой дегазации неразруженных пластов угля потребуется применение способов искусственного повышения газопроницаемости и газоотдачи угольного массива в скважины предварительной пластовой дегазации до их бурения, либо использовать более плотную сетку перекрещивающихся скважин.

Параметры дегазации разрабатываемых пластов угля определяются в основном их газоотдачей в скважины, продолжительностью функционирования скважин, метановыделением из пласта по прогнозу, длиной очистного забоя (лавы) и мощностью угольных пачек пласта. При этом в формуле для расчета расстояния между пластовыми подземными скважинами по действующему нормативному документу [9] метановыделение из пласта должно приниматься по его прогнозной величине.

Для рентабельной работы шахт в различных горнотехнических условиях необходимо добывать не менее 3 млн т угля в год, то есть не менее 3 тыс. т угля в сутки на тонких пластах и 10–15 тыс. т в сутки и более на средней мощности и мощных, что при нынешнем состоянии дегазационных работ затруднительно для высокометанообильных шахт.

### 3. МЕТАНООБИЛЬНЫЕ ШАХТЫ

Исследования начаты в условиях, когда фактические данные по газовыделению на выемочных участках соответствовали очистным забоям с добычей угля 400–1000 т/сут. в условиях Донецкого угольного бассейна, затем продолжены на шахтах Карагандинского и Кузнецкого угольных бассейнов, Воркутского месторождения угля при нагрузках на лавы 3–5 тыс. т в сутки и более.

Потенциальными источниками метана в шахтах являются метаноносные пласти угля, залегающие в стратиграфическом разрезе угленосной свиты как подрабатываемые пласти в кровле рабочего пласта, так и надрабатываемые в его почве.

#### *3.1. Очистные забои на пологих угольных пластах*

Разработка пластов угля вызывает сдвижение пород под- и надрабатываемого массива. Непосредственно над выработанным пространством образуется зона беспорядочного обрушения пород, высота которой равна 6–8 мощностям вынимаемого пласта, далее – область упорядоченного опускания слоев пород с образованием пустот расслоения и трещин. В надрабатываемой толще также образуется зона трещинообразования и расслоения, но меньшей интенсивности, чем в подработанном массиве. Область опускания и поднятия слоев переходит постепенно в область плавного прогиба без разрыва сплошностей.

В разрабатываемом пласте угля по контуру выработанного пространства формируются зоны повышенных напряжений, т. е. зоны опорного давления, где напряжения в 2–3 раза превышают величину напряжений в нетронутом массиве [2–4].

Изменение напряженного состояния пласта обычно оценивается величиной деформаций, вызываемых действием сил горного давления. Сближенный угольный пласт, залегающий на некотором расстоянии от разрабатываемого пласта, также испытывает деформации сжатия в зоне опорного давления, деформации расширения в зоне разгрузки и повторные деформации сжатия в зоне уплотнения пород. На контактах слоев пород с различными физико-механическими свойствами и внутри однородных слоев возникают пустоты расслоения. Последние после отхода забоя лавы (в зоне уплотнения пород), постепенно закрываются и исчезают. Протяженность пустот расслоения и открытых трещин у подвижной границы выработанного пространства (забоя лавы) ориентировано равна шагу обрушения пород основной кровли. Вблизи же неподвижных границ выработанного пространства, т. е. вентиляционных и откаточных штреков (или ходков при

отработке пластов угля лавами по падению или восстанию) пустоты расслоения и открытые трещины могут сохраняться в течение нескольких месяцев, иногда и лет.

Изгиб слоев пород кровли и возникающие в них растягивающие усилия приводят к образованию трещин, ориентированных перпендикулярно напластованию. Эти трещины служат главными каналами поступления метана из разгружаемых пластов угля и газоносных пород в выработанное пространство лавы.

Слои пород надрабатываемой толщи при переходе из зоны опорного давления в зону разгрузки смещаются в сторону призабойного и выработанного пространства и испытывают деформации расширения, что приводит к разрыву сплошности массива на контактах слоев и, следовательно, к образованию пустот расслоений и крупных трещин, аккумулирующих выделяющийся из надрабатываемых пластов угля метан. Последний по трещинам разлома слоев поступает в выработанное пространство лавы. Протяженность пустот расслоения в надработанном массиве может быть весьма значительной, если имеются слои крепких пород, например, песчаников, замедляющих процесс уплотнения пород в выработанном пространстве. В этом случае в полостях расслоения могут находиться большие объемы метана, внезапные прорывы которого приводят к загазированию очистных участков, а иногда и к несчастным случаям.

Интенсивность трещинообразования и расслоения пород уменьшается с увеличением межпластовой толщи. Разгрузка горного массива протекает постепенно. Зона разгрузки характеризуется деформациями расширения и простирается вверх в подрабатываемую толщу и вниз – в надрабатываемую. Наличие в межпластовых толщах мощных слоев крепких пород снижает степень разгрузки массива.

Изменение напряженного состояния угольных пластов и вмещающих пород оказывает существенное влияние на процесс истечения газа в выработанное пространство лавы и в дегазационные скважины. Газовыделение в выработки очистных участков может быть значительно снижено, если дегазационные скважины пробурены до начала разгрузки газоносного массива угля. Принудительное извлечение газа вакуумными системами приводит к перераспределению объемов метана и путей его движения. Поэтому основными задачами при ведении дегазационных работ на шахтах являются выявление зон повышенного газовыделения в дегазируемом массиве, своевременное бурение скважин в область последующей интенсивной его разгрузки, организация бесперебойной и эффективной работы дегазационной системы, контроль продуктивности скважин и всей дегазационной системы с целью снижения газообильности выработок и использования каптируемого в шахтах метана.

Местоположение зон повышенного газовыделения зависит от геологических (глубина разработки, угол падения, мощность разрабатываемого пласта и сближенных пластов, мощность между пластами, литологический состав пород и др.) и горнотехнических факторов (система разработки, способ управления кровлей, схема проветривания участка, скорость подвигания лавы и ее длина, наличие ранее отработанных участков).

Глубина залегания угольных пластов, угол их падения, вынимаемая мощность пласта, система разработки, параметры лавы и способ управления кровлей влияют на размеры зон обрушения пород и разгрузки горного массива, а скорость подвигания лавы, состав вмещающих пород и мощность между пластами – на расположения зоны интенсивной разгрузки и обильного выделения метана на очистном участке.

В конкретных горнотехнических условиях отработки угольных пластов по принятым на шахтах технологическим схемам очистных и подготовительных работ выбор способов в расчет параметров дегазации осуществляют на основе рекомендаций нормативного документа по дегазации угольных шахт [9]. Однако в процессе ведения дегазационных работ возникает необходимость в корректировке параметров дегазации, в том числе параметров дегазационных скважин. Задача корректировки состоит в том, чтобы учесть такие факторы как литологический состав пород между пластами, параметры и скорость подвигания лавы. Последний фактор существенно влияет на местоположение зоны повышенного газовыделения в под- и надрабатываемом массиве.

Согласно [9], скважина, пробуренная на сближенный пласт, должна подключаться к газопроводу до того, как начнет разгружаться дегазируемый ею пласт. Поэтому важно знать параметры зоны и время начала газовыделения в скважины, чтобы своевременно выполнить буровые работы.

С изменением величины между пластами изменяются размеры и местонахождение зон опорного давления, разгрузки массива, начала и максимума газовыделения в скважины. При дегазации сближенных пластов скважинами, пробуренными вкрест простирации пород, практическое значение имеет лишь время от начала снижения напряжений в массиве, когда интенсифицируется процесс газоотдачи, до уплотнения обрушенных пород. В течение всего этого времени скважины функционируют продуктивно. Но не всегда имеются благоприятные условия для поддержания скважин в выработанном пространстве после прохода лавы на весь этот период. Это касается прежде всего столбовой системы разработки с погашением выработок за лавой, при которой распространена схема дегазации скважинами, пробуренными из вентиляционной выработки навстречу лаве.

При разработке и дегазации угольных пластов необходимо знать местоположение зон опорного давления и разгрузки, зон начала и максимума газовыделения в скважины, функционирующие на очистном участке. Поэтому были проанализированы и обработаны многочисленные данные наблюдений за изменением горного давления и газовыделения на пологих пластах различных бассейнов страны. Данные о газовыделении и расположении дегазационных скважин в пространстве очистного участка обрабатывались по методике [11–17]. Отмечено смещение зоны начала газовыделения относительно зоны максимума опорного давления. С увеличением мощности междупластья зоны сдвигаются в сторону выработанного пространства, причем смещение зон относительно друг друга возрастает.

В области близких значений мощности междупластья в подрабатываемой толще проекция зоны начала газовыделения на разрабатываемый пласт, необходимая для расчета параметров скважин и определения времени их бурения, превышает по величине проекцию зоны максимума опорного давления. Так, в сближенном пласте, расположенному в подработанной толще на расстоянии 15–20 и 45–50 м, проекция зоны начала газовыделения на разрабатываемый пласт находится в выработанном пространстве, соответственно, в 10–15 и 25–40 м от забоя лавы, в то время как проекция максимума опорного давления в первом случае в 2–5 м впереди забоя лавы, во втором – в 5–10 м позади лавы. В надрабатываемой толще сравниваемые проекции при мощности междупластья 5–10 м составляют, соответственно, +5...–5 и 10–20 м впереди лавы, а при междупластье 30–35 м – 5–20 м позади забоя лавы и 1–15 м впереди него [11] (см. рис. 3.1 и рис. 3.2).

Для определения местоположения зон повышенного газовыделения обработаны многочисленные данные наблюдений за продуктивностью скважин. Область интенсивного газовыделения в скважины определялась относительно забоя лавы и характеризовалась координатами  $x_{max}$ ,  $y_{max}$ ,  $z_{max}$  в прямоугольной системе координат с центром отсчета в точке пересечения плоскости пласта и нормальных к ней плоскостей, ориентированных вдоль забоя лавы и вентиляционной выработки. Координата  $z_{max}$  – это нормаль от центра области максимального газовыделения на плоскость разрабатываемого пласта,  $x_{max}$  и  $y_{max}$  – расстояние от проекции максимума газовыделения на плоскость разрабатываемого пласта, соответственно, до забоя лавы и вентиляционной выработки.

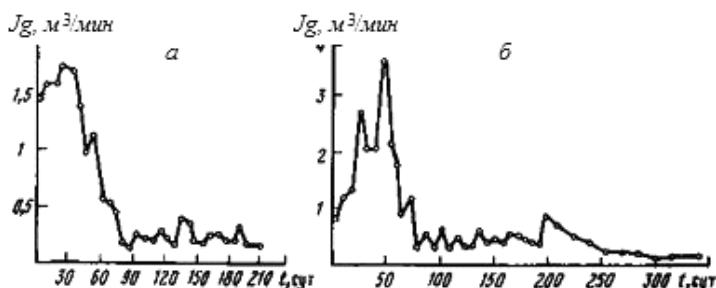


Рис. 3.1. Изменение дебита  $J_g$  метана во времени  $t$  при угле возвышения скважины  $50^\circ$  (а) и  $65^\circ$  (б)

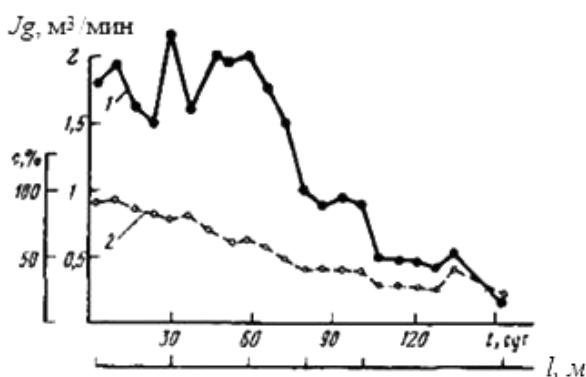


Рис. 3.2. Изменение дебита  $J$  (1) и содержания «с» (2) метана в зависимости от времени  $t$  и расстояния от лавы  $l$

При дегазации скважинами, пробуренными на сближенные пласти, координата  $z$  принимается равной мощности междупластья. В том случае, если дегазацию сближенных пластов осуществляют бурением скважин над куполами обрушения, то величину  $z$  находят опытным путем [11, 17] или принимают с последующим уточнением ее величины. Координаты  $x$  и  $y$  существенно зависят от скорости подвигания лавы.

Газообильность выработок и эффективность дегазации определялись как в отдельные дни с учетом объемов добычи угля, расположения скважин и условий отсоса газа, так и в среднем за месяц и за весь период работы лавы. Характерной особенностью работы дегазационных скважин, пробуренных на сближенные пласти вкrest их простирания, является то, что они эффективно функционируют только в период активной разгрузки массива дегазируемых ими пластов угля.

Абсолютное значение дебита метана из скважин зависит от времени их бурения, параметров скважин и скорости подвигания лавы, определяющих пространственно-временные координаты точек пересечения скважинами дегазируемых сближенных пластов относительно забоя лавы (координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Дегазационная скважина, пересекая породы между пластами и угольные пласти, служит каналом, по которому выделяющийся из коллекторов газ отводится в вакуумную систему шахты.

Кривые, приведенные на рис. 3.1, и характеризующие истечение метана из скважин с указанными параметрами, отличаются местоположением максимума газовыделения, временем его наступления и темпом снижения газовыделения во времени. В первом случае скважины начинают функционировать уже в частично разгруженной зоне сближенного пласта (см. рис. 3.1, *а*), во втором – с начала разгрузки дегазируемого массива (см. рис. 3.1, *б*). Скважины, пробуренные с углом возвышения  $60\text{--}65^\circ$ , продуктивнее – выше дебит и объемы извлекаемого метана, более высокая его концентрация в каптируемой газовоздушной смеси (50–90 %, об.).

Для повышения эффективности дегазации необходимо расширять область влияния скважин за счет своевременного их бурения. Если дегазационные скважины пробурены до начала разгрузки дегазируемого массива, то продуктивность их повышается на 25–30 %, газообильность участка дополнительно снижается на 15–20 %. Значительное отставание буровых работ приводит к тому, что скважиной извлекается меньше газа, метан в больших количествах выделяется на вентиляционный штрек вблизи лавы, возможны также обильные местные выделения метана в рудничную атмосферу, в том числе из несвоевременно подключенных к газопроводу скважин.

Бурение скважин на сближенные пласти из вентиляционной выработки после прохода лавы приводит к тому, что значительное трещинообразование в породах кровли и их смещение за лавой вызывают подсосы воздуха из выработанного пространства. Чем меньше глубина герметизации, тем больше процент подсосов воздуха и ниже содержание метана в каптируемой газовоздушной смеси. С удалением лавы от скважины содержание метана в смеси снижается. Глубину герметизации скважин, пробуренных на сближенные пласти из вентиляционных выработок, следует принимать 15–20 м, чтобы исключить значительные подсосы воздуха и иметь содержание метана в каптируемой смеси не менее 40–50 %.

Эффективность дегазации на очистных участках определялась по результатам наблюдений за газовыделением из скважин и материалами газовоздушных съемок. Среднемесячная эффективность дегазации за весь срок отработки участка колебались в пределах 35–70 %.

При сплошной системе разработки пластов угля и современном бурении скважин скорость подвигания лавы несущественно влияет на снижение эффективности дегазации сближенных пластов. Увеличение скорости подвигания лавы в 2 раза приводит к снижению коэффициента дегазации только на 5–10 % его первоначальной величины. Местоположение максимума газовыделения в скважины в значительной степени зависит от скорости движения очистного забоя.

Увеличение скорости движения лавы в 2–3 раза привело к двукратному смещению местоположения максимума газовыделения в сторону, противоположную движению очистного забоя, т. е. в выработанное пространство. Такое существенное смещение зоны максимума газовыделения на выемочных участках с высокими нагрузками на лаву следует учитывать при выборе режима работы дегазационных скважин на очистном участке.

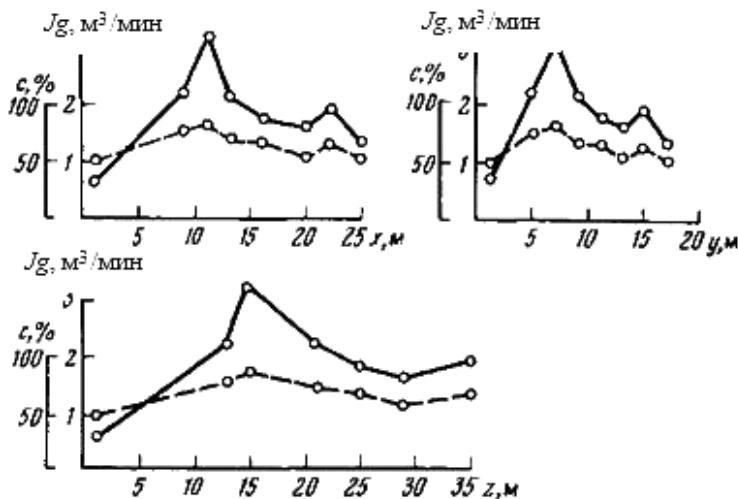


Рис. 3.3. Изменение дебита  $J_g$  и содержания «с» метана в скважинах, пробуренных на сближенные пласти, в зависимости от координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$

Из рис. 3.3 видно, что дегазационная скважина, пробуренная на сближенный пласт, удаленный на 25 м от разрабатываемого пласта, извлекала наибольшее количество метана тогда, когда забой лавы отстоял от скважины на расстоянии 9–13 м. В это время функционирования скважины она находилась над забоем лавы в точке с координатами  $y = 5–8$  м и  $z = 13–21$  м. Скважина должна быть загерметизирована в породах кровли мощностью, равной 6–8 кратным вынимаемым мощностям разрабатываемого пласта, чтобы в дегазационной системе содержание метана не снижалось ниже 50 %, а подсосы воздуха были сведены до минимума.

Применение комплексной дегазации разрабатываемого и сближенных пластов обеспечивает снижение газообильности очистного участка 50–60 %.

### *3.2. Дегазация сближенных пластов при столбовой системе разработки*

При столбовой системе разработки пологих угольных пластов применяются способы дегазации разрабатываемого и сближенных пластов скважинами, пробуренными из подготовительных выработок.

На участках с погашением выработок за лавой и возвратноточной схеме проветривания скважины на сближенные пласти бурятся в основном из вентиляционных выработок навстречу движущейся лаве. При этом скважины могут быть пробурены на под- и надрабатываемые сближенные пласти или над куполами обрушения.

Основным и весьма существенным недостатком схемы дегазации скважинами, пробуренными навстречу движущейся лавы, является малый срок службы скважин, которые подрабатываются лавой и функционируют в зоне ее влияния, что приводит к большим подсосам воздуха из выработанного и призабойного пространства лавы. Скважины, пробуренные на сближенные пласти из погашаемых выработок с пересечением слоев крепких пород, зачастую срезаются лавой раньше, чем разгружается сближенный пласт в месте его пересечения скважиной. Затраты времени и средств на бурение таких скважин не окупаются. Эффективность дегазации в этом случае не превышает 10–15 % [9, 11].

Эффективность дегазации сближенных пластов на участках, отрабатываемых по столбовой системе разработки с возвратноточной схемой проветривания, была повышена до 40–45 % путем бурения скважин над куполами обрушения.

Содержание метана в выработанном пространстве очистного забоя определено наблюдениями за газовыделением из скважин. Установлено, что в большинстве своевременно пробуренных скважин отмечалось сначала увеличение дебита метана, а после достижения некоторого уровня, равного 1,3–5,5 м<sup>3</sup>/мин, последующее его снижение. Однако были и такие скважины, газовыделение из которых снижалось сразу же после окончания их бурения. Время функционирования скважин определялось в основном скоростью подвигания лавы и составляло 15–40 сут. Содержание метана в каптируемой газовоздушной смеси изменилось от 5 до 60 % (об.), причём достаточно высокие значения (40–50 %) приходились на первые 5–10 сут. функционирования скважин со снижающимся дебитом метана в течение 10–20 сут. Были также и малопродуктивные скважины с дебитом метана менее 1 м<sup>3</sup>/мин и его содержанием до 30 % (об.).

Продуктивность скважин и содержание метана в каптируемой газовоздушной смеси зависят от процесса разгрузки сближенных пластов, времени посадки экранирующего слоя крепких пород, местоположения скважин и взаимного влияния их друг на друга. Более продуктивны те скважины, время функционирования которых совпадает по времени с процессом разгрузки сближенных пластов и обрушением пород основной кровли. Если же скважина начинала функционировать в момент завершения процесса интенсивной разгрузки угленосной толщи и имела аэродинамическую связь с выработанным или призабойным пространством лавы, то эффективность ее была низкая.

Для укороченных скважин, пробуренных над куполами обрушения, установлена зависимость дебита метана от параметров  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (рис. 3.4–3.5). Из графиков видно, что имеются зоны повышенного газовыделения: наибольшее газовыделение в скважины отмечено на расстояниях  $x$  (от устья скважины до лавы), равных 18–40 м,  $y = 7$ –14 м и  $z = 7$ –16 м.

Обобщение многочисленных данных позволило выделить две зоны повышенного газовыделения, расположенные в области с координатами  $y = 4$ –8,  $z = 8$ –12 м и  $y = 8$ –14,  $z = 12$ –20 м (рис. 3.4). В этих зонах концентрация метана в каптируемой смеси составляла 40–80 % (см. рис. 3.5, б). Наибольшие значения координат ( $y = 14$  и  $z = 20$ ) необходимо брать при расчете параметров дегазационных скважин, т. е. ее длины, углов возвышения и разворота, меньшие ( $y = 4$  и  $z = 8$ ) – для определения времени отключения скважин от дегазационной сети. Длина скважины определяется с учётом скорости подвигания лавы, скорости бурения скважины, координат  $y$  и  $z$ . В процессе дегазации выемочных участков параметры скважин могут быть скорректированы на основе уточненных координат зоны повышенного газовыделения. Эффективность дегазации  $k_d$  повышается до 50–55 %.

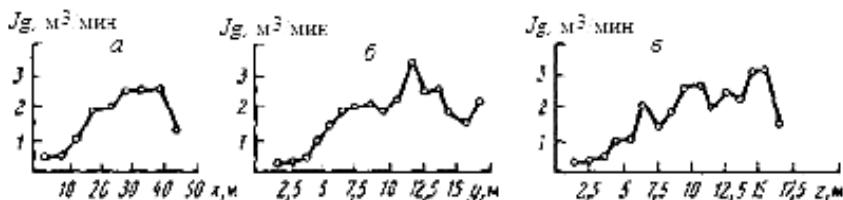


Рис. 3.4. Изменение дебита метана из скважин, пробуренных над куполами обрушения, в зависимости от координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$

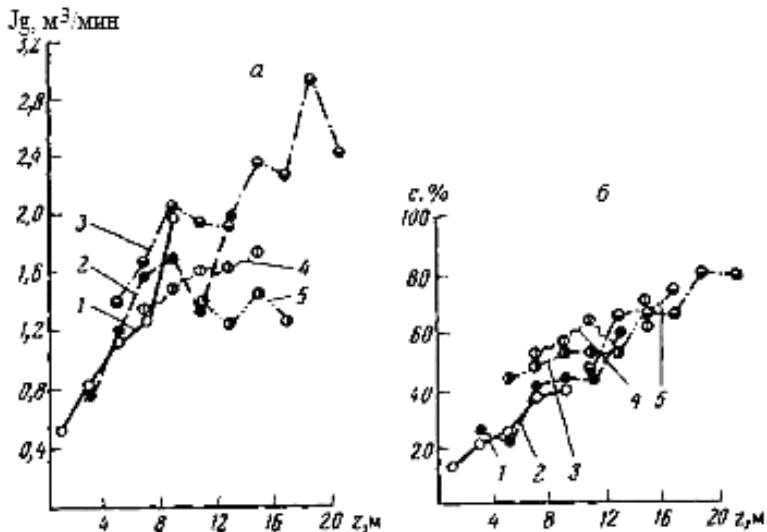


Рис. 3.5. Изменение дебита (а) и содержания (б) метана в скважинах, пробуренных над куполами обрушения, в зависимости от мощности пород между пластом (координат  $z$ ): 1, 2, 3, 4 и 5 – при расстоянии от вентиляционной выработки (координата  $y$ ), равном, соответственно, 2, 6, 10, 14 и 18 м

Для повышения эффективности дегазации сближенных пластов на выемочных полях, отрабатываемых по столбовой системе с погашением выработок за лавой, иногда оставляют в завале газопровод и подключенные к нему скважины. Такое мероприятие позволяет увеличить объемы каптируемого метана и его концентрацию в отсасываемой смеси, но это противоречит ПБ.

Широко применяется отработка угольных пластов по столбовой системе, прямоточной схеме проветривания и подсвежением вентиляционной выработки, поддерживаемой за лавой, позволяют подавать в 1,5–2 раза больше воздуха на участок и обеспечивать длительное время функционирования дегазационных скважин, пробуренных на сближенные пласти из сохраняемой выработки. Значительные утечки воздуха из лавы на вентиляционный штрек рассредоточено выносят метан из выработанного пространства и предотвращают скопление метана на сопряжении.

Дегазационные скважины, пробуренные на расстоянии 40–50 м от монтажной камеры не смогли создать благоприятные по газовому фактору условия, хотя в дальнейшем эффективность дегазации составила до 70 % (рис. 3.6).

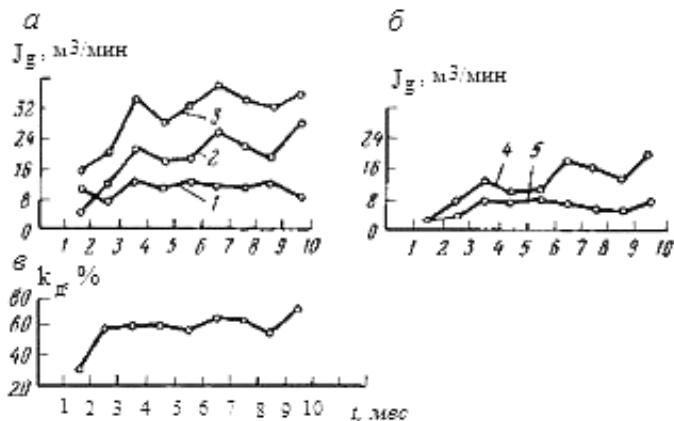


Рис. 3.6. Газовыделение на участке (а), в скважины (б) и эффективность дегазации (в) при столбовой системе разработки с поддержанием вентиляционной выработки за лавой:  
 1, 2, 3 – газовыделение, соответственно, в выработки, скважины и на участке,  
 4, 5 – газовыделение в скважины при под- и надработке

### 3.3. Формирование метановых потоков вблизи очистного забоя

Наиболее сложная газовая обстановка возникает при столбовой системе разработки и возвратно-точной схеме проветривания, когда весьма затруднительно добиться необходимого снижения метановыделения из выработанного пространства. Обусловлено это, прежде всего, тем, что на глубоких горизонтах доля газовыделения из выработанного пространства возрастает, эффективность дегазации обычно не превышает 40–50 %. Для добычи 2000–3000 т/сут. угля на газоносных пластах эффективность дегазации в целом по участку должна составлять 60–80 %.

Концентрация горных работ и интенсификация угледобычи значительно сокращают сроки отработки выемочных полей, что сказывается на эффективности существующих способов и схем дегазации. При дегазации сближенных пластов, обусловленной напряженно-деформированным состоянием горных пород, важно знать не только время отработки полей или скорость подвигания лав, но и процессы, протекающие в горном массиве и оказывающие влияние на газовыделение в скважины и на эффективность дегазации сближенных угольных пластов.

Для повышения эффективности дегазации разработан метод, с помощью которого оценивалась эффективность скважин, определялось местоположение зон повышенной газоотдачи, проводилась корректировка параметров скважин и

устанавливается режим их работы. Исходными данными являются газовыделение из дегазационных скважин, концентрация метана в каптируемой смеси, параметры дегазационных скважин (длина  $L$ , углы возвышения  $\beta$  и отворота от оси штрека  $\varphi$ ), угол падения пласта  $\alpha$ . Используются также тригонометрические зависимости и формулы преобразования координатных осей, которые представлены в виде, удобном для применения на участках с лавами по простирианию, восстановлению падению пласта [17].

Для оценки эффективности и выбора рациональных параметров дегазации были пробурены скважины над куполами обрушения на 5 шахтах Донбасса. Скважины бурились устаревшей буровой техникой из вентиляционных штреков, их длина составляла 20–50 м, угол возвышения 10–45°, угол разворота от оси вентиляционного штрека 5–45°, расстояние между устьями скважин при столбовой системе разработки и погашении штрека 10–20 м, при сплошной 30–50 м.

Зоны повышенного газовыделения определялись следующим образом. Дебит и концентрация метана в скважинах замерялись 2–4 раза в неделю в течение всего времени их функционирования. В дни наблюдений за газовыделением фиксировалось положение линии забоя лавы и определялась координата  $x$  (расстояние от устья скважины до лавы). Затем определялись текущие координаты  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  (рис. 3.7). На участках с лавами по простирианию пласта координата  $x' = x$ , в лавах по восстанию или падению  $x' = x \cdot \cos\alpha$ .

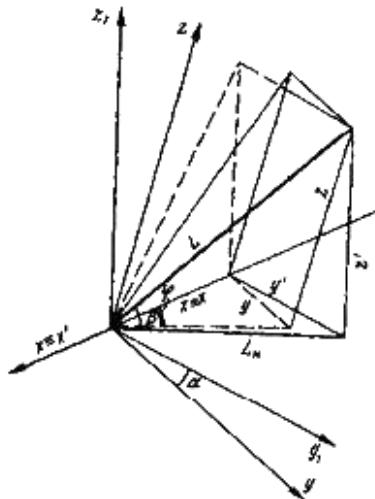


Рис. 3.7. Схема к определению координат скважины на добывчном участке (лава по простирианию пласта)

Координаты  $y'$  и  $z'$  рассчитывались по формулам

$$y' = x' \operatorname{tg} \varphi, z' = x' \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \varphi}. \quad (3.1)$$

По найденным значениям  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  и замерам дебита метана на конкретных участках оценивалась эффективность скважин, устанавливалась область повышенного газовыделения и уточнялись параметры скважин.

Для исследования влияния угла падения пласта на местонахождение зон повышенной газоотдачи определялись координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , характеризующие положение скважин в день замера газовыделения относительно плоскости пласта и нормальных к ней плоскостей, проходящих вдоль вентиляционной выработки и лавы. Величины  $x$ ,  $y$ ,  $z$  рассчитывались по формулам пересчета координат применительно к участкам с различными системами разработки способами и схемами дегазации. При этом были выделены схемы дегазации для сплошных и столбовых систем разработки, лав по простирианию, восстанию и падению пласта, а также по направлению бурения скважин (навстречу лаве или по ходу ее движения, в сторону падения или восстания пласта).

Каждой схеме дегазации соответствуют определенные формулы пересчета координат. Так, при столбовой системе разработки пласта координаты  $y$  и  $z$  для скважин, пробуренных навстречу лаве в сторону падения пласта из вентиляционного штрека (см. рис. 3.7), рассчитывают по формулам

$$y = y' \cos a - z' \sin a; z = z' \cos a + y' \sin a, \quad (3.2)$$

а для скважин, пробуренных из вентиляционного ходка, на участке с лавой по восстанию или по падению, по формулам

$$y = y' \pm z' \cos a \mp x' \sin a. \quad (3.3)$$

Знак «+» принимается в формулах для расчета координаты в лавах по восстанию, знак «-» в лавах по падению пласта.

Наблюдения по установлению зависимости дебита и концентрации метана в скважинах от времени дегазации и координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  проводились на участках, отрабатываемых при столбовой системе разработки лавами по простирианию (шахта им. Засядько – пять лав по пласту  $m_3$  и две лавы по пласту  $l_1$ ), восстанию и падению (шахта им. Бажанова – три лавы по пласту  $m_3$ , шахта им. Кирова – две лавы по пласту  $l_8$ ), при сплошной системе разработки лавами по простирианию (шахта им. Поченкова – две лавы по пласту  $m_3$ ) и по восстанию (шахта «Чайкино» – две лавы по пласту  $m_3$ ).

Анализ эффективности скважин с различными параметрами позволил установить следующее.

Газовыделение из скважин, пробуренных над куполами обрушения лав по простианию при столбовой системе разработки, изменялось в значительных пределах. Оно зависело от параметров скважин, т. е. от расположения забоя скважины, характеризуемого величинами  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , посредством которых определяли местонахождение зон повышенной газоотдачи на выемочных участках.

При дегазации лав пласту  $m_3$  значения дебита и содержания метана (среднее по пяти лавам) составляли, соответственно,  $0,6\text{--}3 \text{ м}^3/\text{мин}$  и  $15\text{--}80 \%$ . Нижние пределы в указанных интервалах дебита и содержания метана наблюдались тогда, когда скважины располагались на расстоянии от вентиляционного штрека  $y$  и плоскости пласта  $z$  менее  $4 \text{ м}$  (рис. 3.8, а, б). Более эффективно скважины функционировали при координатах  $y = 7\text{--}13$  и  $z = 8\text{--}20 \text{ м}$ , где наблюдалась высокие дебиты (см. рис. 3.8, а) и содержание метана (см. рис. 3.8, б). Максимальное газовыделение в различных лавах отмечено на расстоянии  $x$ , равном  $15\text{--}35 \text{ м}$ .

При обратном порядке отработки пласта  $\frac{1}{8}$  лавами по восстанию были более эффективны те скважины, которые пробураны над куполами обрушения в области с координатами  $y = 4\text{--}10$  и  $z = 6\text{--}18 \text{ м}$ . Смещение зоны повышенной газоотдачи ближе к вентиляционной выработке (в сравнении с лавами по простианию пласта) обусловлено тем, что утечки воздуха на большой площади завальной части лав способствовали формированию метановых потоков в выработанном пространстве главным образом вблизи сопряжения лавы с вентиляционным ходком [17].

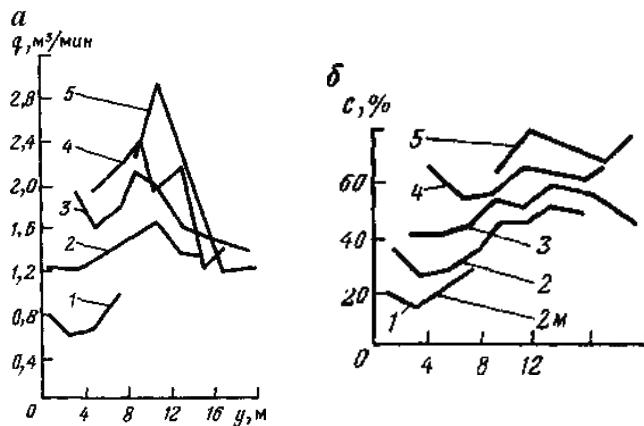


Рис. 3.8. Газовыделение (а) и содержание метана (б) в скважинах на расстояниях  $y$  от вентиляционного штрека при  $x$ :  
1 – 2 м; 2 – 6 м; 3 – 10 м; 4 – 14 м; 5 – 18 м

При сплошной системе разработки пласта  $m_3$  газовыделение из скважин, пробуренных на подрабатываемый сближенный пласт, составляло  $0,7\text{--}3,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Отмечено увеличение дебита метана из скважин: первое при текущих

координатах  $x = 8 \div 13$ ,  $y = 5 \div 1,0$ ,  $z = 13 \div 20$  м координаты точки пересечения скважины нормальной к пласту плоскостью, проходящей вдоль линии забоя лавы), второе и третье – при удалении лавы от забоя скважины на расстояние  $x$ , соответственно, 20–30 и 40–60 м. Первое увеличение дебита метана обусловлено разгрузкой сближенного пласта  $m_4$ , второе и третье – соответственно, более удаленных от пласта  $m_3$  пластов  $m_4^0$  и  $m_4'$ .

Газовыделение из скважин, пробуренных из вентиляционных штреков, в значительной мере зависело от горнотехнических условий разработки пласта, анализа данных наблюдений за газовыделением в дегазационные скважины и изменения концентрации метана в каптируемой газовоздушной смеси, а в условиях  $m_3$  еще и от способа проведения вентиляционного штрека.

Эффективность дегазации на участках, оборудованных комплексами, при прочих равных параметрах скважин была в 1,3–1,5 раза ниже, чем на обычных, вследствие того, что скорость подвигания лавы была в 2 раза выше, время функционирования дегазационных скважин уменьшилось, абсолютные объемы выделяющегося на участке газа возросли.

Определение зон повышенной газоотдачи и корректировка параметров скважин позволили увеличить продуктивность скважин и повысить эффективность дегазации на участках с интенсивной выемкой угля до 40–45 %.

На основании данных о газовыделении в скважины, расположении зон повышенной газоотдачи и динамики (полей) распределения дебита и концентрации метана проводилась корректировка параметров дегазационных скважин и определение режима их работы. Оптимальные значения  $x'_o$ ,  $y'_o$ ,  $z'_o$ , соответствующие максимальному газовыделению, подставлялись в формулы для расчёта параметров скважины.

В условиях столбовых и сплошных систем разработки для скважин, пробуренных из вентиляционных штреков (или ходков) навстречу лаве (при столбовой системе) или по ходу лавы (при сплошной системе), для определения углов  $\phi$  и  $\beta$  использовались формулы (3.1), в которые вместо  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  подставлялись  $x_o$ ,  $y_o$ ,  $z'_o$ . Длина скважин (м) рассчитывалась по формуле

$$L = z'_o / \sin \beta. \quad (3.4)$$

При бурении скважин навстречу лаве из камер, пройденных в породах кровли, расчет угла  $\beta$  и длина скважины  $L$  производился по тем же формулам, но с корректировкой координаты  $z'_o$  (уменьшение ее на величину, равную расстоянию от плоскости пласта до устья скважины).

Для участков с измененными углами падения пласта оперируют величинами  $x_o$ ,  $y_o$ ,  $z_o$  расчет текущих их значений производят с учётом величины угла падения пласта по соответствующим формулам преобразования координат.

Зависимости, характеризующие изменение содержания метана от величин  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , используются для определения режима работы скважин, времени отключения скважин от дегазационной сети: по графикам зависимости « $c$ » ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) устанавливают значения  $y$  и  $z$ , при которых содержание метана выше величины, допустимой правилами безопасности, затем определяют соответствующие им значения  $y$  и  $z$ , которые используют для расчёта величины  $x'$ , т. е. расстояния от устья скважины до забоя лавы.

Определение рациональных параметров дегазационных скважин над куполами обрушения и режима их работы по разработанной методике позволяет повысить эффективность дегазации и концентрацию метана в отсасываемой газо-воздушной смеси, уменьшить объем буровых работ.

Для оценки влияния интенсивности отработки выемочных участков на снижение газовыделения из выработанного пространства проведены исследования по установлению эффективности дегазации при различных скоростях подвигания лавы. Исследования проводились на шахтах Донбасса при отработке пласта  $m_3$ .

Участки наблюдений были подразделены на три группы: в первую группу выделены участки, которые отрабатывались длинными столбами с погашением вентиляционного штрука, а дегазацию проводили скважинами, пробуренными над куполами обрушения пород кровли; во вторую группу – участки, отрабатывавшиеся длинными столбами с погашением вентиляционного штрука; в третью группу – участки при сплошной системе разработки и дегазации скважинами, пробуренными на подрабатываемые сближенные пласти.

Во всех случаях отмечено снижение эффективности дегазации по мере увеличения скорости подвигания лавы (рис. 3.9). Зависимость коэффициента дегазации  $k_{\text{дег}}$  от скорости подвигания лавы  $v_l$  описана формулой [17]

$$k_{\text{дег}} = b - cv_l, \quad (3.5)$$

где  $b$  и  $c$  – эмпирические коэффициенты.

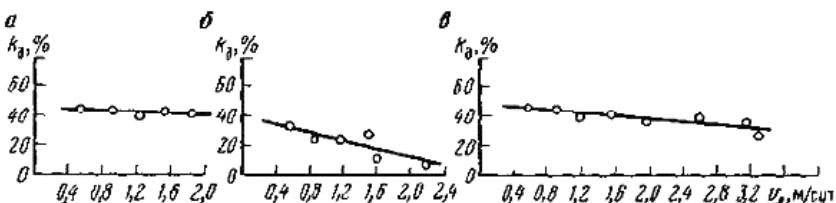


Рис. 3.9. Снижение эффективности дегазации с ростом скорости подвигания лавы:  
а – на участках с поддержанием выработок, б – на участках с погашением выработок,  
в – на участках с погашением выработок и бурении скважин над куполами обрушения  
в зону повышенной газоотдачи

Наибольший темп снижения коэффициента дегазации наблюдался на участках первой группы (рис. 3.9, б). Это обусловлено тем, что пробуренные скважины подрабатывались лавой раньше, чем разгружался сближенный пласт.

Темп снижения коэффициента дегазации на участках 2-й группы (см. рис. 3.9, в) был значительно меньше в следствие того, что скважины были пробурены над куполами обрушения и их параметры определялись с учётом расположения зон повышенной газоотдачи. Наименьший темп снижения коэффициента дегазации был отмечен на участках 3-й группы (см. рис. 3.9, а). Снижение эффективности дегазации обусловлено тем, что с увеличением скорости подвижения лавы бурение скважин отставало, и часть скважин функционировала уже в частично разгруженной и дегазированной зоне.

Зависимость (3.5) рекомендуется для использования дегазации на действующих участках, а также при проектировании дегазации на подготавливаемых к выемке участках.

## 4. УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

### 4.1. Содержание метана в выработанных пространствах очистных забоев

Российские угольные месторождения являются высокометаноносными. При подземной разработке свиты пластов на каждую добывную тонну угля выделяется 16–19 м<sup>3</sup> метан, который потенциально может быть вторичным достаточно существенным по объему энергетическим источником. Однако, кроме положительного свойства, он создает в работе шахт препятствия по предельному содержанию в рудничной атмосфере: ограничивается производительность забоев по газовому фактору, в смеси с воздухом он взрывоопасен, при определенных условиях возможны аварии, а порой и катастрофы в случаях взрывов метановоздушных смесей. Требуются мероприятия по эффективному извлечению метана из основных его источников средствами дегазации и изолированно от рудничной атмосферы с помощью вакуум-насосной станции по трубам выводить его на земную поверхность.

Многообразие основных газоугольных месторождений РФ приведено в табл. 4.1, материалы которой свидетельствуют о разнообразии марочного состава углей, глубины их разработки и уровня метановыделений в шахтах, в работе находятся пласти с ценными марками углей К, КЖ и Ж.

Из 58 действовавших в России по добыче угля шахт, согласно ПБ, к метанообильным отнесены: 16 шахт первой категории опасности; 9 шахт – второй; 15 шахт – третьей и 39 шахт – сверхкатегорных (табл. 4.2). При этом абсолютная метанообильность, являясь объективным показателем опасности шахт по метану, изменяется от 114 до 193 м<sup>3</sup>/мин на шахтах Воркутского месторождения и от 10 до 185 м<sup>3</sup>/мин – на шахтах Кузбасса. За многолетнюю работу угольных шахт вспышки и взрывы метановоздушных смесей происходили как при низком абсолютном выделении метана, так и при высоком. Частота аварийных по метану ситуаций изменилась от 2,4 до 7,7 % при метанообильности выработок выемочного участка до 20 м<sup>3</sup>/мин и до 20 % при метанообильности более 40 м<sup>3</sup>/мин. Крупные по газу аварии имели место на шахтах сверхкатегорных с большой производительностью очистных комбайнов и скоростью подвигания лав в случаях высокого уровня загазирования выработок и выработанных пространств.

Причинами загазирования выработок являются нарушение параметров их проветривания, отклонения от требований ПБ и положений технической документации, а воспламенения метана – фрикционное искрение при работе исполнительных органов комбайна, буровзрывные работы на крутых шахтах, искрения в электрооборудовании, сварочные работы и курение.

Т а б л и ц а 4.1

Характеристика основных газоугольных месторождений  
Российской Федерации

Месторождение угля, бассейн, регион	Марка угля	Глубина горных работ, м	Газоносность угольных пластов, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Метанообильность шахт, м <sup>3</sup> /мин	Категории шахт по метану в соответствии с ПБ
Воркутское	Г, Ж	350–1095	15–22 15–30	120–160 70	Выбросоопасные Сверхкатегорные
Кузбасс, в том числе:					
Северный	Г, ГЖ, К, Т	250–520	12–25	12–20	Выбросоопасные
Центральный	Д, Г, ГЖ, Ж	300–660	13–20	40–100	Сверхкатегорные
Южный	Г, Ж, К, ОС, ТС	400–630	15–32	40–160	Выбросоопасные
		320–350	15–20	130–165	Сверхкатегорные
Дальний Восток	Г, Ж, КЖ, СС	290–340	12–16	10–45	Сверхкатегорные, выбросоопасные
Восточный Донбасс	К, ОС, Т, А	850–1050	25–36	25–30	Выбросоопасные

Т а б ли ц а 4.2

Шахты различной категории газовой опасности

Условие	Доля шахт, %					
	негазовых	I категория	II категория	III категория	сверхкатегорных	выбросоопасных
Подземная разработка	5	16	9	15	39	16
Газовые шахты: опасные	–	25		–	–	–
особо опасные		–		70		

За последние 30 лет на российских шахтах число аварий на метанообильных участках с тяжелыми после взрыва последствиями и гибелью большого числа шахтеров составило 46, из которых 28 аварий произошли на участках, где применялись газоотсасывающие вентиляторные установки для отвода газов из выработанного пространства. С течением времени отмечен рост показателей добычи угля на очистных участках метанообильных шахт, числа крупных взрывов метановоздушных смесей и количества травмированных шахтеров (табл. 4.3).

## Т а б л и ц а 4.3

Показатели добычи угля, взрывов метана и травмирования шахтеров

Годы	Число шахт по добыче угля	Среднегодовая добыча угля в шахтах, млн т/год	Число крупных взрывов метана в шахтах на 1 млн т добываемого угля в течение года	Число погибших шахтеров, чел/(млн т · год)
1986–2000	84	27,0	12	30
2000–2013	58	23,5	4	20

Из табл. 4.3 видно, что по среднегодовым показателям существенно уменьшилось число крупных взрывов метана в шахтах и погибших шахтеров, соответственно, в 3 и 1,5 раза. Однако аварии по газовому фактору в шахтах все еще случаются: в 2014 г. было 3 взрыва метана, в 2015 г. – 0, в 2016 г. произошел взрыв метановоздушной смеси на шахте «Северная» (АО «Воркутауголь») с гибелем 36 человек.

Многолетняя статистика свидетельствует о том, что взрывы метана в шахтах – это вероятностные процессы, на которые влияют в большей степени технологические, организационные и субъективные факторы. Необходимы прогнозы метановой взрывоопасности на шахтах, оценка риска и уровня катастрофических последствий от аварий, применение эффективных мероприятий по снижению интенсивности метановыделений в горные выработки.

Несмотря на то, что тяжесть аварий с взрывом метана на шахтах несколько уменьшилась (с 30 случаев в год на 1 млн тонн добываемого угля в период 1986–2000 гг. до 20 в 2000–2013 гг.), их тяжесть остается весьма высокой: только на шахтах «Ульяновская» (2007 г.) и «Распадская» (2010 г.) взрывы метана в выработанных пространствах привели к гибели 200 человек.

Типовыми условиями, способствующими возникновению аварий на угольных шахтах по газовому фактору, являются, во-первых, сложные горно-геологические условия (большая глубина горных работ, наличие геологических нарушений), во-вторых, высокая метаноносность пластов угля, их склонность к внезапным выбросам угля и газа, горным ударам, эндогенным пожарам, в-третьих, необоснованная область применения комбинированных схем проветривания выработанных пространств на выемочных участках и полях с использованием газосасывающих вентиляторных установок, в-четвертых, скопления метана в выработанных пространствах, в-пятых, отсутствие или низкая эффективность дегазации источников метановыделения и выработанных пространств.

Загазирование выработок зачастую приводит к формированию взрывоопасных концентраций метана в пределах призабойных пространств лав и

предпосылкам к взрывам метановоздушных смесей. Наиболее сложными по газу являются высокометанообильные шахты с источниками выделения метана из газоносных разрабатываемых пластов угля и сближенных пластов, залегающих в зонах разгрузки от горного давления как в кровле, так и почве отрабатываемого пласта. Пологие метанообильные шахты работают, как правило, с искусственной дегазацией источников метановыделения на участках ведения очистных работ, чаще всего с применением комплекса способов и схем скважинной дегазации [14]. При этом, чем выше эффективность дегазации, тем меньше выделяется метана в выработки участка и выработанное пространство, которое является накопителем больших объемов метана, зачастую взрывоопасных концентраций [4, 7, 11].

К сложным горнотехническим условиям ведения очистных работ относятся возвратноточные схемы проветривания выработок участка, при которых взрывоопасные концентрации метана формируются в выработанных пространствах и на сопряжении призабойного пространства лавы с исходящей из нее вентиляционной струей. Осложнения в этих условиях неизбежны при снижении объемов воздуха, протекающего по лаве, и продуктивности дегазационных скважин, расположенных вблизи сопряжения, либо при отсутствии дегазации на участке с интенсивным выделением метана из выработанного пространства в призабойное.

Модель такого газопоявления в очистном забое содержит три основных периода процесса выделения метана. Первый – это проектный режим выделения метана в лаве с применением дегазации; второй – обильные потоки метана из выработанного пространства при отсутствии дегазации, предусмотренной проектом по управлению метановыделением на выемочном участке; третий – снижение интенсивности газовыделения при возобновлении работы способа или схем дегазации, предусмотренных проектом.

Вероятность повышения аварийности шахт по метану и частота крупных взрывов метановоздушных смесей чаще всего имели место при схемах управления газовыделением на участках с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок типа ВМЦГ-7 и более мощных по производительности УВЦГ-9 и УВЦГ-15. Специалисты НИИ и инженеры ряда шахт, не имея достаточных знаний аэрологических процессов, полагали, что можно исключить применение способов и схем скважинной дегазации сближенных пластов и выработанных пространств. Это осложнило газовую ситуацию в шахтах, поскольку в таких условиях метан, выделяющийся в выработанное пространство из сближенных пластов угля и пород, разбавляется до взрывоопасных концентраций, создавая предпосылки к взрывам метановоздушных смесей. В то время как применение дегазации [9] безопасно и эффективно за счет отвода метана из источников

метановыделения на поверхность минуя выработанное пространство, причем с возможностью последующей утилизации каптируемого метана. Более того, мировой опыт свидетельствует, что в западных угледобывающих странах на высокометанообильных выемочных участках дополнительно к вентиляции применяют только способы дегазации сближенных подрабатываемых и надрабатываемых углепородных массивов, и никогда не используют комбинированные схемы управления газовыделением в сочетании с газоотсасывающими вентиляторными установками, как это часто происходит в Кузбассе.

Использование различных вариантов комбинированной схемы управления газовыделением [18] только в период с 2001 по 2007 гг. на 10 выемочных участках 6 шахт Кузбасса свидетельствовало о самых катастрофических взрывах метановоздушных смесей с гибелью 300 человек. Метанообильность выемочных участков составляла 20–65 м<sup>3</sup>/мин, выработанного пространства – 11–59 м<sup>3</sup>/мин при среднесуточной добыче угля на участке – 1700–3685 тонн. Газовый баланс выработанного пространства в пределах выемочного участка составлял 50–80 %. Концентрация метана в извлекаемой газоотсасывающими вентиляторными установками в 70 % случаев была взрывоопасной и составляла 8–14 % [16–21]. Взрывоопасные концентрации метана формировались в выработанных пространствах шахт, которые использовали газоотсасывающие вентиляторные установки на выемочных участках (табл. 4.4).

Недостаточные опыт и квалификация ряда горных инженеров различного уровня, а также отнесения угольных шахт к категории метановой опасности, осуществляющей по относительной метанообильности, способствовали росту рисков при подземном освоении метаноносных угольных месторождений. Тем более, что вся система обработки исходных данных по выделениям в шахтах метана построена на показателях абсолютного метановыделения в горных выработках. Расчет относительной метанообильности в таком случае является лишним, тем более что искажается фактическая газовая ситуация в шахтах.

Риски взрывов метана при ведении горных работ в той или иной степени оценивались в отечественных и зарубежных публикациях. Прогноз рисков необходим в горнотехнических условиях отработки всех метаноносных угольных пластов [17, 18].

Структура газового баланса угольных шахт с применением дегазации и газоотсасывающих вентиляторных установок на высокопроизводительных шахтах им. С.М. Кирова и «Котинская» в нормальных (плановых) условиях работы выемочных участков приведены в табл. 4.5.

Т а б л и ц а 4.4

Взрывоопасное содержание метана в выработанном пространстве  
очистных забоев

Шахта	Пласт угля	Газоотсасывающая вентиляторная установка	Метанообильность выработанного пространства, м <sup>3</sup> /мин
«Зыряновская»	14 16	ВМЦГ-7 ВМЦГ-7	22–26 16
«Комсомолец»	18	ВМЦГ-7	30,5–40
Им. С.М. Кирова	24 25	УВЦГ-9 ВЦГ-7м	16–35 5–6
«Юбилейная»	16 25	УВЦГ-15 ВЦГ-7м	9–31,7 49,4
«Распадская»	10 6-6а	ВМЦГ-7 УВЦГ-9, УВЦГ-15	31–33 50,7
«Алардинская»	21 3-3а	ВЦГ-7м УВЦГ-15	16,2 18,5
«Тайжина»	E5	ВМЦГ-15	19–29
«Листвяжная»	Сычевский IV	ВМЦГ-7	10–11
«Октябрьская»	Полысаевский 1	ВМЦГ-7	11,0
«Чертинская»	3	ВЦГ-7	58
«Есаульская»	29а 26а	УВЦГ-15 УВЦГ-15	20,3 20–59
«Ульяновская»	50	Общешахтная депрессия	37
«Абашевская»	16 14 26	ВМЦГ-7 то же — « —	30,7 11–21,4 40,1
«Осинниковская»	E5	УВЦГ-15	39,6–42,6

Т а б л и ц а 4.5

## Структура газового баланса шахты

Шахта	Добыча угля, т/сут	Метановыделение, м <sup>3</sup> /мин					
		вентиляция			шахта	дегазация	газоотсос
		подготовительные забои	выемочные участки				
Им. С.М. Кирова	16 685	6,3	23,1	30,6	82,0	27,0	<u>109,6<sup>*)</sup></u> 170,2
Им. В.Д. Ялевского (б. «Котинская»)	15 080	6,5	16,1	32,6	34,5	—	<u>61,1<sup>*)</sup></u> 85,4

<sup>\*)</sup> Числитель – фактическое среднее метановыделение, знаменатель – расчетное.

Из данных, приведенных в табл. 4.5, очевидна существенная роль дегазации в снижении уровня метановыделения в сети горных выработок. Эффективность извлечения метана средствами дегазации составила на шахте им. С.М. Кирова 59 % и «Котинская» – 51 %. При этом каптированный средствами дегазации метан на шахте им. С.М. Кирова используется путём сжигания в газомоторных установках и котельной [22].

На практике отклонения от проектных решений по дегазации приводят к количественным изменениям параметров процесса газовыделения на выемочном участке, в призабойном пространстве лавы и на ее сопряжении с газоотводящей выработкой. Концентрация метана в исходящем из лавы потоке воздуха при возвратноточной схеме проветривания на массив угля и при отсутствии дегазации возрастает уже через 15–20 минут, превышая допустимую норму по ПБ, а вблизи сопряжения – достигает взрывоопасных содержаний.

В условиях газообильных шахт «Зыряновская» и «Ульяновская» (Кузбасс) взрывоопасные ситуации возникли в призабойных пространствах лав в результате интенсивного выделения метана из выработанного пространства в призабойное при отсутствии дегазации: в первом случае произошел прорыв метана, выделившегося из надрабатываемого пласта (1997 г.), во втором – при неустойчивой схеме проветривания лавы при комбинированной схеме, ошибочно полагая, что эффективный отвод метана из выработанного пространства возможен за счёт общешахтной депрессии (2007 г.).

В обоих случаях воспламенение взрывоопасной смеси произошло во время работы очистного комбайна при обильных выделениях газа и пыли во время разрушения угля и выделениях метана из выработанного пространства в призабойное лавы (погибло, соответственно, 67 и 111 человек). На шахтах «Распадская» (Кузбасс, 2010 г.) и «Северная» (Воркута, 2016 г.) аварии были обусловлены загазированием выработок и воспламенением метана, при этом в первом случае отсутствовал проект на дегазацию выемочного участка, во втором – отмечено снижение эффективности дегазации (погибло 90 и 36 человек, соответственно).

За последние 20 лет число взрывоопасных загазирований выработанных пространств, вспышек и взрывов метановоздушных смесей составило 42. На газовую опасность оказывало влияние не только выделение метана из выработанного пространства действующей лавы, но и из старых выработанных пространств, в которых скапливались взрывоопасные газовые смеси и отложившаяся ранее тонкодисперсная пыль. Такая взрывоопасная ситуация имела место на шахте «Комсомолец» (Кузбасс, 2000 г.), где в результате сварочных работ на коробе УВЦГ был инициирован взрыв метановоздушной смеси в скважине, затем в шахте. Были разрушены взрывом изолирующие перемычки действующих и старых выработанных пространств, в результате чего газовая ситуация еще более

осложнилась. Дегазация старых выработанных пространств необходима путём использования ранее пробуренных вертикальных или подземных скважин на действовавшем поле. Через такие скважины по отобранным пробам концентрации газов и по их дебитам можно оценивать газовое состояние старых выработанных пространств и извлекать метан для последующей его утилизации.

Внедрение новых технико-технологических решений способствует повышению экономических показателей работы шахты и уровня безопасности при выполнении подземных операций по добыче угля. Особенно это касается высокометанообильных шахт, где газовый фактор ограничивает возможности современной угледобывающей техники. В связи с этим, устранение газового фактора в цепи производственных операций по добыче угля дает положительный результата, причем, чаще всего за счет внедрения новых технологических решений по дегазации, в том числе на уровне изобретений.

Опыт скважинной дегазации сближенных пластов угля на шахте им. С.М. Кирова показал, что при дегазации сближенных пластов Брусницынский и Майеровский подземными скважинами с поверхности с помощью передвижных дегазационных установок (ПДУ) содержание метана в каптируемой смеси составляло в среднем 60–65 % (расход метана 44 м<sup>3</sup>/мин, смеси – 63–68 м<sup>3</sup>/мин). Применение способов дегазации на шахте позволило утилизировать каптируемые смеси.

В противовес скважинной дегазации сближенных пластов угля путем отвода газовоздушных смесей из выработанного пространства с применением газоотсасывающих вентиляторных установок [18] концентрация метана в выработанном пространстве обычно взрывоопасная, в отводящем потоке смеси за счет искусственного подсоса воздуха через ляду на установке УВЦГ по ПБ обычно не превышает 3,5 % (по объему). При этом газовоздушная смесь с обильным содержанием метана выбрасывается в атмосферу.

Анализируя вышеизложенное, можно констатировать, что при отработке метаноносных пластов угля высокопроизводительной очистной техникой нередки случаи формирования взрывоопасных содержаний метана в шахтной атмосфере, что чаще всего наблюдается при разработке свиты сближенных угольных пластов, где газовый баланс выработанного пространства достигает в различных условиях 70–90 % от газовыделения на участке. Вспышки и взрывы метановоздушных смесей носят вероятностный характер, предопределяются сложными горно-геологическими условиями, в числе которых большая глубина горных работ, наличие геологических нарушений, склонность пластов угля к внезапным выбросам угля и газа, горным ударам, эндогенным пожарам. Этим условиям содействуют технические и организационные факторы, низкий уровень знаний специалистами как горного дела, так и аэrogазодинамических процессов, протекающих на очистных выемочных участках высокопроизводительных метановых шахт.

#### *4.2. Выработанное пространство очистного забоя: метанообильность, расход воздуха, концентрация метана*

Возможности интенсификации и безопасности ведения очистных работ в метанообильных шахтах находятся в тесной связи с ограничениями по газовому фактору и вероятностью взрывов метановоздушных смесей на выемочных участках, сопровождающихся разрушениями горных выработок и оборудования, гибели шахтеров. Анализ на 146 шахтах (1985–1994 гг.) по авариям в связи с взрывами метана свидетельствует, что за 10 лет их число составило 122, в том числе вспышки и загорания метана – 85, взрывы метана – 32, взрывы метана и пыли – 5 [2, 7].

После распада СССР за первые 5 лет, когда шахтами начали владеть частные компании, на российских шахтах произошло 88 аварий по фактору метана, число ежегодных аварий возросло в 2 раза при снижении объемов добычи угля в 1,6 раза. В последующие три пятилетия при росте среднегодовой добычи угля число аварий по фактору метана снизилось и составило, соответственно, 44, 23 и 22, но они происходили с большими катастрофическими последствиями, в том числе по гибели людей. Аварии происходили преимущественно на выемочных участках, где управление газовыделением в выработанных пространствах осуществлялось с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок, причём при исключении дегазации сближенных пластов угля и выработанного пространства.

Введение новых положений по условиям и параметрам дегазации шахт [9] привело к расширению области и повышению эффективности ведения дегазационных работ. Уменьшилось число случаев загазирования горных выработок и газоопасных ситуаций. Вероятность аварий по газовому фактору на 84 действовавших шахтах РФ значительно снизилась и составила  $7,8 \cdot 10^{-7}$  применительно к отдельной шахте в сутки, что значительно меньше вероятности  $4 \cdot 10^{-4}$  по 146 шахтам [1, 4, 7].

Катастрофические последствия взрывов метана и угольной пыли с большим числом погибших шахтеров были обусловлены, прежде всего, высокой метанообильностью запыленных выработанных пространств действующих и ранее отработанных участков пласта, с нулевой или низкой эффективностью примененных средств дегазации сближенных угольных пластов и выработанных пространств, из-за ориентации шахт на способ управления газовыделением с применением газоотсасывающих вентиляторных установок [18].

Исходные данные, приведенные в табл. 4.6, свидетельствуют о существенной роли метанообильности выработанного пространства в структуре газового баланса шахты и выемочного участка.

Т а б л и ц а 4.6

## Метанообильность горных выработок

Шахта	Среднесуточная добыча угля, тонн	Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин			Расход извлеченного метана средствами дегазации и газоотсоса, м <sup>3</sup> /мин
		шахты	вымечного участка/ отрабатывающий пласт	выработанного пространства участка	
Им. С.М. Кирова	11 274	100,4	70,4/24	57,7	49,3/16,5*)
«Котинская»	11 578	51,9	48,4/52	37,1	30,5/0*)
«Абашевская»	2856	81,7	45,5/26	40,1	1,8/24**)
«Алардинская»	3341	152,8	61,0/3-3а, 21	50,7	32,6/37,3*)
«Есаульская»	4952	169,3	61,9/26	59,0	1,5/38,9*)
«Осинниковская»	1545	96,2	46,7/E5	39,6	1,2/38,9**)

\*) Числитель – расход метана на участке, знаменатель – то же на пласте.

\*\*) Числитель – извлечение метана средствами дегазации, знаменатель – средствами газоотсоса.

В выработанное пространство действующего очистного забоя метан выделяется из разгружаемых от горного давления сближенных угольных пластов и газоносных пород, а также часть его выделяется из обнаженных поверхностей разрабатываемого пласта и отбитого в лаве угля. Эта часть объемов метана уносится в выработанное пространство утечками воздуха, количество которого определяется схемой проветривания выемочного участка, состоянием призабойного пространства очистного забоя, аэродинамическим сопротивлением выработанного пространства и производительностью газоотводящих вентиляторных установок.

Для эффективной работы метанообильных очистных забоев по добыче угля необходимы мероприятия по снижению интенсивности метановыделения из выработанных пространств путём применения средств дегазации сближенных угольных пластов и выработанных пространств, исключив при этом в качестве воздушной тяги газоотсасывающие вентиляторные установки.

Аэrogазодинамическое состояние высокопроизводительных выемочных участков оценено утечками воздуха, которые приведены в табл. 4.7. Эти данные свидетельствуют о значительных объемах воздуха, утекающего из призабойного пространства лавы в выработанное пространство как при использовании для управления метановыделением газоотсасывающих вентиляторных установок (шахта им. С.М. Кирова), так и пробуренных с земной поверхности дегазационных скважин (бывш. шахта «Котинская»). В первом случае газоотсасывающими

вентиляторными установками выбрасываются в атмосферу смеси с низким содержанием метана, во втором – извлекается метан с пригодным его содержанием для утилизации каптируемых вакуумными насосами смесей.

Положительная ситуация наблюдается на выемочных участках с комплексной дегазацией по снижению интенсивности метановыделения из основных источников и по достаточно высоким дебитам каптируемого метана из пластов угля и выработанных пространств (см. табл. 4.7).

Безопасность ведения очистных работ в значительной степени зависит от концентрации метана в выработанных пространствах, которая утечками воздуха может разбавляться до взрывоопасного содержания, которые приняты равными в пределах 5–15 % (по объему). Для этих пределов концентрации метана (по минимуму и максимуму) определены объемы воздуха, при которых метановоздушные смеси не будут взрывоопасными (рис. 4.1).

Суть метода, показанного на рис. 4.1, заключается в том, что применительно к конкретным горнотехническим условиям отработки угольного пласта устанавливается количественная связь между среднесуточной добычей угля ( $A$ , т/сут) на участке и интенсивностью выделения метана ( $I_{в.п.}$ , м<sup>3</sup>/мин) в выработанное пространство, т. е. зависимость  $I_{в.п.} = f(A)$ , обозначенная цифрой 1. Затем определяются необходимые по газу расходы воздуха в выработанном пространстве при наперед заданных содержаниях в нём метана (с, %) применительно к метанообильности выработанного пространства, зависимость  $Q_v = \varphi(I_{в.п.}, c)$ ; при концентрации метана 2, 3 и 5 % – соответственно, нижнем и верхнем пределах взрывоопасного содержания метана, 5 и 15 % (по объёму).

Характеристика применяемых на шахтах им. С.М. Кирова и б. «Котинская» показателей дегазации приведена в табл. 4.9.

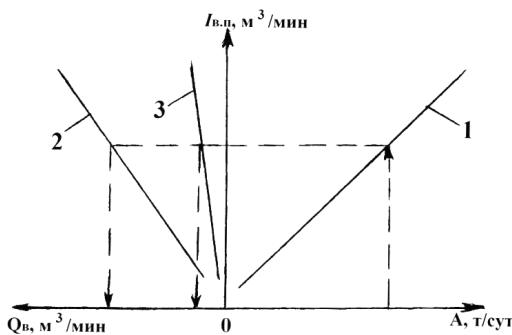


Рис. 4.1. Схема для определения расхода воздуха в выработанном пространстве очистного забоя:

1 – зависимость между среднесуточной добычей угля и интенсивностью метановыделения, 2 и 3 расходы воздуха в выработанном пространстве выемочного участка при содержании в нем метана 2 и 15 %, соответственно

Таблица 4.7

## Расход воздуха и содержание метана на выемочных участках

Шахта, пласт	Мощность пласта, м	Среднесуточная добыча угля в лаве, т	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин		Содержание метана в исходящих струях, %		Утечки воздуха через выработанное пространство, м <sup>3</sup> /мин	Содержание метана в извлекаемых смесях, %
			лава	участок	лава	участок		
Им. С.М. Кирова, 24	2,1	8000	500	1100	0,3	0,8	600	2,6
«Котинская», 52	4,4	14 000	2000	2100	0,5	0,5	$365/105^*)$	25

\*) Числитель – утечки воздуха, знаменатель – расход метановоздушной смеси через дегазационные скважины, пробуренные с земной поверхности.

Таблица 4.8

## Метановыделение после дегазации пластов угля

Шахта	Индекс угольного пласта	Газоносность пласта, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Метановыделение из угольных пластов после их дегазации, м <sup>3</sup> /мин			Расход капитированного метана, м <sup>3</sup> /мин
			вымоочный участок	разрабатываемый пласт	выработанное пространство	
Им. С.М. Кирова	24	15,2	15,6	3,1	12,5	2,0
«Котинская»	52	9,8	6,9	2,9	4,0	1,0
						3,0
						3,6
						15,8
						24,5

Таблица 4.9

Аэрометрические показатели выработанного пространства

Выемочный участок	Шахта	Среднесуточная добыча угля, т/сут.	Метановыделение, м <sup>3</sup> /мин		Фоновое метановыделение, м <sup>3</sup> /мин	К-фактор	Расход воздуха в выработанном пространстве, м <sup>3</sup> /мин, при концентрациях метана 2, 5, 15, 25 (%)			
			участок	выработанное пространство			2	5	15	25
Им. С.М. Кирова	24-55	8000	15,6	12,5	2,0	1,3·10 <sup>-3</sup>	630	252	84	50
б. «Котлинская»	52-03	14 000	6,9	4,0	1,0	0,21·10 <sup>-3</sup>	200	80	27	16

#### *4.3. Извлечение метана средствами дегазации*

Возможности средств дегазации при её использовании на выемочных участках метанообильных шахт приведены в табл. 4.10.

Анализ аэрогазодинамического состояния высокопроизводительных выемочных участков на газовых шахтах свидетельствует о значительных утечках воздуха из призабойного пространства лавы в выработанное пространство, что не исключает формирование в нем взрывоопасных метановоздушных смесей. Метод определения расхода воздуха, протекающего по выработанному пространству очистного забоя, учитывает объемы суточной добычи угля и допустимые нормативным документом концентрации метана в рудничном воздухе, при расходах которого исключается формирование взрывоопасных метановых смесей в выработанных пространствах действующих выемочных участков и создаются условия для утилизации каптируемого из выработанных пространств метана.

#### *4.4. Дегазация сближенных пластов и выработанного пространства наземными скважинами*

Дегазация залегающих в угленосной толще сближенных пластов угля скважинами с поверхности осуществляется при глубине разработки до 600 м, если подземные скважины недостаточно эффективны и условия поверхности позволяют разместить буровое и дегазационное оборудование. Место заложения скважины на поверхности выбирается в соответствии с рекомендациями Инструкции [9].

Применяются две основные схемы дегазации сближенных пластов вертикальными скважинами:

- **схема 1** – при отработке мощного пласта слоями или с потерями угля по мощности и в целиках, когда скважинами перебуриваются сближенные пласты и вынимаемый пласт;
- **схема 2** – при отработке пласта угля на полную мощность, когда скважинами перебуриваются только подрабатываемые сближенные пласты, что способствует извлечению кондиционных по метану газовоздушных смесей, пригодных для использования.

Параметры наземного способа дегазации свиты угольных пластов определяются по номограмме.

Для повышения эффективности дегазации и снижения объемов бурения скважин по пустым породам предпочтительно бурить вертикально-горизонтальные скважины с выводом их забойной части в плоскость подрабатываемого пласта. Горизонтальную часть скважины бурят навстречу очистному забою.

Таблица 4.10

## Дегазационная характеристика выемочных участков

Способы извлечения метана	Расход капитируемого		Утечки воздуха через выработанное пространство на участке, м <sup>3</sup> /мин	Содержание метана в извлекаемых смесях, %
	разрабатываемый пласт	сближенные пласти (выработанное пространство)		
Шахта, пласт				
Дегазация разрабатываемого и сближенных пластов угля подземными скважинами	4,5	—	—	35
Им. С.М. Кирова, 24				
Дегазация сближенных пластов и выработанного пространства скважинами с поверхности	—	44	600	58
Отвод метана с применением газоотсыпающего вентилятора	—	11,7		
Дегазация разрабатываемого пласта ползучими скважинами	3,6	—		2,6
бывш. «Котинская»				
Дегазация выработанного пространства скважинами с поверхности	—	24,5	365/105*)	25

\*) Числитель – утечки воздуха, знаменатель – расход метановоздушной смеси через дегазационные скважины, пробуренные с поверхности.

Для повышения эффективности скважинной дегазации сближенных угольных пластов и выработанных пространств предложены технико-технологические решения, на которые Роспатентом выданы патенты РФ на изобретения (табл. 4.11).

Т а б л и ц а 4.11

Перечень патентов РФ на изобретения

Наименование изобретения	Приоритет	Номер патента	Дата опубликования	Соавторы
Способ дегазации выемочных полей	07.07.2010	2439331	Бюл. № 1, 2012	Рубан А.Д. Забурдяев В.С.
Способ дегазации сближенного пласта	07.07.2010	2441167	Бюл. № 3, 2012	Рубан А.Д. Забурдяев В.С. Артемьев В.Б. Семыкин Ю.А.
Способ дегазации угольных шахт	13.01.2011	2453705	Бюл. № 17, 2012	Рубан А.Д. Забурдяев В.С.
Способ определения протяженности зоны опорного давления от очистного забоя	10.04.2014	2541343	Бюл. № 4, 2015	Забурдяев В.С.
Способ дегазации угленосной толщи	25.09.2014	2565311	Бюл. № 29, 2015	Забурдяев В.С.
Способ определения зоны дегазирующего влияния очистных работ на углепородные массивы	25.09.2014	2569352	Бюл. № 32, 2015	Забурдяев В.С.

Результаты и опыт применения комплекса способов и схем дегазации показаны на примере шахт им. С.М. Кирова и бывш. «Котинская».

Шахта им. С.М. Кирова относится к сверхкатегорным по метану: абсолютная метанообильность шахты 150–180 м<sup>3</sup>/мин при среднесуточной добыче угля 10–15 тыс. тонн угля, относительная – 23,3 м<sup>3</sup>/т. В очистных забоях эксплуатируются механизированные комплексы «Joy».

По петрографическому составу [4, 7] угли пластов Болдыревский и Поленовский характеризуются высоким содержанием витринита (87–94 %), низким содержанием интертинита (3–8 %), определяющего вмещающие свойства угля, и семивитринита (до 1 %). Минеральные примеси представлены глинистым веществом (2–7 %), карбонатами (до 3 %) и кварцем (до 1 %). Выход летучих веществ – 39–42,5 %, содержание серы – 0,2–0,4 %. Пластовая зольность – 7,8–10 %, влажность – 2–3 %. Теплотворная способность углей – 5600–7600 ккал/кг. Угольные пласты месторождения по своим химико-технологическим свойствам относятся к газовым и газовым жирным.

Метанообильность очистных выработок, их производительность и газовый баланс на примере лав по пластам 24 и 25 приведены в табл. 4.12.

Т а б л и ц а 4.12  
Метанообильность выемочных участков (шахта им. С.М. Кирова)

Наименование показателей	Размерность	Значение показателей в лавах по пластам	
		24	25
Среднесуточная добыча угля	тонн	11 000	4500
Расход воздуха:			
в очистном забое	м <sup>3</sup> /мин	1080	870
на выемочном участке		1580	1180
Содержание метана:			
в исходящей очистного забоя	%	0,9	0,5
в исходящей участка		0,8	0,5
Метановыделение абсолютное:			
в очистном забое	м <sup>3</sup> /мин	9,74	6,3
на выемочном участке*)		115*)	18,1*)

\*) С учетом вентиляционного и дегазационного метана и метана газоотсасывающих вентиляторных установок.

Взаимосвязь среднесуточной добычи угля в лаве ( $A_{\text{л}}$ , т/сут) и метановыделения очистной выработки ( $I_{\text{оч}}$ , м<sup>3</sup>/мин) обозначена линейной зависимостью  $I_{\text{оч}} = f(A_{\text{л}})$  [1, 7].

На бывш. шахте «Котинская» оценена эффективность дегазации подрабатываемого пласта и выработанного пространства скважинами, пробуренными с земной поверхности. Глубина горных работ – 205–265 м (пласт 52). Среднесуточная добыча угля из лавы – от 15 000 до 26 000 тонн. Пласт 52 угрожаемый по горным ударам с глубины 180 м, уголь склонен к самовозгоранию, угольная пыль – взрывоопасна. Параметры системы разработки выемочного участка приведены в табл. 4.13. Схема проветривания выработок выемочного участка лавы – возвратноточная.

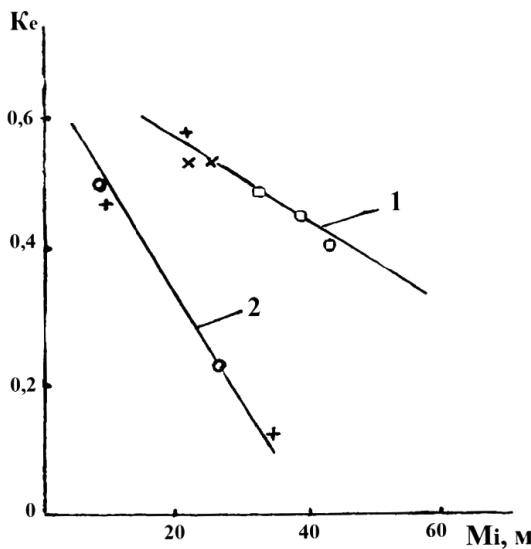
Метаноносность пласта 52 на 4 участках выемочного поля, поочередно отрабатываемых на глубинах 250–350 м по данным геологической разведки, составила: первого – 9,8 м<sup>3</sup>/т с.б.м., второго – 11,6, третьего – 13,2, четвертого – 13,5 м<sup>3</sup>/т с.б.м. (абс. отметка минус 100 м). Эффективность предварительной дегазации пласта 52 в обследованном блоке № 1 составила 0,25.

При обосновании параметров дегазации сближенных угольных пластов и выработанного пространства следует учитывать степень естественной дегазации сближенных пластов угля (рис. 4.2) в связи с разгрузочным действием на них очистного забоя.

Т а б л и ц а 4.13

Параметры системы разработки пласта 52 (шахта «Котинская»)

Параметры	Размерность	Численный показатель
Длина лавы по падению	м	230
Длина выемочного столба (участка) по простирианию	м	2425
Нагрузка на очистной забой по плану	т/сут	23 000
Порядок отработки лавы		Прямой
Способ выемки угля		Комбайновый
Ширина захвата комбайна (подвигание очистного забоя за один цикл)	м	0,8
Зона первичного шага обрушения пород: непосредственной кровли основной кровли	м	34,3 57,1
Зона последующего шага обрушения пород: непосредственной кровли основной кровли	м	10,2 29,6
Тип крепи	DBT, поддерживающее-ограждающего типа	
Схема работы комбайна	Односторонняя	
Порядок выемки угля в забое	Снизу вверх	

Рис. 4.2. Зависимость коэффициента естественной дегазации  $Ke$ угольных пластов от величины междупластья  $M_i$ :

1 – подработка, 2 – надработка

## 5. РЕСУРСЫ МЕТАНА ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

### 5.1. Метановая опасность старых выработанных пространств

Основные источники поступления метана в выработки угольных шахт – разрабатывающиеся и сближенные пластины угля, а дополнительные (вторичные) – выработанные пространства очистных забоев и старые отработанные пространства.

Интенсивность выделения метана из выработанных пространств действующих выемочных участков и его газовая опасность частично оценены в научных публикациях [17–22]. Содержание метана в старых отработанных пространствах мало изучено, если не учитывать результаты извлечения метановоздушных смесей через вертикально пробуренные с поверхности дегазационные скважины и подземные скважины над куполами обрушения пород кровли [7, 9].

Оценка ресурсов метана отработанных выработанных пространств актуальна, поскольку такие участки присутствуют на всех действующих угольных шахтах, выступая накопителями метана. Необходимо знать его объемы, располагать эффективными технологическими решениями по извлечению газа и предупреждению аварийных ситуаций.

Накопление метана в пространствах ранее отработанных выемочных участков чревато тем, что рядом с действующим участком газоносного пласта имеется резервуар с взрывоопасной метановоздушной смесью, нахождение которой в свободном от угля пространстве вблизи отрабатываемого участка часто приводит к взрывам суммарного объема метана участков: действующего выемочного и соседних с ним ранее отработанных. Опыт ведения очистных работ на выемочных полях свидетельствует, что взрыв приводит к разрушению изолирующих перемычек с неизбежным притоком к аварийному участку дополнительных объемов метана из ранее отработанных пространств. Аварийная ситуация в таком случае осложняется и становится сверхопасной по взрыву метана, разрушению горных выработок и гибели людей [7]. Необходимы прогнозы взрывоопасных объемов метановоздушных смесей старых выработанных пространств и рекомендации по их исключению.

Для решения поставленной задачи требуется исходная информация о горногеологических и горнотехнических условиях разработки пластов угля, о газовой ситуации, а также геометрическая характеристика действующего участка и соседних с ним ранее отработанных пространств. Это, прежде всего, взаимное расположение горных выработок и участков на выемочном поле, сроки отработки участков пласта, глубина горных работ и изменяющаяся с ней метаноносность, стратиграфический разрез углевмещающей толщи. Необходимо знать очередность отработки пластов угля в свите, степень естественной и искусственной дегазации сближенных угольных пластов, интенсивность выделения метана из них в освобожденные от угля пространства. Нужны данные об объемах выработанных

пространств, о динамике накопления газа в них с учётом выполняемых мероприятий по искусственной дегазации, утечках метана по вентиляционным каналам, абсолютной метанообильности лав на момент изоляции участков перемычками и до него, а также о послеаварийной газовой ситуации на выемочном поле.

В методическом плане научные исследования выполнялись в следующей последовательности:

- фиксирование стратиграфического разреза (колонки) углевмещающей толщи и мощности пластов угля, залегающих в интервале глубин до 200–250 м в кровле вынимаемого пласта и до 100 м – в почве;
- расположение горных выработок и участков на выемочном поле, сроки отработки участков, суточные нагрузки на лавы и скорость их подвигания, дата изоляции отработанных участков перемычками;
- установление метаноносности пластов угля относительно глубины их залегания;
- учёт схем подготовки, отработки, проветривания и дегазации выемочных участков;
- анализ послеаварийной газовой ситуации на выемочном поле, а также информации об измерениях концентрации метана и других газов.

Метаноносность пластов угля принималась по результатам геологической разведки месторождения и доразведки горного отвода проектируемой шахты, по зависимости изменений метаноносности пластов угля от глубины залегания, в том числе с учётом их естественной дегазации.

Коэффициент естественной дегазации  $k_e$  пластов угля в условиях их подработки или надработки находился по зависимости:

$$k_e = k_{p,пл} - cM_i, \quad (5.1)$$

где  $k_{p,пл}$  – степень дегазации разрабатываемого пласта (принималась равной 1);  $c$  – эмпирический коэффициент, при подработке  $c = 0,0053$ , при надработке  $c = 0,0156$ ;

$M_i$  – расстояние по нормали между  $i$ -м сближенным пластом и разрабатываемым, м.

Метаноносность сближенных пластов угля ( $x'$ , м<sup>3</sup>/т сухой беззольной массы (с.б.м.) после их естественной дегазации рассчитывалась по формуле:

$$x' = x(1 - k_e), \quad (5.2)$$

где  $x$  – природная метаноносность исследуемого сближенного пласта, м<sup>3</sup>/т с.б.м.

Объём выделившегося метана  $w_{в,п}$  (м<sup>3</sup>) из сближенного пласта угля в выработанное пространство определен по формуле:

$$w_{в,п} = (x - x')b_{оq}L_{c,п}m_{c,п}\gamma, \quad (5.3)$$

где  $b_{оq}$  – ширина отработанного участка пласта, м;

$L_{c.p}$  – протяженность подверженного разгрузке сближенного пласта, м;

$m_{c.p}$  – мощность  $i$ -го сближенного пласта, м;

$\gamma$  – объемная масса угля, т/м<sup>3</sup>.

Объем выделившегося метана  $w'_{v.p}$  (м<sup>3</sup>) в выработанное пространство предыдущего отработанного участка рассчитывался по формуле:

$$w' = (x' - x'')b_{ov}L_{c.p}m_{c.p}\gamma, \quad (5.4)$$

где  $x''$  – остаточная метаноносность сближенного пласта на участке ранее отработанной лавы, м<sup>3</sup>/т с.б.м.

Исследования по установлению объёмов метана, выделившегося в старые выработанные пространства, выполнены в условиях отработки пластов угля лавами по восстанию (шахта им. С.М. Кирова, пласт Болдыревский) и по простираннию (шахта «Комсомолец», пласт Толмачёвский).

Исходные данные по шахтам приведены в табл. 5.1. Результаты определения объемов метана в выработанных пространствах ранее отработанных участков шахты им. С.М. Кирова указаны в табл. 5.2 и 5.3. При этом использованы зависимости (5.1)–(5.4), длина лавы составила 240 м, протяженность выемочного участка – 1800 м, среднесуточная добыча угля в лаве – 6635 т, объемная масса угля – 1,35 т/м<sup>3</sup>. Номера отработанных участков взяты от действующего участка лавы 2453 в обратной последовательности (лавы 2452, 2451, 2450), мощности подработанной угленосной толщи (190 м) и надработанной (64 м) определены экстраполяцией зависимости (5.1). Объемы выделенного метана из сближенных пластов при их подработке (четыре пласта, мощность  $M_n \leq 190$  м) и надработке (два пласта, мощность  $M_n = 64$  м) на шахте им. С.М. Кирова приведены в табл. 5.1–5.3.

Т а б л и ц а 5.1

Горнотехнические условия шахт

Шахта	Разрабатываемый пласт	Марка угля	Глубина горных работ, м	Газоносность пластов угля, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Среднесуточная добыча угля, т/сут		Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин	
					шахты	лавы	шахты	лавы
Им. С.М. Кирова	Болдыревский (индекс 24)	Г	300–450	12,3–16,5	10 250	6635	109,6	65,0
«Комсомолец»	Толмачёвский (индекс 18)	ГЖ	380–450	16,1–17,5	4500	2750	90,5	21,6

Объёмы выделения метана в лаву 2453 и ранее отработанные участки пласта (лавы 2452, 2451, 2450) следующие: из сближенных пластов угля на участке лавы 2453 в выработанные пространства выделилось 40,92 млн м<sup>3</sup> метана, в том числе 25,72 млн м<sup>3</sup> из подрабатываемых пластов и 15,2 млн м<sup>3</sup> – из надрабатываемых. В прилегающие выработанные пространства ранее отработанных участков выделялись значительно меньшие объемы метана (см. табл. 5.3): соответственно, 27, 11 и 7 % выделившегося в действующую лаву 2453 количества. Находящиеся в отработанных пространствах метановые скопления (до 11,16 млн м<sup>3</sup>), с одной стороны, представляли опасность, с другой – давали возможность их извлечения и утилизации.

Т а б л и ц а 5.2  
Условия подработки и надработки угольных пластов

Лава	Марка угля	Глубина от поверхности, м	Сближенные пласти угля	Мощность пласта, м	Метано-носительность угля, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Мощность междупластья, м	Метод дегазации		
2453 (отработка пласта лавой по восстановию)	Г	410–270	–	2,2	15,2–11,8	–	Дегазация выработанного пространства лавы вертикальными скважинами с поверхности		
Подработка									
345–200		Брусничинский	1,50	13,9	34				
		Майеровский	1,55	13,6	42				
		Серебренниковский	1,60	11,8	90				
		Безымянный	1,50	8,5	177				
Надработка									
420–475		Промежуточный	1,50	15,5	9	Дегазация пласта Поленовский пластовыми скважинами			
		Поленовский	1,70	16,5	50				

## Объемы метана на выемочных участках

Лава	Выделение метана из сближенных пластов угля, млн м <sup>3</sup>		
	При подработке пласта	При надработке пласта	Всего
2453	25,72	15,20	40,92
2452	6,20	4,46	10,66
2451	2,14	2,43	4,57
2450	1,00	1,81	2,81

Из старых выработанных пространств через четыре вертикальные скважины извлечено 28,2 м<sup>3</sup>/мин метана при его концентрации в смеси 61–65 %. На выемочном поле лавы 2453 функционировали три вертикальные скважины и газоотсасывающая вентиляторная установка. Всего дегазационными установками на выемочном блоке № 3 при отработке пласта Болдыревский на выемочном участке лавы 2453 при расходе 65 м<sup>3</sup>/мин извлечено 17,32 млн м<sup>3</sup> метана за 185 сут. работы лавы. Утилизировано 38 м<sup>3</sup>/мин метана в двух работающих газомоторных установках (14 м<sup>3</sup>/мин) и в котельной (1 котел, расход 24 м<sup>3</sup>/мин).

Фактическая метанообильность лавы 2453 составила 62 м<sup>3</sup>/мин при практическом равенстве объёмов извлеченного метана и выделившегося в горные выработки [22–24].

Опасность метана старых выработанных пространств для ведения горных работ наглядно проявилась 21.03.2000 г. при взрывах метановоздушных смесей на шахте «Комсомолец» (Кузбасс), где очистные работы проводились по пласту Толмачёвский (индекс 18) по уклонной схеме лавой 1845 вблизи ранее отработанных участков пласта 1844 и 1843. При столбовой системе отработки пласта и проветривании выработок участка за счёт общешахтной депрессии дополнительно использован отвод метана из выработанных пространств с помощью наземных газоотсасывающих вентиляторных установок типа ВМЦГ-7 и резервных ВЦГ-7М, установленных на устьях вертикальных скважин диаметром 300 мм, пробуренных с земной поверхности на глубину 420 м на фланге выемочных участков 1844 и 1845.

Очистной забой и выемочный участок лавы 1845 до аварии, обусловленной взрывами метановоздушных смесей в выработках, примыкающих к газоотводящим вертикальным скважинам, были обеспечены необходимым количеством свежего воздуха. При суточной добыче угля 2750 т в лаве 1845 её газообильность составляла 3,3 м<sup>3</sup>/мин, газообильность выработанного пространства лавы – 18,4 м<sup>3</sup>/мин (объемная доля метана ранее отработанных лав 0,6 %). При

этом технологические решения по минимизации отрицательного влияния газового фактора при ведении горных работ на шахте ориентированы были в основном на обеспечение выработок необходимым количеством свежего воздуха без применения искусственной дегазации сближенных пластов угля и выработанных пространств подземными скважинами. Она не проводилась ни на участке лавы 1845, ни на участках ранее отработанных лав 1844 и 1843. Отвод газовоздушных смесей из выработанных пространств с помощью газоотсасывающих вентиляторных установок нельзя считать дегазацией, что противоречит положениям инструкции [9].

Две газоотводящие скважины № 1 и 2, пробуренные для управления газовыделением на участке лавы 1845, обеспечивали расход смеси по 123 м<sup>3</sup>/мин, скважина № 3 на отработанном участке 1843 совместно с утечками воздуха по неподдерживаемой выработке – 155 м<sup>3</sup>/мин до отключения скважины № 1 и 187 м<sup>3</sup>/мин – после ее отключения 21.03.2000 г. в 11:00. С началом сварочных работ на коробе ВМЦГ-7 отмечено поступление газовоздушной смеси по отключенной скважине № 1 в шахту. В 11:03 зафиксирован первый хлопок воздуха (взрыв метана), затем последовали другие (в 11:45, 15:15 и 18:07), которые свидетельствовали о взрывах метановоздушных смесей в подземных выработках. Первичным источником взрыва стал воспламененный сварочными работами метан при его длительном горении в шахте. Происшедшие взрывы метановоздушных смесей до наступления катастрофического взрыва разрушали перемычки, изолирующие выемочные участки, что способствовало поступлению метана из старых выработанных пространств 1844 и 1843 к очагу взрыва, и в 20:25 произошел мощный взрыв метановоздушной смеси, вследствие которого погибли 12 горноспасателей.

Принятый на шахте в соответствии с положениями инструкции [18] контроль состояния газовоздушной смеси в газоотводящих скважинах, оборудованных вентиляторными установками типа ВМЦГ-7, и оценка газовой опасности по критерию содержания метана на выхлопе газовой смеси из диффузора показали свою несостоятельность, поскольку концентрация метана в скважине оказалась значительно выше, а её снижение до нормативного уровня (менее 3,5 % на выхлопе диффузора) обеспечивалось искусственно создаваемыми подсосами воздуха на самой установке. Безопасность такого способа управления газовыделением и контроля содержания метана в скважине и на газоотводящей установке преступно. По сути, это технико-технологический самообман, тем более что при управлении метановыделением из выработанного пространства с применением газоотводящих вентиляторных установок нередки случаи аварийных ситуаций, в том числе с катастрофическими последствиями.

Исследования газовой ситуации на аварийной шахте «Комсомолец» показали, что из сближенных угольных пластов в выработанное пространство 1843 (табл. 5.4) выделились 6,87 млн м<sup>3</sup> метана, в том числе 3,58 млн м<sup>3</sup> – из подрабатываемых пластов угля и 3,29 млн м<sup>3</sup> – из надрабатываемых. Дополнительное выделение метана из пространства 1844 вызвало мощный взрыв метановоздушной смеси 21.03.2000 г. в 20:25, что отражено в статье [22–24], в заключении экспертной комиссии по данной аварии.

При объеме ранее вынутого угля 218 750 м<sup>3</sup> на участке 1843 каждый 1 м<sup>3</sup> условно свободного пространства содержал 31,2 м<sup>3</sup> выделившегося метана, что обусловлено значительным накоплением метана до аварии в результате расширения зон разгрузки углепородного массива в кровле и почве пласта Толмачёвский.

Согласно прогнозу, при расходе извлекаемого газоотсасывающей вентиляторной установкой метана, на отработанном пространстве 1843, равном 127 м<sup>3</sup>/мин, и взрывоопасной концентрации метана 6,8 об. % в течение суток извлечено 12 436 м<sup>3</sup> метана, за год – 4,54 млн м<sup>3</sup>. В то же время утечками воздуха, обозначенными экспертизой комиссии по аварии в объеме 400 м<sup>3</sup>/мин, из выработанного пространства 1843 отведено 1,58 млн м<sup>3</sup>/год. За год извлечено 6,12 млн м<sup>3</sup> метана. В 1 м<sup>3</sup> выработанного пространства 1843 содержалось 4,2 м<sup>3</sup> метана.

Т а б л и ц а 5.4

Горнотехнические условия шахты «Комсомолец»

Лава	Марка угля	Глубина от поверхности, м	Сближенные пласты угля	Мощность пласта, м	Метаноносность пласта, м <sup>3</sup> /т с.б.м.		Мощность междупластья, м	
					x	x'		
1845	ГЖ	420	–	2,50	16,0		–	
Подработка угольного пласта								
		367	Подброеевский	0,70	13,9	3,4	52,7	
		357	Бреевский	3,00	13,5	4,5	62,5	
		301	Поддягилевский	0,37	11,4	7,2	118,5	
		278	Дягилевский	2,20	10,6	8,0	142,3	
		260	Наддягилевский	0,40	9,9	8,3	158,8	
		238	Слоеный	0,60	9,0	8,7	182,1	
Надработка угольного пласта								
1843	ГЖ	437	Пласт 19 (Емельяновский)	1,90	16,6	4,5	17,0	
		456	Снятовский	1,00	17,3	9,9	36,4	
		472	Безымянный	2,40	17,9	14,3	51,5	

## *5.2. Ресурсы метана выработанных пространств*

Метановая опасность и формы её проявления обусловлены природными, технологическими, организационными и субъективными факторами. Вспышки, взрывы, загорания и внезапные выделения метана в шахтах случаются довольно часто, причем зачастую с гибелью шахтеров и разрушением горных выработок, выводом из строя оборудования и систем, в том числе систем, предназначенных для контроля состояния рудничной атмосферы и содержания в ней взрывоопасных газов и пыли.

Опыт подземной разработки угольных пластов свидетельствует также о случаях взрывов метановоздушных смесей в шахтах, отнесенных к негазовым. Так, в 1995 г. произошел взрыв метана на негазовой шахте «Аютинская» в Ростовской области, где проходка тупиковой подготовительной выработки была остановлена и не проветривалась в течение двух месяцев. После подачи свежего воздуха в забой и выхода метановоздушной смеси из выработки произошла вспышка газов с гибелью шахтеров, которые, находясь на устье выработки, курили. Более катастрофический взрыв газовоздушной смеси произошел в 1965 г. на ранее признанной негазовой шахте «Дхори» (Индия) с гибелью 375 шахтеров [25], после чего контролирующие национальные органы Индии стали считать все угольные шахты опасными по газу.

Исследованы причины и частота вспышек и взрывов метановоздушных смесей в 146 шахтах России (1985–1994 гг.) которые показали [2, 7, 11]:

- общая тенденция роста частоты взрывов и вспышек метановоздушных смесей обусловлена увеличением **относительной метанообильности**, причем с более высоким темпом её роста в интервале до  $50 \text{ м}^3/\text{т}$  (90 шахт, частота от 2,4 до 13,3 %);

- высокая частота взрывов метановоздушных смесей отмечена на 22 шахтах с метанообильностью  $50\text{--}140 \text{ м}^3/\text{т}$  (частота составила 15,4–17,5 %);

- достаточно стабильная частота взрывов метановоздушных смесей отмечена при **абсолютной метанообильности** от 10 до  $70 \text{ м}^3/\text{мин}$  (12 допустивших взрывы шахт) при частоте взрывов 0,8–3,3 %, а вспышек и взрывов – 2,4–20 %;

- относительно невысокая частота взрывов метана (0,9 %), а совместно с вспышками – до 10 %, составила на 7 шахтах Воркуты при абсолютной метанообильности от 100 до  $290 \text{ м}^3/\text{мин}$ , где применялась дегазация с эффективностью 30–60 %.

Риск подземного производства угля в метанообильных шахтах РФ по фактору вспышек и взрывов метановоздушных смесей за упомянутый 10-летний

период составил в среднем  $4 \cdot 10^{-4}$ , в том числе по фактору взрывов –  $1 \cdot 10^{-4}$ . На особо опасных сверхкатегорных и выбросоопасных шахтах этот показатель в 1,2–1,6 раза выше среднего.

Особенностью метановой опасности оставшихся после реструктуризации угольной отрасли 80 действующих шахт России является снижение частоты взрывов и вспышек метана, однако они происходят с более катастрофическими последствиями как по числу погибших, так и по разрушениям горных выработок и шахтного оборудования. Обусловлено это увеличением метаноносности угольных пластов, а также весьма существенным ростом производительности очистных забоев и темпов проведения подготовительных выработок.

Повышению вероятности формирования взрывоопасных ситуаций в условиях подземной разработки метаноносных пластов угля способствуют нарушения по газовому фактору сверх допустимых ПБ режимов работы комбайнов по объемам добычи угля. Отмечены многочисленные нарушения вентиляционного, газового и пылевого режимов в шахтах, преимущественно в очистных забоях. Такие отклонения от норм являются предпосылками к взрывам газа и пыли в случае одновременного воспламенения взрывоопасной смеси. Предпосылки к авариям и последующие катастрофические взрывы метанопылевоздушных смесей имели место на шахтах «Зыряновская», «Комсомолец», «Тайжина», «Ульяновская», «Юбилейная», «Распадская» и др.

Согласно фактическим данным на 01.01.2012 г., среднесуточная добыча угля на шахтах была снижена и только на шести метанообильных шахтах (таблица 5.5) превышала 10 тыс. тонн угля. Метановыделение в течение года в среднем составляло на шахтах АО «Воркутауголь» 100–150 м<sup>3</sup>/мин при добыче угля от 4095 до 10 465 т/сут, на шахтах Кузбасса – от 11 до 150 м<sup>3</sup>/мин при объемах добычи угля 1600 – 13 074 т/сут. На шахтах со среднесуточной добычей угля более 11 тыс. тонн метановыделение было от 80 до 100 м<sup>3</sup>/мин (шахты им. С.М. Кирова, «Котинская», «Заречная»). Наиболее метанообильной являлась шахта «Есаульская» (169,3 м<sup>3</sup>/мин) при среднесуточной добыче угля 4952 тонн.

Т а б л и ц а 5.5

## Категории опасности угольных шахт по метану

Шахта	Метанообильность		Расход каптированного метана и/или его отвод газоотсывающими вентиляторами	Среднесуточная добыча угля, тонн	Категория опасности по метану
	абсолютная м <sup>3</sup> /мин	относительная, м <sup>3</sup> /т			
«Талдинская Западная 1»	16,5	1,8	3,8	13 074	I
«Талдинская Западная 2»	5,4	0,5	1,4	14 561	То же
№ 7	25,7	4,7	14,0	7945	II
Им. С.М. Кирова	100,4	12,8	65,82	11 264	Сверхкатегорная
«Котинская»	51,9	6,6	30,5	11 578	III
«Заречная»	88,4	11,7	51,6	12 787	Сверхкатегорная
«Северная»	148,9	72,3	113,8	6888	Опасная по выбросам
«Воргашорская»	126,2	17,4	51,9	10 465	Сверхкатегорная

Относительная метанообильность опасных по внезапным выбросам угля и газа шахт АО «Воркутауголь» изменилась в пределах 33,4–101,6 м<sup>3</sup>/т, шахт Кузбасса – от 10,9 до 41,2 м<sup>3</sup>/т, а сверхкатегорных шахт Воркуты и Кузбасса – 13,8–83,3 м<sup>3</sup>/т. На шахте «Котинская», отнесенной к III категории по метану, этот показатель составил 6,6 м<sup>3</sup>/т при абсолютном метановыделении 51,9 м<sup>3</sup>/мин и среднесуточной добыче угля 11 578 тонн (табл. 5.5).

Многолетнее отнесение угольных шахт к определенной категории опасности по метану по показателю относительной метанообильности [6, 7] следует считать условным, поскольку производство угля в конце 1-ой половины XX века, когда устанавливались критерии опасности шахт по метану, было низким. Среднесуточная добыча угля в забое в 50-х годах прошлого столетия составляла 170 т, а по шахте – не более одной тысячи тонн. Положения были приняты в Правилах безопасности в угольных шахтах (1954 г.), где в качестве критерия использован по установлению категории опасности шахт по метану показатель относительной метанообильности: до 5 м<sup>3</sup>/т – I категория, от 5 до 10 м<sup>3</sup>/т – II категория, 10–15 м<sup>3</sup>/т – III категория, 15 м<sup>3</sup>/т и более – сверхкатегорные шахты.

К сверхкатегорным шахтам относились и шахты при наличии в них суплярных выделений газов. В особую категорию метанообильных шахт позднее выделены шахты, опасные по внезапным выбросам угля и газа [26].

Такая градация установления категории опасности шахт по метану существует и в настоящее время (п. 267 ПБ 05-618-03), хотя объемы добычи угля в шахтах возросли на порядок и определение численных значений относительной метанообильности путем деления среднесуточных объемов выделившегося метана на объем добываемого за сутки угля на высокопроизводительных шахтах дает достаточно низкие значения относительной метанообильности шахты. При среднесуточной добыче угля на шахте «Котинская» (АО «СУЭК-Кузбасс»), равной в 2011 году 11 578 тонн, и абсолютном метановыделении 51,9 м<sup>3</sup>/мин (74 736 м<sup>3</sup>/сут) относительная метанообильность шахты составила 6,6 м<sup>3</sup>/т, что при существующем положении соответствует II категории опасности шахты по метану при высоком абсолютном метановыделении. Этот пример свидетельствуют о необходимости пересмотра установленного порядка отнесения шахт к категории опасности по метану, поскольку показатель относительного метановыделения при высоких нагрузках на лавы не отражает фактическую опасность ведения горных работ в шахте по газовому фактору, даже её снижает.

Произошедшие в последние годы взрывы метанопылевоздушных смесей с катастрофическими последствиями (шахты «Ульяновская», «Юбилейная», «Распадская» и др.), привели к административному ограничению нагрузок на очистные забои в метанообильных шахтах. Так, на шахте «Распадская» нагрузка на лаву ранее устанавливалась преимущественно по техническим возможностям очистной техники и достигала на мощных пластах 10–15 тыс. тонн угля в сутки (пласты 6-ба и 7-7а), то плановые нагрузки на лавы на ближайшие годы уменьшены в два раза при тех же способах управления газовыделением, которые применялись на выемочных участках (вентиляция, дегазация, газоотсос). Объемы добычи угля в лавах с различными горнотехническими условиями на ближайшие годы приведены в таблице 5.6.

Т а б л и ц а 5.6  
Ограничение добычи угля на угольных шахтах

Вынимаемая мощность пластов угля, м	Длина очистного забоя, м	Угледобывающие комплексы	Объемы добычи угля, тыс. т	
			в месяц	за сутки
1,7–2,1	255–300	DBT, Joy-1	90–160	3,0–5,3
2,4–2,5	250–300	MKT	80–120	2,7–4,0
2,7–4,5	245–300	MK, Joy-2, Joy-3	120–200	4,0–6,7

Решение газовой проблемы в высокопроизводительных шахтах должно базироваться на прогнозных показателях газоносности пластов угля и абсолютной метанообильности очистных и подготовительных забоев при рациональных схемах проветривания выработок выемочных участков и эффективности дегазации источников метановыделения. Положения по прогнозу метанообильности должны быть существенно скорректированы, поскольку повысились нагрузки на очистные забои и применяемые методы прогноза метанообильности выработок не отвечают сложившимся новым условиям.

Процесс метановыделения из разрабатываемых пластов в призабойное пространство лавы в значительной степени обусловлен газоносностью массива угля и интенсивностью угледобычи в очистном забое, влияющей на динамику распределения газового давления в массиве и степень дегазации массива угля, примыкающего к очистному забою. При этом важным показателем, влияющим на интенсивность метановыделения в лаве, является газоносность массива угля в полосе (заходке), вынимаемой комбайном, поскольку она в большей степени подвержена естественной дегазации за счёт частичной разгрузки пласта от горного давления.

Актуальным следует считать обоснование критериев отнесения угольных шахт к категориям их опасности по метану с учётом абсолютных объемов его выделения в шахтах и наличия других взрывоопасных газов (водород, тяжелые углеводороды) и их влияние на опасность взрывов газовоздушных смесей.

В целях совершенствования метода прогноза метановой опасности угольных шахт выполнены исследования по прогнозу абсолютной метанообильности выемочных участков на высокопроизводительных шахтах Кузбасса и Воркуты. Объектами и исходными геологическими и горнотехническими условиями явились пологие угольные пласты, разрабатываемые как одиночно, так и в свите пластов угля, их глубина залегания, мощность, местонахождение сближенных пластов относительно отрабатываемого пласта, протяженность зон разгрузки углепородных массивов в кровле и почве разрабатываемого пласта, природная и остаточная после естественной дегазации метаноносность угольных пластов.

Учтена суточная и минутная производительность очистных забоев, остаточная метаноносность отбитого в лаве угля на выходе его из выемочного участка. Итоговые результаты расчета метановыделения на выемочных участках приведены в таблице 5.7, из которой видно, что абсолютная метанообильность выемочных участков в различных условиях составляла от 6,0 до 113,1 м<sup>3</sup>/мин.

Разработан метод отнесения угольных шахт к категории опасности по метану на основе показателей абсолютной метанообильности выемочных участков в условиях конкретных шахт.

Природная метаноносность пластов угля и вмещающих пород принята по данным геологических отчетов по доразведке шахтных полей [27], выполненных с отбором керногазонаборниками проб угля на газосодержание углей и пород. Предельная зона разгрузки углевмещающей толщи пород кровли и почвы пласта при его отработке установлена экспериментально [7] или расчетом, приведенным в Руководстве [14]. Производительность комбайна и суточная добыча угля из очистного забоя принята в соответствии с проектом разработки пластов угля шахтного поля.

Таблица 5.7

## Источники метановыделения на выемочных участках

Шахта	Пласт	Мощность пласта, м	Метаноносность пласта, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Среднесуточная добьча угля, т	Производительность комбайна, т/мин	Метановыделение		Примечание
						Абсолютное, м <sup>3</sup> /мин	Сближенные пласти и породы	
«Алардинская»	1	1,75	17,1	1000	3,3	5,1	0,9	8,6/7,5*)
	3-3а	4,5	18,0	2000	8,0	8,0	2,8	10,8/9,3
ИМ. С.М. Кирова	24	2,2	15,2	6630	7,4	12,7	76,3	89,0/80,9
	25	1,7	16,8	4500	7,4	13,9	38,7	52,6/39,2
«Котинская»	52	4,4	9,8	17 600 23 000 32 400	16,3 21,3 30,0	5,4 7,0 9,9	37,0 47,9 84,1	18,8/17,9 42,4/33,5 54,9/51,4 94,0
	«Северная»	Четвертый	1,5	23,2	1660	5,3	10,4	63,2
				2500	8,0	15,7	97,4	73,6/65,4
							113,1	63,8/57,6
							65,1	Свига угольных пластов То же
								Свига угольных пластов То же
								Свига угольных пластов То же

Примечание \*) В числителе приведены прогнозные данные, знаменатель – фактическое.

## 6. ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАНА ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

### 6.1. Выработанное пространство очистного забоя

Возможности интенсификации и безопасности ведения очистных работ в метанообильных шахтах находятся в тесной связи с ограничениями по газовому фактору и вероятностью взрывов метановоздушных смесей на выемочных участках с разрушениями горных выработок и оборудования, гибели шахтеров.

После распада СССР, когда шахтами начали владеть частные компании, на российских шахтах произошло 88 аварий по фактору метана, число ежегодных аварий возросло в 2 раза при снижении объемов добычи угля в 1,6 раза. При некотором росте среднегодовой добычи угля число аварий из-за взрыва метана в период 2000–2015 гг. снизилось и составило по пятилеткам, соответственно, 44, 23 и 22, но они происходили с большими катастрофическими последствиями, в том числе по гибели людей. Аварии происходили преимущественно на выемочных участках, где управление газовыделением в выработанных пространствах осуществлялось с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок, причем при полном или частичном исключении дегазации сближенных пластов угля и выработанного пространства [18].

Введение новых положений по условиям и параметрам дегазации шахт привело к расширению области и повышению эффективности ведения дегазационных работ. Уменьшилось число случаев загазирования горных выработок и газоопасных ситуаций. Вероятность аварий по газовому фактору на 84 действующих в то время шахтах РФ значительно снизилась и составила  $7,8 \cdot 10^{-7}$  применительно к отдельной шахте в сутки, что значительно меньше вероятности  $4 \cdot 10^{-4}$  по 146 шахтам (1985–1994 гг.).

Катастрофические последствия взрывов метана и угольной пыли с большим числом погибших шахтеров обусловлены, прежде всего, высокой метанообильностью запыленных выработанных пространств действующих и ранее отработанных участков пласта, с нулевой или низкой эффективностью примененных средств дегазации сближенных угольных пластов и выработанных пространств, из-за ориентации шахт на способ управления газовыделением с применением газоотсасывающих вентиляторных установок.

Исходные данные табл. 6.1 свидетельствуют о существенной роли метанообильности выработанного пространства в структуре газового баланса шахты и выемочного участка.

В выработанное пространство действующего очистного забоя метан выделяется из разгружаемых от горного давления сближенных угольных пластов и газоносных пород, а также часть его выделяется из обнаженных поверхностей

разрабатываемого пласта и отбитого в лаве угля. Эта часть объёмов метана уносится в выработанное пространство утечками воздуха, количество которого определяется схемой проветривания выемочного участка, состоянием призабойного пространства очистного забоя, аэродинамическим сопротивлением выработанного пространства и производительностью газоотводящих вентиляторных установок.

Т а б л и ц а 6.1  
Метановыделение на выемочном участке

Шахта	Среднесуточная добыча угля, тонн	Метанообильность, м <sup>3</sup> /мин			Дебит извлеченного метана на участке, м <sup>3</sup> /мин, средствами	
		шахты	выемочного участка (отрабатывающий пласт)	выработанного пространства участка	дегазации	газоотсоса
Им. С.М. Кирова	11 274	100,4	70,4 (24)	57,7	49,3	16,5
Им. В.Д. Ялевского (бывш. «Котинская»)	11 578	51,9	48,4 (52)	37,1	30,5	0
«Абашевская»	2856	81,7	45,5 (26)	40,1	1,8	24
«Алардинская»	3341	152,8	61,0 (3-3а, 21)	50,7	32,6	37,3
«Есаульская»	4952	169,3	61,9 (26)	59,0	1,5	38,9
«Осинниковская»	1545	96,2	46,7 (E5)	39,6	1,2	38,9

Для эффективной работы метанообильных очистных забоев по добывче угля необходимы мероприятия по снижению интенсивности метановыделения из выработанных пространств путем применения средств дегазации сближенных угольных пластов и выработанных пространств, прежде всего, в пределах действующих выемочных участков, исключив при этом в качестве воздушной тяги газоотсасывающие вентиляторные установки.

Аэrogазодинамическое состояние высокопроизводительных выемочных участков оценено утечками воздуха, данные которых свидетельствуют о значительных объемах воздуха, утекающего из призабойного пространства лавы в выработанное пространство как при использовании для управления метановыделением газоотсасывающих вентиляторных установок (шахта им. С.М. Кирова), так и пробуренных с земной поверхности дегазационных скважин (шахта «Котинс-

кая»). В первом случае газоотсасывающими вентиляторными установками выбрасываются в атмосферу смеси с низким содержанием метана, во втором – извлекается метан с пригодным его содержанием для утилизации каптируемых вакуумными насосами смесей.

Положительная ситуация наблюдается на выемочных участках с комплексной дегазацией по снижению интенсивности метановыделения из основных источников и по достаточно высоким расходам каптируемого метана из неразгруженных пластов угля и выработанных пространств (табл. 6.3).

Безопасность ведения очистных работ в значительной степени зависит от концентрации метана в выработанных пространствах, которая утечками воздуха может разбиваться до взрывоопасного содержания, то есть до взрывоопасных величин, которые приняты равными в пределах 5–15 % (по объему). Для этих пределов концентрации метана (по минимуму и максимуму) определены объемы воздуха, при которых метановоздушные смеси не будут взрывоопасными.

Суть метода заключается в том, что применительно к конкретным горнотехническим условиям отработки угольного пласта устанавливается количественная связь между среднесуточной добычей угля ( $A_c$ , т/сут) на участке и интенсивностью выделения метана ( $I_{в.п}$ , м<sup>3</sup>/мин) в выработанное пространство, то есть зависимость  $I_{в.п} = f(A_c)$ . Затем определяются необходимые расходы воздуха в выработанном пространстве при наперед заданных содержаниях в нем метана (с, %) применительно к метанообильности выработанного пространства (зависимость  $Q_v = \varphi(I_{в.п}, c)$  для нижнего и верхнего пределов взрывоопасного содержания метана (см. раздел 4).

Интенсивность выделения метана в выработанное пространство определяется по формуле

$$I_{в.п} = kA_c + I_\phi, \quad (6.1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;

$I_\phi$  – фоновое поступление метана с рудничным воздухом (м<sup>3</sup>/мин) в выработанное пространство очистного забоя, а расход воздуха по зависимости

$$Q_{в.п} = \frac{100 \cdot I_{в.п}}{c}. \quad (6.2)$$

Показатели, входящие в эти формулы, приведены в разделе 4: концентрация метана 2 % – допустимая в рудничной атмосфере (местное скопление), 5–15 % – взрывоопасные в выработанных пространствах концентрации метана (см. раздел 4).

Чтобы исключить формирование условий взрывоопасного содержания метана в выработанном пространстве выемочного участка, расход воздуха в нем

должен превышать расчетную величину, установленную по зависимости (6.2): при концентрации метана в рудничной атмосфере 2 %, либо быть меньше значений взрывоопасных концентраций метана, равных 5–15 %, или не менее 25 % при утилизации каптируемого метана.

Анализ аэrogазодинамического состояния высокопроизводительных выемочных участков на газовых шахтах свидетельствует о значительных утечках воздуха из призабойного пространства лавы в выработанное пространство, что не исключает формирование в нем взрывоопасных метановоздушных смесей.

## *6.2. Извлечение метана подземными и наземными скважинами*

Извлечение метана выработанного пространства осуществляется средствами дегазации путем бурения скважин из подземных выработок или с земной поверхности с последующим подключением их к вакуумной системе центральной ВНС или передвижных установок на поверхности горного отвода шахты [9]. При этом возможны следующие варианты схем дегазации:

1) скважины пробурены из выработки, отделенной от выработанного пространства действующей лавы целиком углем; 2) скважины пробурены из поддерживаемой за лавой выработки; 3) скважины пробурены из погашаемой за лавой выработки; 4) фланговые скважины пробурены из бремсберга или уклона; 5) вертикальные скважины пробурены с земной поверхности.

Применительно к интенсивной отработке пластов угля, наиболее эффективными схемами дегазации следует считать варианты 1, 4 и 5, обеспечивающие извлечение кондиционных по метану смесей. Основное требование к технологическим схемам дегазации – это завершение буровых работ до начала разгрузки сближенных подрабатываемых пластов угля от горного давления в процессе ведения очистных работ, а также контроль режима работы скважин по соблюдению кондиционности и дебита каптируемых смесей.

Параметры наземного способа извлечения метана выработанных пространств основаны на учете интенсивности выделения метана из сближенных пластов в выработанное пространство действующей лавы ( $I_{\text{вп}}$ , м<sup>3</sup>/мин), суммарной мощности подрабатываемых пластов угля ( $\Sigma m_{\text{с.п.}}$ , м), вынимаемой мощности отрабатываемого пласта ( $\Sigma m_{\text{в}}$ , м), величины коэффициента дегазации выработанного пространства ( $k_{\text{дег.в.}}$ ), числа функционирующих на выемочном участке вертикальных скважин [9].

Имеющиеся в угольной отрасли Российской Федерации нормативные документы позволяют определять метанообильность выемочных участков и призабойных пространств, допустимую нагрузку на лаву по техническим возможностям очистных комплексов и по газовому фактору, выбирать схемы

проветривания выработок выемочных участков и полей, способы, схемы и параметры дегазации источников метановыделения. Вместе с тем рекомендации по прогнозу метанообильности выемочных участков, изложенные в Руководстве [14] и основанные на результатах более ранних исследований (1970–1985 гг.), не соответствуют новым условиям высоких скоростей подвигания лав, поскольку интенсивность процессов разгрузки углепородных массивов в зоне отрабатываемого пласта в этом случае иная. Скоростное ведение очистных работ существенно влияет на границы зон разгрузки и на параметры заложения скважин, предназначенных для дегазации подрабатываемых и надрабатываемых угольных пластов [9].

Объектами исследования были выбраны наиболее характерные по горнотехническим условиям шахты Кузбасса, Воркуты и Караганды. При этом учитывались расстояния подрабатываемых и надрабатываемых пластов угля от отрабатываемого, скорости подвигания лав, местоположение зон начала и максимума газовыделения в дегазационные скважины, коэффициенты естественной и искусственной дегазации угольных пластов.

Результаты исследования использованы при подготовке нормативных документов по дегазации угольных шахт, изданных в 1990, 2007, 2012 гг., в части влияния скорости подвигания очистных забоев на параметры извлечения метана скважинами из подрабатываемых и надрабатываемых угольных пластов.

Методика выполнения работы заключалась в проведении экспериментальных исследований и наблюдений за динамикой газовыделения из скважин, пробуренных с земной поверхности или из выработок выемочного участка на сближенные пласти.

Данные исследований обрабатывались в основном по стандартной методике: определяли метановыделение из разрабатываемых, сближенных подрабатываемых и надрабатываемых угольных пластов, их долевое участие в газовом балансе выемочного участка, измеряли расходы метановоздушных смесей из дегазационных скважин и содержание в них метана, устанавливали местоположение зон начального и максимального метановыделения в скважины относительно линии очистного забоя.

Кроме того, определяли коэффициенты естественной и искусственной дегазации разрабатываемых и сближенных угольных пластов в разгружаемых от горного давления зонах, выявляли зависимости степени их дегазации от мощности междупластья и предельные расстояния разгрузки углепородных массивов под влиянием очистных работ с различными скоростями подвигания лав.

В результате исследования эффективности схем и параметров дегазации сближенных угольных пластов на выемочных участках с различными скоростями подвигания очистных забоев установлено следующее.

Местоположение зон начального и максимального метановыделения в скважины из сближенных пластов угля зависит в основном от их удаленности от разрабатываемого пласта и скорости подвигания лав. Так, при отработке пласта  $K_{10}$  (шахта «Абайская», Карагандинский угольный бассейн) при средней скорости подвигания очистного забоя 2,5 м/сут) максимальное метановыделение из подрабатываемого пласта  $K_{11}$ , отстоящего от разрабатываемого на расстоянии 35 м, отмечено от линии забоя лавы на расстоянии 23 м (проекция на плоскость пласта). Отработка пласта Болдыревского (индекс пласта 24) на шахте им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс») со скоростью подвигания лавы 9,5 м/сут приводила к максимальным разгрузке и метановыделению в дегазационные скважины из пластов Брусницинский и Майеровский на расстоянии от забоя лавы, соответственно, 30 и 35 м. При более высокой скорости подвигания лавы по пласту 52 (шахта «Котинская», АО «СУЭК-Кузбасс»), равной 13,8 м/сут, зона максимального метановыделения в скважины из подрабатываемого пласта 53, отстоящего от разрабатываемого пласта 52 на расстоянии 44 м, отмечена в 50 м от забоя лавы.

Чем ближе к отрабатываемому пласту залегают сближенные пласты угля, тем в большей степени приближаются к забою лавы зоны максимального метановыделения. В Воркуте это подрабатываемый пласт Тройной и надрабатывающиеся пласти  $n_9$  (шахта «Северная»), в Кузбассе – пласт 3-За (шахта «Алардинская») и Промежуточный пласт (шахта им. С.М. Кирова).

Подрабатываемые угольные пласти в сравнении с надрабатываемыми при высоких скоростях подвигания лав в большей степени подвержены разгрузке от горного давления и дегазации, причем как в пространстве, так и во времени.

При высоких скоростях подвигания очистных забоев и больших расстояниях между пластами зоны максимального газовыделения из сближенных пластов угля в скважины смещаются от линии очистного забоя к выработанному пространству. Если при отработке пласта 52 (шахта «Котинская») зона максимального метановыделения из пласта 53 находилась на расстоянии 50 м от очистного забоя, то из пласта 56, удаленного от пласта 52 на 128 м, – 137 м. Безусловно, горнотехнические условия залегания пластов в свите и технология их отработки предъявляют свои требования к параметрам заложения дегазационных скважин на выемочном участке и к режимам их работы. Угол наклона прямых к оси абсолют позволяет устанавливать местоположение зон максимального газовыделения в дегазационные скважины из сближенных пластов угля [7, 23].

Такая оценка влияния фактических скоростей подвигания очистного забоя и мощности между пластами на местоположение зоны максимального метановыделения из сближенных пластов угля в дегазационные скважины упрощает решение практических задач по выбору режима работы скважин путем регулирования разрежения на их устьях.

Предельные зоны разгрузки подрабатываемых и надрабатываемых углепородных массивов, образующихся под влиянием очистных работ, и степень естественной дегазации сближенных угольных пластов необходимы для прогноза метанообильности выемочных участков. Однако прогнозные объёмы метановыделения на участке при производительности очистных забоев менее 1,5 тыс. т угля в сутки, отличаются от таковых в условиях интенсивной отработки пластов угля высокопроизводительной очистной техникой. Причина заключается в динамике процесса и параметрах зон разгрузки пород кровли и почвы при различных скоростях подвигания лав, достигающих 15–20 м/сут и более.

Прогнозные оценки объёмов метановыделения в соответствии с руководством [14] оказываются завышенными по сравнению с фактическими. Например, по прогнозу отработки пласта 24 на шахте им. С.М. Кирова предельное расстояние по нормали от разрабатываемого пласта до сближенных, из которых газовыделение на участке близко к нулю, составило 189 м, а по факту с учётом степени дегазации сближенных пластов угля и результатов измерения интенсивности метановыделения из скважин – 110 м при вынимаемой мощности пласта 24, равной 2,15 м. Метановыделение из сближенных подрабатываемых пластов завышено на 41 %, что обусловлено темпом отработки пласта на выемочном участке.

Установленная зависимость коэффициентов естественной дегазации углепородных массивов в кровле и почве отрабатываемых угольных пластов в различных шахтах позволяет точнее оценивать интенсивность метановыделения в горные выработки и дегазационные скважины. Степень естественной дегазации сближенных пластов угля под влиянием очистных работ зависит от величины междупластья, и значений коэффициента естественной дегазации разрабатываемых пластов угля впереди очистного забоя, равных 0,6–0,7.

Зависимость коэффициента естественной дегазации сближенных пластов угля  $K_e$  (доли ед.) от мощности междупластья  $M_i$  (м) имеет вид:

$$K_e = K_{pl} - cM_i, \quad (6.3)$$

где  $K_{pl}$  – степень естественной дегазации разрабатываемого пласта впереди очистного забоя, доли ед.;

$c$  – коэффициент уравнения в изученных условиях ( $c = 0,0053$  при подработке сближенных пластов и  $c = 0,0156$  при надработке).

В соответствии с положениями инструкции [9], рекомендуется оценивать возможности искусственной дегазации угольных пластов, в том числе и объемы извлечения метана из подрабатываемых пластов угля, залегающих от разрабатываемого пласта на расстоянии до 60 м по нормали и от надрабатываемых пластов

до 35 м по нормали. За пределами упомянутых мощностей между пластами нет необходимости бурить дегазационные скважины на сближенные пласти угля на участках с высокими скоростями подвигания лав.

Установленные предельные мощности между пластами в кровле или почве разрабатываемого пласта (при  $K_e \geq 0$ ) целесообразно использовать для прогноза интенсивности метановыделения из сближенных пластов угля на высокопроизводительных выемочных участках при разработке свиты газоносных пластов угля.

В условиях, когда возможно продолжительное функционирование скважин, скорость подвигания лав на выемочном участке не оказывает существенного влияния на эффективность подземного способа дегазации как подрабатываемых, так и надрабатываемых пластов угля. Это имеет место, прежде всего, при схеме их отработки с оставлением целиков угля между выемочными участками либо при сохранении выработок позади очистного забоя.

Иная ситуация наблюдается при отработке угольного пласта с погашением выработок за лавой и при возвратноточной схеме, проветривания участка, когда схемой дегазации предусмотрено бурение скважин из участковых выработок, причем при весьма ограниченных сроках эксплуатации скважин. В таких условиях рекомендуется бурение скважин только на подрабатываемые пласти угля, причем после очередной посадки пород основной кровли.

К эффективным способам дегазации сближенных пластов угля на высокопроизводительных выемочных участках при погашении выработок за лавой относятся способы с использованием скважин, пробуренных с земной поверхности, или длинных скважин направленной трассы, пробуренных из участковых или фланговых выработок в направлении движущегося очистного забоя с выводом горизонтальной части скважины в плоскость сближенного пласта [9].

## 7. МЕТАНОВАЯ ОПАСНОСТЬ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

### 7.1. Схемы управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт

В метанообильных шахтах России нашли применение три основные схемы управления метановыделением на выемочных участках: 1) средствами вентиляции – путем использования вентиляторов главного и вспомогательного проветривания, обеспечивающих свежим воздухом горные выработки; 2) средствами дегазации – с применением вакуумных насосов и изолированным отводом на земную поверхность по трубам газовоздушных смесей с высоким содержанием метана (от 25 до 100 % об.) при давлении значительно ниже атмосферного; 3) средствами наземных газоотсасывающих вентиляторных установок, которые через скважины диаметром 0,5–2,0 м отводят часть рудничного воздуха из призабойного пространства лавы по выработанному пространству выемочного участка на поверхность, при концентрации метана на вентиляторной установке менее 3,5 % (об.) [18].

Первые две схемы управления газовыделением в шахтах традиционно используются в мировой практике уже не одну сотню лет, третью схему начали применять четверть века назад сначала по временно действующим рекомендациям и руководствам на шахтах Кузбасса, затем с 2013 г. – в соответствии с положениями действующей инструкции [18].

Третья схема – комбинированная: в 2001–2002 гг. её применяли для проветривания на 32 выемочных участках шахт России, преимущественно в Кузбассе (30 участков). В 2005 г. для отвода метана из выработанных пространств действующих выемочных участков использовались уже 36 газоотсасывающих вентиляторов с различными объемами подачи воздуха. Кроме того, было пробурено еще 18 скважин большого диаметра суммарной длины 4,3 км, сооружены 24 газодренажные сети общей протяженностью 29,8 км. Суммарный дебит энергетически чистого метана выбрасывался в атмосферу в объеме 480 м<sup>3</sup>/мин при общем метановыделении на выемочных участках, проветриваемых по третьей схеме, – 2200 м<sup>3</sup>/мин. Загрязнялась атмосфера стойким парниковым газом, каковым является метан. Такие расходы выбрасываемого в атмосферу Земли шахтного метана в 2,4 раза превосходили объемы каптированного на 13 шахтах Кузбасса метана, равного 197,3 м<sup>3</sup>/мин, что свидетельствует о существенном снижении объемов извлечения метана средствами дегазации на выемочных участках из-за использования газоотсасывающих вентиляторных установок, выбрасывающих метановоздушные смеси в атмосферу.

Опыт применения в Кузбассе комбинированной схемы проветривания выемочных участков с использованием наземных газоотсасывающих вентилятор-

ных установок показал, что, во-первых, снижается метанообильность как призабойного пространства, так и выработок выемочного участка, поскольку часть выделяющегося метана из разрабатываемого пласта и отбитого в лаве угля, а также метана из сближенных пластов угля и пород утечками воздуха искусственно отводится через выработанное пространство на поверхность, во-вторых, в выработанных пространствах формируются взрывоопасные концентрации метана и отложившейся тонкодисперсной взрывоопасной угольной пыли, что создаёт предпосылки к взрывам метанопылевоздушных смесей, причем, как правило, с катастрофическими последствиями.

С 1991 г. в Кузбассе произошли взрывы (вспышки) метановоздушных смесей на 17 выемочных участках, проветриваемых по комбинированной схеме с использованием газоотсасывающих вентиляторов. За 15 лет такого способа управления метановыделением на 17 выемочных участках, где произошли взрывы метанопылевоздушных смесей, пострадало 173 шахтера, 78 – смертельно. В зоне поражающих факторов взрыва находилось 340 человек. Условные потери добычи составили более 3 млн тонн угля, материальный ущерб – 1 млрд рублей. Такую опасную схему нет смысла применять.

Печальные последствия применения газоотсасывающих вентиляторных установок в то время не были восприняты и не оценена опасность такого способа проветривания выемочных участков и полей в условиях высокопроизводительных метанообильных шахт. Тем более, что с 2002 г. комбинированный способ проветривания выемочных участков в ВостНИИ стали именовать с изолированным отводом метана из выработанного пространства, хотя по своей физической сути способ проветривания выемочного участка остался прежним. Последовали более катастрофические взрывы метанопылевоздушных смесей в шахтах.

Кроме основного варианта способа с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок был рекомендован вариант способа с обеспечением утечек воздуха из лавы в выработанное пространство за счёт общешахтной депрессии [18]. Этот вариант управления метановыделением следует считать неуправляемым и ещё более опасным, о чём свидетельствовали катастрофические последствия взрыва метанопылевоздушной смеси на шахте «Ульяновская» (АО «ОУК «Южкузбассуголь») 21 марта 2007 г. Изолированный отвод метана из выработанного пространства за пределы выемочного участка на поверхность при такой технологии противоречит терминологии подземной аэрогазодинамики, так как выработанное пространство в подобных условиях является частью искусственно проветриваемого шахтного поля.

Изолированное извлечение метана из сближенных угольных пластов и выработанных пространств возможно только через вакуумированные дегазационные скважины с последующим отводом каптируемых смесей по трубопроводам на поверхность вне соприкосновения с рудничным воздухом.

В Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт [14] рекомендована следующая последовательность применения схем управления метановыделением на выемочных полях и участках: в первую очередь, естественно обеспечение нормативных параметров рудничной атмосферы средствами вентиляции очистных выработок. Затем, если средствами вентиляции не обеспечивали установленные ПБ параметры содержания метана в рудничном воздухе, применять дегазацию основных источников метановыделения, и только в последнюю очередь (после дегазации) – использовать наземные или подземные газоотсасывающие вентиляторные установки с возможным риском взрыва метаноопасной смеси.

На практике ситуация по очередности применения способов управления метановыделением на выемочных участках шахт Кузбасса сложилась иным образом. При составлении паспортов выемочных участков в нарушение положений руководства [14] способу дегазации отводилась второстепенная роль, вплоть до ее исключения, а схема проветривания участков с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок стала преобладающей при формальном присутствии на шахте дегазации в любой форме ее применения в том числе при проходке подготовительных выработок. При этом, включив в нормативную инструкцию [18] в качестве источника тяги воздушных потоков вакуумные насосы, номинальная производительность которых не превышает  $150 \text{ м}^3/\text{мин}$  (в 5–20 раз меньше производительности газоотсасывающих вентиляторов), сделана попытка считать дегазацией и комбинированную схему проветривания выемочного участка, что весьма нелогично, ненаучно и абсурдно, причем скважины для газоотсасывающих вентиляторных установок необоснованно стали именовать дегазационными, а газоотсасывающую вентиляторную установку – дегазационной установкой, что не допустимо.

Подмена при составлении паспортов выемочных участков способов дегазации на газоотвод с использованием вентиляторов оказалась губительной, поскольку участились случаи взрывов метановоздушных и метанопылевоздушных смесей в шахтах с катастрофическими последствиями как по числу погибших и травмированных шахтеров, так и по степени разрушения горных выработок: выводилось из строя оборудование, устройства и приборы, о чем свидетельствуют крупные аварии на шахтах Кузбасса, причем с остановкой работ по добыче угля на длительное время, с материальными и экономическими потерями.

В действующей инструкции [18] по сути исключены положения руководства [14] по очередности применения схем управления метановыделением на выемочных участках и полях, нет указаний о главенствующей роли дегазации по снижению метанообильности выемочных участков и угольных шахт.

Характерной особенностью способа управления метановыделением на выемочных участках с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок является стремление к увеличению расхода (подачи) вентиляторов. Вместо относительно маломощных ВЦГ-7М с номинальной производительностью 480–900 м<sup>3</sup>/мин широко стали применять газоотсасывающие установки УВЦГ-9 и УВЦГ-15 с номинальным расходом вентиляторов 840–1560 и 1680–3600 м<sup>3</sup>/мин воздуха, соответственно.

Применение газоотсасывающей вентиляторной установки типа ВМЦГ-7 обеспечивало расходы метановоздушных смесей в условиях различных шахт Кузбасса в пределах 150–320 м<sup>3</sup>/мин при количестве отводимого из выработанного пространства выемочного участка 9–16 м<sup>3</sup>/мин метана. Это свидетельствует о том, что в выработанных пространствах действующих участков находились взрывоопасные метановоздушные смеси. При таких параметрах отвода метана из выработанного пространства, например, на аварийной лаве 14-01 (шахта «Зыряновская», источник воспламенения метана – искрение раздавленного комбайном самоспасателя), произошел взрыв метанопылевоздушной смеси с катастрофическими последствиями: погибло 67, пострадало 73 шахтера. Взрывоопасное состояние по газу и пыли выработанных пространств отмечено и на других шахтах (им. Шевякова, «Комсомолец», «Есаульская», «Ульяновская», «Юбилейная», «Распадская», № 7) при различных источниках воспламенения метановоздушных смесей.

На шахте «Комсомолец» газоотсасывающие вентиляторные установки применялись при работе лавы 1845, метан извлекался из выработанного пространства действующей лавы, а также из выработанных пространств отработанных ранее лав 1844 и 1843. Взрыв метана на участке лавы 1845 из-за его воспламенения в газоотсасывающей скважине последовательно инициировал взрывы метановоздушных смесей, содержащихся в выработанных пространствах отработанных лав 1844 и 1843, поскольку разрушались изолирующие перемычки. Отмечена серия взрывов метанопылевоздушных смесей с большим материальным ущербом.

Практика ведения горных работ на метанообильных шахтах Кузбасса с дополнительным применением для проветривания выемочных участков газоотсасывающих вентиляторов и отзывы технической общественности об их эффективности показали, что использование комбинированного проветривания выемочных участков в таком варианте крайне опасно. Требуемая по газовому фактору эффективность и безопасность не обеспечивались во многих лавах. Взрывы,

например, на шахтах «Тайжина» и «Чертинская» (2004 г.), где при ликвидации последствий взрывов аварийно-спасательные работы велись в атмосфере, содержащей метан от 4 до 9 %.

Кроме того, анализ результатов 13 реверсий на шахтах, допустивших взрывы метановоздушных смесей, показал, что газоотсасывающие вентиляторные установки не всегда обеспечивали требуемую 60-процентную подачу воздуха на выемочный участок, при этом происходил вынос метановоздушной смеси из выработанного пространства в количестве 10–15 %, а остановка такого вентилятора во время реверсии приводило к повышению концентрации метана в исходящей струе от 1 до 6 %, резко возрастала эндогенная пожароопасность и аварийно-спасательные работы велись во взрывоопасных по газу условиях.

Об опасности способа управления газовыделением на выемочных участках с использованием газоотсасывающих вентиляторов свидетельствуют данные, приведенные в работе [19]. Опасность очевидна, а утверждение инструкции в качестве нормативного документа без указания области применения следует считать преждевременным, даже вредным для управления газовыделением в метанообильных высокопроизводительных шахтах, отрабатывающих весьма склонные к самовозгоранию угольные пласты.

Показательным примером необоснованного решения по выбору схем управления газовыделением на выемочном поле с применением газоотсасывающих вентиляторных установок – шахта «Распадская». При отработке весьма склонного к самовозгоранию пласта 6-ба за основу отработки участка 5а-6-18 вблизи ранее отработанной лавы 5а-6-16 принята бесцеликовая технология отработки пласта с одновременной выемкой комбайном его основной лавной части и отделенного от лавы выработкой угольного целика между лавами 5а-6-18 и 5а-6-16. Для проветривания выработок выемочного участка лавы 5а-6-18 были предусмотрены три последовательно примененные схемы в зависимости от жизненного цикла лавы: на первом этапе от монтажной камеры – возвратноточная схема; на втором и третьем этапах – при отработке основной части пласта и межлавного целика с дополнительным запуском в работу газоотсасывающей вентиляторной установки УВЦГ-9 с последующей ее заменой на третьем этапе на УВЦГ-15. Верхнюю часть очистного забоя при выемке межлавного целика проветривали с использованием газоотсасывающей вентиляторной установки с водом через выработанное пространство лавы 5а-6-16 ( $330 \text{ м}^3/\text{мин}$  воздуха). При плановой суточной добыче угля 12 тыс. тонн на 2 и 3 этапах работы лавы прогнозная метанообильность участка составляла  $25,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ , призабойного пространства лавы –  $13,4 \text{ м}^3/\text{мин}$  и выработанного пространства –  $12,0 \text{ м}^3/\text{мин}$ , дебит метана, отводимого газоотсасывающей вентиляторной установкой УВЦГ-15 на 3-ем этапе –  $8,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Положительное заключение экспертизы промышленной безопасности по проекту управления газовыделением с использованием газоотсасывающих вентиляторов 3 типов на этом выемочном участке следует считать неквалифицированным, поскольку не были соблюдены требования ПБ и руководства [14], не проводилась дегазация сближенных пластов угля и выработанного пространства с использованием дегазационных скважин на весьма опасном по самовозгоранию пласте 6-ба, а была рекомендована схема управления метановыделением с применением газоотсасывающих вентиляторов.

Аэrogазодинамические показатели на выемочном участке лавы 5а-6-18 шахты «Распадская» и на других шахтах, применявших газоотсасывающие вентиляторные установки, свидетельствуют о следующем. Большие диапазоны расхода воздуха на выемочных участках ( $850\text{--}2205 \text{ м}^3/\text{мин}$ ), их метанообильность ( $13\text{--}60 \text{ м}^3/\text{мин}$ ), а расходы метановоздушных смесей и отводимого из выработанных пространств метана выбраны без учета их газодинамических параметров и числа скважин на упомянутых шахтах. В этих случаях отсутствовало научное обоснование типа применяемого газоотсасывающего вентилятора, не учитывалось то, что в выработанных пространствах скапливается тонкодисперсная угольная пыль, которая подобно пороху воспламеняется при вспышках или взрывах метановоздушных смесей, усиливая катастрофические последствия взрыва метанопылевоздушных смесей.

Высокая аварийность на шахтах Кузбасса, применявших комбинированные схемы проветривания выработок выемочных участков с использованием различных типов газоотсасывающих вентиляторов, обусловлена, прежде всего, тем, что в паспортах выемочных участков не применялась скважинная дегазация сближенных пластов и выработанных пространств, использованием вакуумных насосов, позволяющих отводить метан изолированно по трубопроводам на поверхность, минуя контакт с рудничной атмосферой. Более того, высокое содержание метана в каптируемой газовоздушной смеси позволяет его утилизировать, а не выбрасывать в атмосферу как это присуще схеме газоотсоса вентиляторными установками. При эффективно работающей дегазации сближенных угольных пластов скважинами (до 70–80 %) на долю газоотсоса вентиляторными установками приходилось бы только 13–30 %, в то время как на долю дегазации выемочного участка – более 50 %.

Использование газоотсасывающих вентиляторных установок на пластах угля, склонных к самовозгоранию, резко повышает эндогенную пожароопасность. Выработанные пространства практически всегда остаются взрывоопасными по метану и угольной пыли, о чем свидетельствуют взрывы на шахтах «Комсомолец», «Есаульская», «Зыряновская», «Тайжина», «Октябрьская», «Распадская», «Абашевская», «Осипниковская», «Полысаевская» и др.

Опыт работы шахт в Кузбассе свидетельствует также о следующем. В 2010 г. на схему управления газовыделением с использованием газоотсасывающих вентиляторов на 23 выемочных участках приходилась основная доля извлекаемого метана с его содержанием менее 3 %, а в 2015 г. на 34 шахтах (40 выемочных участков) – пятую часть. Дегазацию ближайших пластов скважинами в соответствии с инструкцией применяли на шахтах «Чертинская-Коксовая», «Алардинская», «Юбилейная», АО «МУК-96», им. Кирова и «Котинская».

Считается расточительным, что от 30 до 80 % метана на выемочном участке, извлекаемого газоотсасывающими вентиляторными установками на шахтах Кузбасса, выбрасывают в атмосферу ( $580\text{--}600 \text{ м}^3/\text{мин}$  метана). Не учитывается опыт применения скважинной дегазации на шахте им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс»), позволяющей извлекать и утилизировать каптируемый метан с технической и экономической выгодой в сравнении с вентиляторным газоотводом.

Показатели работы различных по производительности газоотсасывающих вентиляторных установок на выемочных участках (полях) шахт Кузбасса свидетельствуют, что из призабойного пространства лав через выработанное пространство отводится от 330 до  $1010 \text{ м}^3/\text{мин}$  воздуха (от четверти до половины поступающего на участок), а метана – от 1,7 до  $49,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ . При этом необходимо бурить дорогостоящие скважины большого диаметра, обеспечивать подачу воздуха вентиляторами в больших объемах при повышенной мощности электродвигателей, и при всем этом неизбежно создавать предпосылки к взрывам газа и пыли. Возникает вопрос: нужна ли такая дорогостоящая и опасная технология управления газовыделением, чтобы к тому же, отводить из выработанных пространств газовоздушные смеси с содержанием метана менее 3,5 % по объёму и выбрасывать его в атмосферу? Конечно, не нужна, тем более на пластиах, склонных к самовозгоранию угля.

Используя методический подход к оценке вероятности взрывов метановоздушных смесей, можно полагать, что при содержании взрывоопасного метана в выработанных пространствах вероятность взрыва метанопылевоздушных смесей на шахтах, использующих газоотсасывающие вентиляторные установки, может составлять  $(1,15\text{--}2,3) \cdot 10^{-4}$ , что существенно выше среднего показателя  $1,11 \cdot 10^{-5}$ . Такая схема управления метановыделением на выемочных участках и полях метанообильных шахт весьма опасна, о чем свидетельствуют многочисленные аварии с катастрофическими последствиями.

## *7.2. Газовая опасность угольных шахт Кузбасса*

Анализ и оценка состояния промышленной безопасности и охраны труда в организациях угольной промышленности Российской Федерации (2017–2019 гг.) и по данным ФГУП «Национальный научный центр горного производства – Институт горного дела им. А.А. Скочинского»<sup>\*)</sup>, а также итоги работы угольной промышленности показали, что к объектам I класса опасности относятся 96 шахт (из них 59 – действующие). Газовые, т. е. опасные по метану шахты, составляют 95 % их общего числа, в том числе 9 шахт III категории, 24 сверхкатегорные и 10 опасные по внезапным выбросам угля (породы) и газа. К опасным по взрывам пылевоздушных смесей отнесены 58 шахт. Основной источник воспламенения взрывоопасных смесей я-фрикционное искрение при работе комбайнов, которое отмечено в 46 очистных и 166 подготовительных забоях шахт Кузбасса и, соответственно, в 10 и 29 забоях в Воркуте.

В соответствии с Обзором, в 2017 г. подземным способом добыто 104,5 млн т угля, около 70 % из них приходилось на шахты III категории, сверхкатегорные и опасные по внезапным выбросам угля (породы) и газа. Средняя глубина ведения подземных горных работ на шахтах РФ составила 420 м, число подготавливаемых к отработке угольных пластов – 173, в том числе 139 – в Кузбассе. Потенциально опасны по взрывам газа и пыли 97,1 % подготавливаемых пластов, опасны по внезапным выбросам угля и газа – 16,5 %, к угрожаемым по выбросам отнесены 31,6 % подготавливаемых пластов, к угрожаемыми по горным ударам – 28,1 % и к склонными к самовозгоранию – 66,2 %.

Удельный смертельный травматизм (СТ), определяемый как отношение числа смертельно травмированных на 1 млн т добытого за год угля, в 2017 г. по сравнению с 2016 г. снизился с 0,14 до 0,044. На подземных работах СТ связан преимущественно со вспышками метана или взрывами метановоздушных смесей, а при крупных авариях – взрывами метанопылевоздушных смесей. Наиболее часты такие аварии на шахтах Кузбасса, где распространены схемы проветривания выработок выемочного участка с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок. Связанный со взрывами метановоздушных или метанопылевоздушных смесей СТ в действующих выработках шахт Кузбасса составляет 31,6 %, в очистных забоях – 10,3 %.

Экономический ущерб от взрывов метановоздушных или метанопылевоздушных смесей и ликвидации их последствий достигал 44,5 % общей суммы потерь от аварий на угольных шахтах. Многообразие горно-геологических и горнотехнических условий разработки пластов угля, многофакторное влияние

---

<sup>\*)</sup> Обзор (2014 г.).

природных и технологических воздействий на углепородные массивы в процессе очистных работ, а также социальные и субъективные причины, приводившие к авариям на подземных работах, свидетельствуют о необходимости особого подхода к выбору мероприятий по обеспечению безопасности при разработке газоносных угольных месторождений со сложным комплексом отрицательных факторов, препятствующих высокопроизводительной и безопасной отработке пластов угля.

К числу основных условий и причин, предшествовавших крупным авариям, можно отнести результаты некачественного проведения экспертизы ПБ проектных решений при введении в строй новых объектов (горизонты, лавы, подготовительные выработки), а также после изменения способов или средств управления газовыделением на действующих выемочных участках. Часто при смене горнотехнических условий разработки угольных пластов либо изменении (или отмене ранее предусмотренных) мероприятий по управлению газовыделением не проводят экспертизу ПБ проектной документации. На шахте «Распадская» в лаве 5а-6-18 два раза меняли газоотсасывающую вентиляторную установку: сначала ВМЦГ-7 на УВЦГ-9, а потом – на более мощную по расходу воздуха УВЦГ-15. На шахте «Тайжина» при отработке пласта Е-5 лавой 1-1-5-5 отменили ранее предусмотренную дегазацию выработанного пространства бурением скважин над куполами обрушенных пород, а необходимую в таком случае экспертизу ПБ проекта дегазации шахты не провели. В обоих случаях получили катастрофической мощности взрывы метанопылевоздушных смесей с травмированием шахтеров: в первом случае травмированы 229 человек (из них 90 – смертельно), во втором – 53 (47 – смертельно).

И это не единичные случаи взрывов метанопылевоздушных смесей в угольных шахтах: с 1985 г. газопылевые аварии различной степени тяжести (в том числе связанные с гибелью людей) в отрасли происходили более 70 раз.

Аварийность в большинстве случаев обусловлена нарушениями технологии ведения горных работ, применением накладных зарядов на круtyх шахтах, курением и т. д. Такая частота аварий по газовому и пылевому факторам свидетельствует о необоснованности изменения проектных решений по управлению газовыделением; низком качестве проведения экспертизы ПБ (не учитываются особенности и тонкости рудничной аэрологии; низкая профессиональная квалификация специалистов и рабочих на подземных работах).

В качестве примера можно привести условия ведения горных работ на шахте «Распадская», которые привели к авариям 9–10 мая 2010 г., шахте «Ульяновская» (авария 19 марта 2007 г.) и шахте «Тайжина» (авария 10 апреля 2004 г.). На шахте «Распадская» к моменту первого и повторного взрывов метанопылевоздушной смеси использовался способ разработки пласта и управления

газовыделением на участке лавы 5а-6-18 по склонному к самовозгоранию пласту 6-ба без проведения дегазационных мероприятий. Более того, проветривание лавы при одновременной комбайновой выемке угля лавы и целика шириной 40 м между участками (действующим 5а-6-18 и ранее отработанным) обеспечивалось с помощью газоотсасывающей вентиляторной установки УВЦГ-15 с отводом исходящей вентиляционной струи через выработанное пространство отработанной лавы 5а-6-16. Такой подход не был научно обоснован и проверен в сложившейся ненормативной технологической схеме работы лавы (одновременная выемка угля и угольного целика). Экспертиза ПБ проектных решений проведена без учета протекающих аэрогазодинамических процессов, что привело к взрыву метана и пыли с тяжелыми последствиями: пострадали 229 работников, 90 из них погибли.

В паспорте ведения очистных работ на выемочном участке лавы 5а-6-18 следовало учесть, что: технологическая схема одновременной выемки угля одним комбайном как основной части пласта 6-ба в лаве длиной 220 м, так и межлавного целика угля шириной 40 м, отличается от нормативной; пласт 6-ба склонен к самовозгоранию; схема проветривания целика угля, когда ведется его отработка лавным комбайном с использованием газоотсасывающего вентилятора УВЦГ-15, не является ни нормативной, ни безопасной по параметрам газовых процессов, надежности и безопасности; расход воздуха, отводимого вентилятором УВЦГ-15 через выработанное пространство отработанного участка бывшей лавы 5а-6-16 в объеме 330 м<sup>3</sup>/мин, не был обоснован по фактору самовозгораемости угля. Принятые проектные решения не способствовали качественной оценке сложных горнотехнических условий отработки пласта 6-ба лавой 5а-6-18.

Экспертиза ПБ объекта, проектной документации и технических устройств, в частности по лаве 5а-6-18, проводилась без учета дегазационных работ и аэрогазовой обстановки на выемочном участке, что в конечном счёте привело к катастрофической аварии.

Второй пример некорректной оценки газовой ситуации – лава 50-11-бис бывшей шахты «Ульяновская», где применили комбинированную схему проветривания выемочного участка за счет общешахтной депрессии, т. е. без газоотсасывающей вентиляторной установки, к тому же без дегазации. Это привело к загазированию выработок участка и последующему взрыву метанопылевоздушной смеси: в итоге 118 пострадавших работников, в том числе 111 погибших.

В данном случае заключение экспертизы ПБ позволило лаве работать без дегазации, причем по научно не обоснованной и не проверенной схеме проветривания участка, что привело к скоплению метана в выработанном пространстве и взрыву метанопылевоздушной смеси.

Можно предположить, что во всех случаях взрывов газовоздушных смесей на угольных шахтах качество экспертизы ПБ проектной документации перед вводом в эксплуатацию лав оказалось неудовлетворительным. Решение о безопасности допуска очистных забоев в работу по добыче угля фактически способствовало авариям по газопылевому фактору.

Анализ условий и причин возникновения аварий по газу свидетельствует об их многократной повторяемости даже в условиях одной шахты. Так, на шахте «Распадская» с 1985 г. отмечены 14 аварийных ситуаций (вспышки и взрывы газа), причём авария 7 мая 2013 г. произошла через 3 года после катастрофической аварии 2010 г. Напрашивается вывод о низком качестве проектных решений на газообильных шахтах РФ и заключений экспертизы ПБ по ним. Как правило, в шахтах с обильным метановыделением не проводится дегазация основных его источников. К таковым относятся сближенные пласти угля с высокой интенсивностью метановыделения в выработки очистных забоев и их выработанные пространства как основные накопители метана, для которых оптимальны способы комплексной дегазации путём бурения скважин непосредственно на источники выделения газа с отводом каптированного метана на поверхность по трубам дегазационных систем, что позволяет исключить поступление метана в рудничную атмосферу.

Создается впечатление, что результаты расследований и выводы о причинах произошедших аварий, даже катастрофических, не анализируются экспертами, проектировщиками и руководителями шахт с должным вниманием.

Добыча угля в Российской Федерации ведется в 7 федеральных округах, 25 её субъектах, 16 угольных бассейнах и месторождениях. Уголь на ближайшие годы остается основным компонентом российского и мирового топливно-энергетического баланса наряду с нефтью и природным газом. Он один из самых надежных и востребованных человеком источников энергоснабжения. Более того, российские угольные месторождения являются высокометаноносными. При подземной разработке свиты пластов угля из каждой добытой тонны угля выделяется  $16\text{--}19 \text{ м}^3$  метан, который потенциально может быть вторичным достаточно существенным по объему энергетическим источником. Однако, кроме положительного свойства, он создает в работе шахт препятствия по предельному содержанию в рудничной атмосфере: ограничивается производительность забоев по газовому фактору, в смеси с воздухом он взрывоопасен, что при определенных условиях возможны аварии, а порой и катастрофы в случаях взрывов метановоздушных смесей. Требуются мероприятия по эффективному извлечению метана из основных его источников средствами дегазации и изолированно от рудничной атмосферы с помощью вакуум-насосной станции.

Данные по многообразию марочного состава углей, глубины их разработки и уровней метановыделений в шахтах основных газоугольных месторождений РФ приведены в табл. 7.1. При этом чаще всего при разработке пластов с ценными марками углей К, КЖ и Ж.

Т а б л и ц а 7.1  
Условия ведения горных работ на метанообильных шахтах РФ

Месторождение угля, бассейн, регион	Марка угля	Глубина горных работ, м	Газоносность угольных пластов, м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Метанообильность шахт, м <sup>3</sup> /мин	Категории шахт по метану в соответствии с ПБ по относительной метанообильности
Воркутское	Г, Ж	350–1095	15–22	120–160	Выбросоопасные
			15–30	70	Сверхкатегорные
Кузбасс, в том числе: Северный	Г, ГЖ, К, Т	250–520	12–25	12–20	Выбросоопасные
Центральный	Д, Г, ГЖ, Ж	300–660	13–20	40–100	Сверхкатегорные
Южный	Г, Ж, К, ОС, ТС	400–630	15–32	40–160	Выбросоопасные
		320–350	15–20	130–165	Сверхкатегорные
Дальний Восток	Г, Ж, КЖ, СС	290–340	12–16	10–45	Сверхкатегорные, выбросоопасные
Восточный Донбасс	К, ОС, Т, А	850–1050	25–36	25–30	Выбросоопасные

В соответствии с требованиями промышленной безопасности, из 58 действовавших в России угольных шахт к метанообильным отнесены: 16 шахт I категории; 9 шахт – II; 15 шахт – III, а также 39 сверхкатегорных шахт (табл. 7.2). При этом абсолютная метанообильность, являясь объективным показателем опасности шахт по метану, изменяется от 114 до 193 м<sup>3</sup>/мин на шахтах Воркутского месторождения и от 10 до 185 м<sup>3</sup>/мин – на шахтах Кузбасса. За многолетнюю работу шахт вспышки и взрывы метановоздушных смесей происходили как при низком абсолютном выделении метана, так и при высоком. Частота аварийных по метану ситуаций изменялась от 2,4 до 7,7 % при метанообильности выработок выемочного участка до 20 м<sup>3</sup>/мин и до 20 % при метанообильности

более 40 м<sup>3</sup>/мин. Крупные аварии по газу возникали, как правило, на сверхкатегориальных шахтах с большой производительностью очистных комбайнов и скоростью подвигания лав, преимущественно в случаях применения газоотсасывающих вентиляторных установок для проветривания выемочных участков.

Т а б л и ц а 7.2

Шахты различной категории газовой опасности

Условия ведения горных работ	Доля шахт, %					
	негазовых	I категории	II категории	III категории	сверхкатегориальных	выбросоопасных
Подземная разработка	5	16	9	15	39	16
Газовые шахты: опасные	—	25		—	—	—
особо опасные		—	—	—	70	—

Причинами загазирования выработок являются нарушение параметров их проветривания, отклонения от требований ПБ и положений технической документации. Воспламенение метана происходит в результате фрикционного искрения исполнительных органов комбайна, буровзрывных работ на круtyх шахтах, искрений в электрооборудовании, сварочных операций, курения.

За последние 30 лет произошли 46 аварий с тяжелыми последствиями и гибелью большого числа шахтеров в результате взрыва на метанообильных участках российских шахт, при этом 28 аварий произошли на участках, где применялись газоотсасывающие вентиляторные установки для отвода газов из выработанного пространства.

Т а б л и ц а 7.3

Динамика аварий и гибели шахтеров

Годы	Число шахт по добыче угля	Среднегодовая добыча угля в шахтах, млн т/год	Число взрывов метана в шахтах на 1 млн т добываемого угля в год	Число погибших шахтеров, на 1 млн т добываемого угля в год
1986–2000	84	27,0	12	30
2000–2013	58	23,5	4	20

Из табл. 7.3 видно, что число взрывов метана в шахтах и случаев гибели шахтеров по среднегодовым показателям существенно уменьшилось, соответственно, в 3 и 1,5 раза. Аварии по газовому фактору в шахтах случаются: в 2014 г. зафиксированы три взрыва метана, в 2016 г. – один (взрыв метановоздушной смеси на шахте «Северная» АО «Воркутауголь» с гибелю 36 человек). На шахтах «Ульяновская» (2007 г.) и «Распадская» (2010 г.) взрывы метана в выработанных пространствах привели к гибели 200 человек.

Многолетняя статистика свидетельствует о том, что взрывы метана в шахтах – это вероятностные процессы, на которые влияют в большей степени технологические, организационные и субъективные факторы. Необходимы прогнозы метановой взрывоопасности на шахтах, оценка риска и уровня катастрофических последствий от аварий, эффективные мероприятия по снижению метановыделений в горные выработки.

Типовые условия, способствующие возникновению аварий на угольных шахтах по газовому фактору: сложные горно-геологические условия (большая глубина горных работ, наличие геологических нарушений); высокая метаноносность пластов угля, их склонность к внезапным выбросам угля и газа, горным ударам, эндогенным пожарам; необоснованное применение комбинированных схем проветривания выработанных пространств на выемочных участках и полях с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок; скопления метана в выработанных пространствах; отсутствие дегазации источников метановыделения и выработанных пространств.

Загазирование выработок часто приводит к формированию взрывоопасных концентраций метана в пределах призабойных пространств лав и предпосылок к взрывам метановоздушных смесей. Наиболее сложные по газу – высокометанообильные шахты с источниками выделения метана из газоносных разрабатываемых пластов угля и сближенных пластов, залегающих в зонах разгрузки от горного давления как в кровле, так и почве отрабатываемого пласта. Пологие метанообильные шахты работают, как правило, с искусственной дегазацией источников метановыделения на участках ведения очистных работ, чаще всего с применением комплекса способов и схем скважинной дегазации. При этом, чем выше эффективность дегазации, тем меньше выделяется метана в выработки участка и завальное пространство, которое является накопителем больших объёмов метана, зачастую взрывоопасных концентраций.

К сложным горнотехническим условиям ведения очистных работ относятся возвратноточные схемы проветривания выработок участка, при которых взрывоопасные концентрации метана формируются в выработанных пространствах и на сопряжении призабойного пространства лавы с исходящей из нее вентиляционной струей. Осложнения в этих условиях неизбежны при снижении

объёмов воздуха, протекающего по лаве, и продуктивности дегазационных скважин, расположенных вблизи сопряжения, либо при отсутствии дегазации на участке с интенсивным выделением метана из выработанного пространства в призабойное.

Модель такого газопроявления в очистном забое содержит три основных периода изменения процесса выделения метана:

- проектный режим выделения метана в лаве с применением дегазации;
- обильные потоки метана из выработанного пространства при полном или частичном отключении дегазации, предусмотренной проектом по управлению метановыделением на выемочном участке;
- снижение интенсивности газовыделения при возобновлении работы способа или схем дегазации, предусмотренных проектом.

Вероятность повышения аварийности шахт по метану и частота крупных взрывов метановоздушных смесей чаще всего имели место при схемах управления газовыделением на участках с использованием газоотсасывающих вентиляторных установок типа ВМЦГ-7 и более мощных по производительности УВЦГ-9 и УВЦГ-15. Согласно инструкции, специалисты ряда шахт считали, что можно исключить применение способов и схем скважинной дегазации сближенных пластов и выработанных пространств. Это осложнило газовую ситуацию в шахтах, поскольку в таких условиях метан, выделяющийся в выработанное пространство из сближенных пластов угля и пород, разбавляется до взрывоопасных концентраций, создавая предпосылки к взрывам метановоздушных смесей. Дегазация позволяет безопасно и эффективно отвести большую часть метана из источников метановыделения на поверхность минуя выработанное пространство, причем с возможностью последующей утилизации каптируемого газа.

Мировой опыт свидетельствует, что в западных угледобывающих странах на высокометанообильных выемочных участках дополнительно к вентиляции применяют только способы дегазации сближенных подрабатываемых и надрабатываемых углепородных массивов, и никогда не используют комбинированные схемы управления газовыделением в сочетании с газоотсасывающими вентиляторными установками, как это часто происходит в Кузбассе.

Использование различных вариантов комбинированной схемы управления газовыделением на десяти выемочных участках шести шахт Кузбасса в период 2001–2007 гг. стало причиной катастрофических взрывов метановоздушных смесей с гибелю 300 человек. Метанообильность выемочных участков составляла 20–65 м<sup>3</sup>/мин, выработанного пространства – 11–59 м<sup>3</sup>/мин при среднесуточной добыче угля на участке – 1700–3685 тонн. Концентрация метана в извлекаемой газоотсасывающими вентиляторными установками в 70 % случаев была взрывоопасной и составляла 8–14 % [19]. Взрывоопасные концентрации метана

формировались в выработанных пространствах шахт, использовавших газоотсасывающие вентиляторные установки на выемочных участках (табл. 7.4).

Т а б л и ц а 7.4

Аварийность на выемочных участках с применением газоотсасывающих вентиляторных установок

Шахта	Пласт угля	Газоотсасывающая вентиляторная установка	Метанообильность выработанного пространства, м <sup>3</sup> /мин
«Зыряновская»	14	ВМЦГ-7	22–26
	16	ВМЦГ-7	16
«Комсомолец»	18	ВМЦГ-7	30,5–40
Им. С.М. Кирова	24	УВЦГ-9	16–35
	25	ВЦГ-7м	5–6
«Юбилейная»	16	УВЦГ-15	9–31,7
	25	ВЦГ-7м	49,4
«Распадская»	10	ВМЦГ-7	31–33
	6-6а	УВЦГ-9, УВЦГ-15	50,7
«Алардинская»	21	ВЦГ-7м	16,2
	3-3а	УВЦГ-15	18,5
«Тайжина»	E5	ВМЦГ-15	19–29
«Листвяжная»	Сычевский IV	ВМЦГ-7	10–11
«Октябрьская»	Полысаевский 1	ВМЦГ-7	11,0
«Чертинская»	3	ВЦГ-7	58
«Есаульская»	29а	УВЦГ-15	20,3
	26а	УВЦГ-15	20–59
«Ульяновская»	50	Общешахтная депрессия	37
«Абашевская»	16	ВМЦГ-7	30,7
	14	То же	11–21,4
	26	То же	40,1
«Осинниковская»	E5	УВЦГ-15	39,6–42,6

Недостаточные опыт и квалификация различного уровня горнотехнических специалистов, устаревшие правила отнесения угольных шахт к категории метановой опасности, осуществляющей по относительной метанообильности, способствовали росту рисков при подземном освоении метаноносных угольных месторождений. Согласно инструкции [18], система обработки исходных данных по выделениям метана в шахтах построена на показателях абсолютного

метановыделения в горных выработках. Расчёт относительной метанообильности в таком случае является лишним, тем более что искажается фактическая газовая ситуация в шахтах.

Риски взрывов метана при ведении горных работ оцениваются в той или иной степени в отечественных и зарубежных публикациях. Прогноз рисков необходим в горнотехнических условиях отработки всех метаноносных угольных пластов [28–32].

На практике отклонения от проектных решений по дегазации приводят к количественным изменениям параметров процесса газовыделения на выемочном участке, в призабойном пространстве лавы и на ее сопряжении с газоотводящей выработкой. Эксперименты показали, что концентрация метана в исходящем из лавы потоке воздуха при возвратноточной схеме проветривания на массив угля и при полном или временном отсутствии дегазации возрастает через 15–20 минут, превышая норму по ПБ, а вблизи сопряжения – достигает взрывоопасных содержаний (табл. 7.5).

Т а б л и ц а 7.5

Аэрогазовая ситуация на выемочном участке с применением дегазации  
(Карагандинский бассейн)

Количество воздуха, м <sup>3</sup> /мин	Концентрация метана, %		Метановыделение, м <sup>3</sup> /мин		Дебит метана из скважин, м <sup>3</sup> /мин		Максимальная концентрация метана на сопряжении, %
	в лаве	на участке	в лаве	на участке	вертикальных	подземных на ближайший пласт к14	
<i>Проектный режим работы дегазации</i>							
520–550	0,55	0,75	0,6	3,9/1,6 <sup>*)</sup>	4,9	2,2	1,0
<i>Отключена дегазация на 45 мин</i>							
515–545	1,15	1,75	1,0	5,6/4,0	–	–	9,0
<i>Отключена вертикальная скважина на 84 мин</i>							
420–430	0,75	1,4	2,5	4,8/2,6	–	3,2	10,0
<i>Отключены подземные скважины на пласт к14 на 120 мин</i>							
400–430	1,1	1,65	2,6	4,8/1,7	4,6	–	5,5
<i>Отключена последняя на участке вертикальная скважина на 270 мин</i>							
410–440	0,85	1,1	2,7	4,4/2,5	–	3,3	9,1

<sup>\*)</sup> Числитель – метановыделение на участке, знаменатель – метановыделение из выработанного пространства.

В условиях газообильных шахт «Зыряновская» и «Ульяновская» (Кузбасс) взрывоопасные ситуации возникли в призабойных пространствах лав в

результате интенсивного выделения метана из выработанного пространства в призабойное при отсутствии дегазации: в первом случае произошёл прорыв метана, выделившегося из надрабатываемого пласта (1997 г.), во втором – при неустойчивой схеме проветривания лавы при комбинированной схеме, ошибочно полагая, что эффективный отвод метана из выработанного пространства возможен за счёт общешахтной депрессии (2007 г.). Воспламенение взрывоопасной смеси произошло во время работы очистного комбайна при обильных выделениях газа и пыли в процессе разрушения угольного пласта и выделениях метана из выработанного участка в призабойное пространство лавы, погибли, соответственно, 67 и 111 человек.

На шахтах «Распадская» (Кузбасс, 2010 г.) и «Северная» (Воркута, 2016 г.) аварии были обусловлены загазированием выработок и воспламенением метана, при этом в первом случае отсутствовал проект на дегазацию выемочного участка, во втором – отмечено снижение эффективности дегазации. Погибли, соответственно, 90 и 36 человек.

За последние 20 лет зафиксировано 42 случая взрывоопасных загазирований выработанных пространств, вспышек и взрывов метановоздушных смесей. На газовую опасность оказывало влияние не только выделение метана из выработанного пространства действующей лавы, но и из старых выработанных пространств, в которых скапливались взрывоопасные газовые смеси и отложившаяся ранее тонкодисперсная пыль. Такая взрывоопасная ситуация возникла на шахте «Комсомолец» (Кузбасс, 2000 г.), где в результате сварочных работ на котле УВЦГ инициирован взрыв метановоздушной смеси в скважине, а затем и в шахте. Взрывом разбиты изолирующие перемычки действующих и старых выработанных пространств, что дополнительно осложнило газовую ситуацию. Дегазация старых выработанных пространств необходима предпочтительно путем использования ранее пробуренных вертикальных или подземных скважин на действовавшем поле. Через такие скважины по отобранным пробам концентрации газов и по их дебитам можно оценивать газовое состояние старых выработанных пространств и извлекать метан для последующей его утилизации.

Как видно из результатов измерений интенсивности метановыделения при отработке пласта  $K_{13}$  с дегазацией в Карагандинском бассейне (см. табл. 7.6), роль дегазации в управлении газовыделением неоспорима. На выемочном участке на глубине 160–230 м с суточной добычей угля 250–500 тонн применялась дегазация подрабатываемого сближенного пласта  $K_{14}$  и выработанного пространства скважинами, пробуренными с поверхности, и сближенного пласта  $K_{14}$  – подземными скважинами. При поочередном отключении скважин и по измерениям газовых показателей, приведенных в табл. 7.5, видно, что роль дегазации на выемочном участке весьма существенна как по снижению содержания метана

в атмосфере призабойного пространства лавы и участка, так и на сопряжении лавы с выработкой, по которой отводился исходящий из лавы поток воздуха. Газовая ситуация при дегазации вертикальными скважинами с поверхности, и подземными скважинами на подрабатываемый сближенный пласт была значительно улучшена, в том числе на сопряжении лавы с исходящей вентиляционной выработкой, где без дегазации она была бы взрывоопасной.

При отработке свиты газоносных пластов на глубоких горизонтах с применением высокопроизводительной очистной техники газовая ситуация на выемочных участках осложняется обильными (до 50–60 м<sup>3</sup>/мин) выделениями метана из выработанного пространства.

Пренебрежительно-преступное отношение к взрывоопасным скоплениям газа и пыли на шахте «Листвяжная» (Кузбасс) привело к катастрофе с большим числом травмированных и погибших шахтеров и горноспасателей из-за нарушения пылегазового режима и стремления к получению максимально возможной прибыли от реализации угля [33].

Внедрение новых технико-технологических решений и соблюдение требований ПБ способствуют повышению безопасности и экономических показателей работы шахты. Особенно это касается высокометанообильных шахт, где газовый фактор ограничивает возможности современной угледобывающей техники.

Отрицательное влияние метана, объемы и интенсивность его выделения в выработки снижаются путем изолированного его отвода средствами скважинной дегазации из основных (преобладающих) источников метановыделения непосредственно на поверхность, минуя выработанное пространство и рудничную атмосферу.

Опыт скважинной дегазации разрабатываемых и сближенных пластов угля на шахте им. С.М. Кирова показал, что при качественной герметизации устьев скважин, пробуренных в плоскости отрабатываемых пластов Болдыревский и Поленовский, концентрация метана в каптируемой смеси составляла 35–42 % при расходе метана 9,8 м<sup>3</sup>/мин, а при дегазации сближенных пластов Брусницынский и Майеровский скважинами с поверхности с помощью передвижных дегазационных установок содержание метана в каптируемой смеси составляло в среднем 60–65 % (расход метана 44 м<sup>3</sup>/мин, смеси – 63–68 м<sup>3</sup>/мин). Применение способов дегазации на шахте позволило утилизировать каптируемые смеси [22].

## 8. МЕТАНОПЫЛЕВАЯ ТРАВМООПАСНОСТЬ НА РОССИЙСКИХ ШАХТАХ

### 8.1. Взрывоопасные по метану и пыли ситуации в шахтах

В сравнении с развитыми угледобывающими странами мира, угольная промышленность России отличается относительно высоким общим и смертельным травматизмом. Частота смертельного травмирования шахтеров на 1 млн тонн добываемого угля в Великобритании, США, Австралии и Индии составила, соответственно, 0,15, 0,05, 0,03 и 0,70 [25]. Этот показатель на шахтах России по пятилетним периодам выше и изменялся в пределах 0,05–0,23, в годы катастрофических аварий – 0,41–0,73. Львиная доля (до 80–85 %) гибели людей в шахтах РФ ложится на взрывы метанопылевоздушных смесей (табл. 8.1).

Т а б л и ц а 8.1

Динамика взрывов метанопылевоздушных смесей на шахтах РФ

Число	Годы			
	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015
Взрывов	44	23	22	12
Смертельно травмированных	194/4,41 <sup>*)</sup>	134/5,83	162/7,36	160/13,3

<sup>\*)</sup> Числитель – смертельно травмированных, знаменатель – то же на 1 взрыв.

Данные табл. 8.1 свидетельствуют о снижении числа взрывов метанопылевоздушных смесей, но смертельный травматизм достаточно высокий из-за катастрофических аварий, произошедших в 2006–2015 гг., прежде всего, на шахтах «Ульяновской» (111), «Юбилейной» (39), «Распадской» (90) и «Листвяжной» (56 человек).

За последние 20 лет отмечен рост числа погибших шахтеров на 1 взрыв (от 4,41 до 13,3 чел.), что обусловлено ростом производительности очистных забоев, нарушением технологических режимов работы шахт.

Важной проблемой в процессе разработки высокогазоносных пластов угля является изучение и научное обоснование процесса формирования взрывоопасных по метану и пыли ситуаций, тем более при наличии в рудничной атмосфере гибридных смесей, ускоряющих протекание процессов вспышек или взрывов метана. Последние инициируют взрывы угольной пыли. При этом несвоевременное или некачественное выполнение профилактических работ по дегазации угольных пластов и их увлажнению способствуют формированию взрывоопасных ситуаций в шахтах. Более того, аварийным ситуациям предшествуют низкая технологическая и производственная дисциплина, слабый профессиональный уровень

инженерно-технического персонала ряда шахт и организаций. Это было отмечено при анализе проектных и эксплуатационных работ на шахтах «Ульяновская», «Распадская» и на других.

Снижению числа взрывов метанопылевоздушных смесей на угольных шахтах способствовала разработанная в 2012 г. Инструкция по дегазации угольных шахт [9] и увеличение числа шахт с дегазацией.

Для совершенствования схем управления газовыделением на метанообильных шахтах разработаны Типовые схемы подготовки и отработки газоносных угольных пластов на выемочных полях шахт, оценены источники метановыделения, опробованы на практике модули дегазации. В их числе пять модулей предварительной дегазации, пять модулей подрабатываемых сближенных пластов угля, два модуля дегазации надрабатываемых угольных пластов, три модуля дегазации выработанного пространства и два модуля комплексной дегазации основных источников метановыделения [5].

Анализируя эту информацию, можно констатировать, что дегазация метаноносных угольных пластов подземными скважинами выбирается с учётом положений отработки пластов по типовым технологическим схемам. Для дегазации пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа, рекомендуются модули дегазации перекрещивающихся скважинами. Дегазация сближенных угольных пластов и выработанных пространств скважинами, пробуренными с земной поверхности, целесообразна до глубины 600 м, если углы падения пластов не препятствуют применению дегазации разрабатываемых и сближенных пластов угля, выработанных пространств.

Исследования свидетельствуют о том, что выбор типовых технологических схем подготовки и отработки метаноносных угольных пластов должен базироваться, во-первых, на учёте особенностей и параметров схем вскрытия угольных пластов на шахтных полях, во-вторых, на горнотехнических условиях разработки пластов угля, параметрах выемочных полей и планируемых объемах добычи угля и, в-третьих, на рациональных в конкретных условиях схемах дегазации разрабатываемых пластов угля, сближенных пластов и выработанных пространств в соответствии с рекомендованными модулями дегазации.

Для предотвращения запыленности рудничной атмосферы рекомендуются способы предварительного увлажнения отрабатываемых пластов угля в сочетании со схемами их дегазации, а также подача пылегасящей жидкости в места разрушения угля исполнительными органами комбайна.

## *8.2. Динамика травмоопасности по газовому фактору на угольных шахтах*

Российские угольные месторождения являются самыми метаноносными: 8,3 м<sup>3</sup> метана в тонне угля, что 1,7 раза превышает среднее содержание метана в угленосных месторождениях мира.

В геолого-промышленных районах РФ (Кузбасс, Воркутское месторождение) находится 80 % метанообильных шахт. В наиболее газовых и высокопроизводительных шахтах метанообильность составляет 70–150 м<sup>3</sup>/мин, промышленные запасы угля на горном отводе шахты составляют от 145 до 380 млн тонн. В течение года из шахт Кузбасса выделяется 1240 млн м<sup>3</sup> метана. Воркуты – 700 млн м<sup>3</sup>, при этом из шахт, где применяют дегазацию, – соответственно, 870 и 640 млн м<sup>3</sup> метана.

При очистной выемке угля в подземных условиях метан выделяется в горные выработки и выработанные пространства, извлекается средствами дегазации. Высокая интенсивность выделения метана в шахтах, особенно при нарушениях технологической и трудовой дисциплины, нередко приводит к взрывам метановоздушных смесей, разрушениям горных выработок и гибели шахтеров.

По сравнению с развитыми угледобывающими странами, угольная промышленность в РФ характеризуется относительно высоким общим и смертельным травматизмом. Опубликованные в материалах 27-ой Международной конференции научно-исследовательских институтов по безопасности в горном деле (1996 г.) [25] данные свидетельствуют, что частота смертельного травмирования на 1 млн тонн добываемого угля составила от 0,03 до 0,70, а в РФ – 0,74–1,27, что значительно выше, чем в США и Австралии. Несмотря на снижение в последние годы числа взрывов метановоздушных смесей в шахтах РФ, смертельный травматизм на подземных работах остается достаточно высоким, число смертельно травмированных на 1 взрыв 4–6 человек, при катастрофических взрывах (шахты «Зыряновская», «Тайжина», «Ульяновская», «Распадская» и др.) – 47–110 человек.

Приведенные показатели свидетельствуют об актуальности исследования вопросов травмоопасности шахтёров на подземных работах по добыче угля в метанообильных шахтах РФ, необходимости анализа условий и причин происходящих там взрывов метановоздушной смеси.

Методика исследования травмоопасности шахтеров по газовому фактору включала сбор, анализ и обобщение условий и причин возникновения аварийных ситуаций и их последствий по выводам комиссии, расследовавшей причины аварии, количество и тяжесть травмирования людей. Это, прежде всего, дата аварийной ситуации, наименование шахты, глубина залегания угольного пласта, угол горной выработки, её параметры, горная техника, источник воспламенения

газовоздушной смеси, что отражено в табл. 8.2 и 8.3, по 9 угольным месторождениям РФ, в том числе вид аварии (вспышка, взрыв), наименование аварийного объекта, источник воспламенения взрывоопасной смеси, количество травмированных шахтёров, за период разработки угледазового месторождения.

Анализ результатов исследований аварийных ситуаций за 25 лет показывает:

– наиболее аварийные по газовому фактору шахты Кузбасса (107 аварийных шахтослучаев из 174 по России), Воркутского месторождения (97 шахтослучаев), Восточного Донбасса (17 случаев), Челябинска (46 случаев), что обусловлено газононостью пластов угля, метанообильностью выработок и особенностями ведения горных работ;

– объектами аварийных ситуаций чаще всего становятся выемочные участки, подготовительные забои и выработанные пространства;

– источники воспламенения метановоздушных смесей: буровзрывные работы, нарушения правил технической эксплуатации электрического оборудования и устройств, фрикционное искрение, эндогенные пожары, запрещенное требованиями ПБ курение в шахтах;

– наибольшей метановой травмоопасностью для шахтёров характеризуются крутонаклонные и крутые шахты Кузбасса (73 опасных шахтослучая из 107 в бассейне);

– общее число взрывоопасных ситуаций составило 187, из них в 174 аварийных шахтослучаях отмечены взрывы и вспышки метановоздушных смесей, в том числе на выемочных участках (83), в подготовительных выработках (88) и выработанных пространствах (34);

– наиболее высокий уровень травматизма (общего и со смертельным исходом) шахтёров на подземных работах отмечен в периоды 1991–1995 гг., 1996–2000 гг., 2001–2005 гг. и 2006–2010 гг. За пятилетние периоды работы шахт при взрывах метановоздушных смесей произошли 260–457 случаев травмирования, в 105–264 случаях со смертельным исходом. Необходимо внедрять новые технологические решения по дегазации подрабатываемых и надрабатываемых пластов угля, в том числе и на уровне изобретений, применительно к горнотехническим условиям выемочных участков.

Таблица 8.2

## Аварийность в шахтах РФ по метану (1985–2010 гг.)

Бассейн, месторожде- ние, регион	Число шахтосту- чаев	Число аварий- ной си- туации (взрыв, вспышка метана)	Число аварии			Источник воспламенения					Кру- ТЬЕ шахты
			Выемоч- ный участок	Подготови- тельный забой	Вырабо- танное простран- ство	БВР	Электричес- кая неиз- правность	Фрикцион- ное искре- ние	Кур- ение	Эндоген- ные по- жары	
Кузбасс	107	145	62	50	26	79	46	14	9	16	21
Донбасс (Вост.)	13	7	3	10	—	4	3	2	2	1	—
Воркутское	19	11	8	10	7	4	5	4	1	2	—
Челябинский	12	11	8	5	—	5	6	—	1	—	1
Приморье	7	6	—	4	1	1	4	—	1	—	2
Сахалин	5	3	1	2	—	3	—	—	2	—	1
Кизеловский	6	1	—	4	—	3	1	—	1	—	1
Арктикуголь	4	2	1	2	—	2	—	—	—	—	—
Ростопром	1	1	—	1	—	—	—	1	—	—	—
	174	187	83	88	34	101	65	20	17	20	78

Причины обусловлены преимущественно передачей шахт и угольных компаний в частные руки, стремлением получить наибольшие объемы прибыли, углублением горных работ, повышением интенсивности добычи угля, нарушениями требований ПБ, преимущественно при выборе технологии ведения горных работ, нарушениях технологической, профессиональной и трудовой дисциплины инженерно-техническим персоналом угольных компаний и шахт, проектными организациями, службой экспертизы ПБ проектов.

Высокая метановая травмоопасность на российских угольных шахтах обусловлена геологическими, горнотехническими и организационными причинами, загазированностью выработок. По данным за 1985–2010 гг. (см. табл. 8.3) из 174 метаноопасных шахтослучаев 78 происходили на крутых и крутопадающих шахтах, причем преимущественно в Кузнецком угольном бассейне (94 %) в геологически сложных условиях разработки пластов угля. Причиной 79 случаев стали БВР, 46 – неисправность электрооборудования, 16 – эндогенные пожары, 9 – курение. На крутых и крутонаклонных шахтах других угольных месторождений России всего было 5 случаев, преимущественно в шахтах с низкими в них объемами добычи угля.

Значительная метановая травмоопасность отмечена на пологих и наклонных шахтопластах Кузбасса и Воркутского месторождения, где широко применяется высокопроизводительная очистная техника. За четверть века (1985–2010 гг.) добычи угля подземным способом в советский и постсоветский периоды произошли 11 взрывов метана в метанообильных шахтах с гибелю 608 шахтеров в Кузбассе и 58 – в Воркуте (см. табл. 8.3), причем наибольшая травмоопасность отмечена в постсоветское время.

Снижение метановой травмоопасности на газовых шахтах возможно за счет применения эффективных способов дегазации основных источников метановыделения (с учётом природных и горнотехнических факторов) и обеспечения оптимальных параметров, уменьшения метанообильности очистных и подготовительных выработок, достижения проектных показателей добычи угля и скоростей подготовки выемочных участков согласно плану.

Для минимизации вероятности взрыва метановоздушной смеси, содержащейся в выработанных пространствах действующих выемочных участков, необходимо внедрять эффективные способы, схемы и рациональные параметры дегазации сближенных к отрабатываемому пластам угля, залегающих как в кровле, так и почве рабочего пласта, исключать использование научно необоснованных газоотсасывающих вентиляторных установок, при использовании которых наиболее часты аварии по газовому фактору.

Т а б л и ц а 8.3

## Динамика травматизма на шахтах РФ (1985–2010 гг.)

Бассейн Месторождение Регион	Годы	Травмировано, чел.	
		Всего	Смертельно
Кузбасс	1985– 1990 гг.	151	50
Донбасс (Вост.)		3	1
Воркутское		12	2
Приморье		5	1
Кизеловское		2	—
Арктикуголь		7	5
		180	59
Кузбасс	1991– 1995 гг.	195	67
Донбасс (Вост.)		11	7
Воркутинское		16	10
Челябинский		37	27
Приморье		5	—
Сахалин		2	2
Кизеловское		7	6
Ростопуголь		13	13
		286	105
Кузбасс	1996– 2000 гг.	189	97
Челябинский		—	13
Донбасс (Вост.)		3	—
Сахалин		5	4
Воркутское		39	30
Арктикуголь		23	23
Приморье		1	1
		260	168
Кузбасс	2001– 2005 гг.	289	141
Воркутское		17	5
Челябинский		5	1
Приморье		6	6
		314	153

Окончание таблицы 8.3

Бассейн Месторождение Регион	Годы	Травмировано, чел.	
		Всего	Смертельно
Кузбасс	2006– 2010 гг.	440	253
Воркутское		13	11
Челябинский		4	—
		457	264

Важная роль должна отводиться научному обоснованию способов и параметров технологических решений, в том числе их эффективности в пространственном измерении, то есть иметь достижимые радиусы продуктивного действия скважин, объемов извлечения метана и обеспечения принятого проектом эффекта при реализации мероприятий.

В качестве примера рассмотрена роль параметров в принятых технологических решениях по снижению метанообильности на выемочных участках шахт Кузбасса, где происходили катастрофические взрывы метановоздушных смесей, повлиявшие на гибель людей, разрушение горных выработок, техники, устройств и приборов, возникновение очагов пожара.

Бывш. шахта «Зыряновская» отрабатывала пологий пласт 14 (мощность 1,4–1,6 м, метаноносность 16,7 м<sup>3</sup>/т, марка угля ГЖ, длина выемочного участка к моменту взрыва 1425 м, очистного забоя – 190 м, глубина от поверхности – 320 м), угледобычной комплекс КМ-138, среднесуточная добыча угля 1800 тонн. Выше пласта 14 залегал пласт 15 на удалении 52 м, ниже – пласт 13 на расстоянии по нормали – 21 м. Для снижения метанообильности участка применялась газоотсасывающая вентиляторная установка ВМЦГ-7. Взрыв метановоздушной смеси на участке лавы 14-01 произошел 02.12.1997 г. Пострадало 73 шахтера, в том числе смертельно 67. Источником воспламенения метановоздушной смеси явился раздавленный комбайном самоспасатель, горячие искры которого способны были разлетаться в стороны до 20 м, что значительно больше, чем расстояние до выработанного пространства лавы.

Метановоздушная смесь сформирована при разгрузке от горного давления надрабатываемого пласта 13, заполнила пространство между слоем крепких пород, залегавшего в 7–10 м от почвы отрабатываемого пласта 14, и по трещинам после излома его консоли выделялась в призабойное пространство очистного забоя (область действия искр раздавленного самоспасателя).

Искусственная дегазация надрабатываемого пласта 13 не проводилась и не была предусмотрена паспортом выемочного участка. Действие ВМЦГ-7 на расстоянии 1425 м, заполненное обрушенными породами кровли, не ощущалось. Все это способствовало накоплению и взрыву метана.

В условиях шахты «Комсомолец» разрабатывался пласт Толмачевский (индекс пласта 18) лавой 1845 вблизи ранее отработанных пространств 1844 и 1843. Глубина разработки пласта 180–400 м, его мощность 2,3 м, газоносность 21 м<sup>3</sup>/т с.б.с., марка угля Г. Для снижения метанообильности лавы 1845 были пробурены 2 вертикальные скважины, оборудованные у устья газоотсасывающими вентиляторными установками ВМЦГ-7, для извлечения метановых смесей из выработанных пространств отработанных лав.

Аварийная ситуация формировалась в связи с тем, что потребовалась замена короба ВМЦГ-7 на скважине № 1, обусловленная разрушением подшипника. Более безголового решения по замене короба не могло и быть как в условиях газовой опасности в присутствии работника участка ВТБ приваривать к коробу «ушки», зацепив за которые поднять краном короб и снять его с устья скважины. Раскаленные от сварки частицы металла воспламенили метановую смесь, находящуюся в скважине, что привело к взрыву в выработке метановоздушной смеси 21.03.2000 г., разрушению взрывной волной перемычек, изолировавших ближайшее ранее отработанное пространство, поступлению из него к очагу взрыва дополнительных объёмов метана, последующих разрушений, серии взрывов и гибели 12 горноспасателей.

Происшествие имело следующие причины технологического и организационного характера:

- вместо принятого проектом управления газовыделением на выемочном поле, следовало, согласно нормативным документам, использовать дегазацию выработанного пространства, с помощью которой каптируемые газовоздушные смеси были бы отведены на поверхность, минуя выработанные пространства;
- отмечена преступная техническая безграмотность инженерного персонала шахты;
- допущено грубое нарушение положений ПБ техническим персоналом шахты. Все это предвещало аварийную ситуацию.

На бывш. шахте «Ульяновская» при отработке пласта 50 в лаве 50-11бис 19.03.2007 г. произошел взрыв метановоздушной смеси, в результате травмировано 118 человек, из них 111 – смертельно. Предпосылками к аварии следует считать, прежде всего, ошибочное мнение персонала шахты, что можно управлять метановыми потоками на выемочном участке без применения дегазации сближенных пластов, проветривать выработанное пространство за счёт естественной тяги воздуха, то есть используя общешахтную депрессию, при этом не

располагая данными о сопротивлении выработанного пространства потоку воздуха, тем более что рядом имелась выработка со значительно меньшим аэродинамическим сопротивлением. Принятое шахтой на выемочном участке 50-11бис техническое решение не имело научного обоснования.

На высокопроизводительной метанообильной шахте «Распадская» 08.05.2010 г. произошла катастрофическая авария от взрыва метанопылевоздушной смеси с большими разрушениями горных выработок и вентиляторных сооружений на поверхности шахты: травмировано 229 человек, в том числе 91 смертельно. Предпосылки к взрыву метана и пыли на участке лавы 5а-6-18:

– на исследуемом выемочном поле (участки лав 5а-6-16, 5а-6-18 и 5а-6-20), разделенные между собой целиками угля шириной 40 м, использована система отработки пласта лавой 5а-6-18 очистным комбайном, который вынимал уголь как основного участка лавы протяженностью 200 м, так межлавного 40 м целика угля;

– для проветривания выработок участка лавы 5а-6-18 последовательно использовалась газоотсасывающая вентиляторная установка сначала ВМЦГ-7, затем УВЦГ-9 и УВЦГ-15, которые отводили часть вентиляционного воздуха лавы через отработанное пространство лавы 5а-6-16.

Такая система отработки мощного пласта 6-ба и схема проветривания выработок лавы 5а-6-18 нормативной не была, тем более что пласт 6-ба относится к склонному по эндогенным пожарам, а на участке лавы 5а-6-16 отмечены были признаки эндогенного пожара. Все это привело к взрыву метановоздушной смеси, поскольку система отработки пласта 6-ба и схема проветривания выработок лавы 5а-6-18 не соответствовали нормам безопасного ведения очистных работ и требованиям ПБ, дегазация не была предусмотрена.

Каждый способ управления газовыделением на выемочном участке средствами вентиляции или дегазации имеет свою область эффективного применения, предопределенную метаноносностью угольных пластов, газовым балансом выработок участка и горнотехническими условиями разработки пласта. При выборе способов надо было ориентироваться на положения соответствующих нормативных документов, оценивать ресурсы метана, объемы его выделения в шахтах, состояние экологии угледобывающего региона.

Используемые в настоящее время подходы к подземной добыче угля в метанообильных шахтах характеризуются метановой травмоопасностью, причины которой чаще всего кроются в непрофессионализме инженерного персонала шахт и угольных компаний, проектных и научных организаций, в нарушении технологической и трудовой дисциплины, в незнании процессов аэrogазовых потоков в сложной сети горных выработок газоопасных угольных шахт.

Необходимо повышать уровень знаний горного дела и аэрологических законов при подготовке горных инженеров, повышать ответственность персонала метанообильных шахт в соответствии с требованиями норм и правил безопасного ведения горных работ в подземных условиях добычи угля, внедрять научно обоснованные и проверенные на практике технологические решения по снижению отрицательного влияния газового фактора на безопасность и производительность угольных шахт. Кроме того, следует принимать меры по снижению запыленности рудничной атмосферы, от фрикционного искрения при работе очистных и проходческих комбайнов, (преимущественно путём охлаждения резцов исполнительных органов). Целесообразно использовать в определенных горнотехнических условиях сочетание комплекса технических решений по прогнозу и предупреждению взрывоопасных скоплений метана и тонкодисперсной пыли на участках очистных работ в газообильных и опасных по взрывчатости пыли шахтах.

В условиях ведения очистных работ на газоносных пластах для предотвращения взрывоопасных ситуаций в зоне работы исполнительного органа очистного комбайна необходимо применять новые технические приемы, изложенные в патентах РФ, а также способы управления газовыделением с учётом газового баланса по источникам выделения метана (разрабатываемого и сближенных пластов угля).

## 9. ПРОБЛЕМЫ МЕТАНА И ПЫЛИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

К числу основных проблем угольных шахт относятся обеспечение безопасности ведения горных работ, прежде всего, по газовому и пылевому факторам.

В соответствии с совместным Приказом руководителей Управлений Ростехнадзора и директоров российских угольных компаний или отдельных шахт ежегодно согласно «Инструкции по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категории шахт по метану» [15, 21] в приказе приводится информация о среднесуточной добыче угля в течение года, абсолютной и относительной метанообильности угольных шахт, среднегодовом расходе каптируемого дегазационными установками метана, опасности шахт по пыли, суфлярным выделениям газов, внезапным выбросам угля и газа. Основные показатели метановыделения в наиболее производительных шахтах Воркуты и Кузбасса сведены в табл. 9.1, в которой приведена категория их опасности по метану на очередной год. Это сверхкатегорные шахты, шахты опасные по внезапным выбросам угля и газа, по взрывчатости пыли.

Анализ данных, приведенных в табл. 9.1, свидетельствует о том, что в РФ среднесуточная добыча угля только на четырех метанообильных шахтах превышала 10 тыс. тонн угля, метановыделение в среднем составляло на шахтах АО «Воркутауголь» 100–150 м<sup>3</sup>/мин при добыче угля от 4095 до 6890 т/сут., на шахтах Кузбасса – от 11 до 170 м<sup>3</sup>/мин при объемах добычи угля 1600–12 780 т/сут. На шахтах со среднесуточной добычей угля более 11 тыс. тонн метановыделение составляло от 50 до 100 м<sup>3</sup>/мин (шахты им. С.М. Кирова, им. В.Д. Ялевского (б. «Котинская», «Заречная»)). Наиболее метанообильной на тот период являлась шахта «Есаульская» (169,3 м<sup>3</sup>/мин) при среднесуточной добыче угля 4952 тонн.

Относительная метанообильность опасных по внезапным выбросам угля и газа шахт АО «Воркутауголь» изменялась в пределах 33,4–101,6 м<sup>3</sup>/т, шахт Кузбасса – от 10,9 до 41,2 м<sup>3</sup>/т, сверхкатегорных шахт Воркуты и Кузбасса – 13,8–83,3 м<sup>3</sup>/т. На шахте «Котинская», отнесенной к III категории по метану, этот показатель составил 6,6 м<sup>3</sup>/т при абсолютном метановыделении 51,9 м<sup>3</sup>/мин и среднесуточной добыче угля 11 578 тонн.

## Метанообильность шахт Воркуты и Кузбасса

Шахта	Добыча угля, т/сут.	Метановыделение, м <sup>3</sup> /мин	Относительная метанообильность, м <sup>3</sup> /т	Категория по метану
Воркутское месторождение				
«Северная»	6890	149,0	59,8	Опасная по внезапным выбросам
«Комсомольская»	6170	143,0	33,4	То же
«Воркутинская»	4095	100,5	101,6	То же
«Заполярная»	5486	105,3	86,2	То же
«Воргашорская»	10 465	126,2	17,4	Сверхкатегорная
Кузнецкий бассейн				
Им. С.М. Кирова	11 264	100,4	12,8	Сверхкатегорная
Им. В.Д. Ялевского (б. «Котинская»)	11 578	51,9	6,6	III категория
«Заречная»	12 787	88,4	11,7	Сверхкатегорная
«Заречная», шахтоучасток Октябрьский	6440	61,8	13,8	То же
«Полысаевская»	5321	46,8	52,9	То же
«Комсомолец»	2359	39,0	26,6	То же
«Чертинская-Коксовая»	3034	124,1	40,3	Опасная по внезапным выбросам
«Чертинская-Южная»	1598	11,4	10,9	То же
«Абашевская»	2856	81,6	41,2	То же
«Есаульская»	4952	169,3	59,5	Сверхкатегорная
«Алардинская»	3341	152,8	83,3	То же
«Юбилейная» (2 район)	4724	106,6	32,5	То же
«Распадская»	3978	41,5	15,0	То же

Многолетнее отнесение угольных шахт к определенной категории опасности по метану по показателю относительной метанообильности следует считать условным, поскольку производство угля в 1-ой половине XX века, когда устанавливались критерии опасности шахт по метану, было низким. Среднесуточная добыча угля в забое в 50-х годах прошлого столетия составляла 170 т, по шахте – не более одной тысячи тонн [34]. Действующие положения,

принятые Правилами безопасности в угольных шахтах (1954 г.), по установлению категории метановой опасности шахт по показателям относительной метанообильности устарели для высокопроизводительных шахт, поскольку объемы добычи угля в шахтах возросли на порядок и определение численных значений относительной метанообильности путем деления среднесуточных объемов выделившегося метана на объем добытого за сутки угля дает достаточно низкие значения относительной метанообильности шахты [13, 21, 34]. При среднесуточной добыче угля на шахте «Котинская» (АО «СУЭК-Кузбасс»), равной 11 578 тонн, и абсолютном метановыделении 51,9 м<sup>3</sup>/мин (74 736 м<sup>3</sup>/сут) относительная метанообильность шахты должна составить 6,5 м<sup>3</sup>/т, что при существующей градации соответствует II категории опасности шахты по метану при высоком абсолютном метановыделении. Этот пример свидетельствует о необходимости пересмотра установленного порядка отнесения шахт к категории опасности по метану [13, 21].

Опыт подземной разработки угольных пластов свидетельствует, что вспышки и взрывы метановоздушных смесей имели место не только в газовых шахтах, но и в шахтах, которые были отнесены к негазовым. Так, шахта «Аютинская» (АО «Ростовуголь») по заключению МакНИИ была признана негазовой. Однако в 1995 г. произошел взрыв газа в тупиковой части подготовительной выработки, которая ранее была заперемычена, и два месяца не проветривалась. Источником взрыва газа явилось курение рабочих, получивших наряд на восстановление проветривания этой выработки (погибли четыре шахтера). Аналогичный случай в 1965 г. произошел на негазовой шахте «Дхори» (Индия) с большим числом жертв (375 человек), что привело к решению администрации угольной компании относить все угольные пласти Индии к газовым [25].

Крупные взрывы метанопылевоздушных смесей, произошедшие в последние годы (шахты «Ульяновская», «Юбилейная» и «Распадская»), привели на отдельных шахтах (кроме шахты «Листвяжная») к административному ограничению нагрузок на очистные забои в метанообильных шахтах. Если на шахте «Распадская» нагрузка на лаву ранее устанавливалась преимущественно по техническим возможностям очистной техники и достигала на мощных пластах 10–15 тыс. тонн угля в сутки (пласти 6-ба и 7-7а), то плановые нагрузки на лавы уменьшены в два раза при тех же способах управления газовыделением, которые применялись на выемочных участках (вентиляция, дегазация). Объемы добычи угля в лавах по газовому фактору с различными горнотехническими условиями уменьшены в среднем в 2 раза (табл. 9.2).

Плановые объемы добычи угля по газовому фактору  
в комплексно-механизированных забоях шахты «Распадская»

Вынимаемая мощность пластов угля, м	Длина очистного забоя, м	Угледобывающие комплексы	Объемы добычи угля, тыс. т	
			в месяц	за сутки
1,7–2,1	255–300	DBT, Joy-1	90–160	3,0–5,3
2,4–2,5	250–300	MKT	80–120	2,7–4,0
2,7–4,5	245–300	MK, Joy-2, Joy-3	120–200	4,0–6,7

Решение газовой проблемы в высокопроизводительных шахтах должно базироваться на показателях газоносности пластов угля, метанообильности очистных и подготовительных забоев, рациональных схемах проветривания выработок выемочных участков и эффективности дегазации источников метановыделения. При этом положения, изложенные в «Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт» [14], должны быть существенно скорректированы, поскольку повысились нагрузки на очистные забои и методы прогноза метанообильности выработок не отвечают сложившимся новым условиям. Нужна новая редакция нормативного документа по вентиляции угольных шахт [21].

Процесс метановыделения из разрабатываемых пластов в призабойное пространство лавы в значительной степени обусловлен газоносностью массива угля и интенсивностью угледобычи очистного забоя, влияющими на динамику распределения газового давления и степень дегазации массива угля, примыкающего к очистному забою. При этом важным показателем, влияющим на интенсивность метановыделения в лаве, является газоносность массива угля в полосе, вынимаемой комбайном, поскольку она в большей степени подвержена естественной дегазации за счет разгрузки пласта от горного давления.

В основу метода определения допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору положены требования ПБ по допустимой скорости движения потока воздуха в призабойном пространстве лавы  $V_{ov}$ , равной 4 м/с, и по предельному содержанию метана в исходящей из лавы струе воздуха  $C$ , которое не должно превышать 1 %, а также проектные (или фактические) исходные данные, в числе которых площадь поперечного сечения призабойного пространства лавы  $S$  ( $\text{м}^2$ ) для прохода воздуха, природная  $X$  ( $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$ ) и остаточная  $X'$  ( $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$ ) метаноносность пласта после его искусственной (скважинной) дегазации, метаноносность в зоне выемки угля  $X_e$  ( $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$ ), остаточная метаноносность отбитого в лаве угля  $X_l$  ( $\text{м}^3/\text{т с.б.м.}$ ) в пределах выработок выемочного участка.

В основу метода определения допустимой  $j$  (т/мин) нагрузки на лаву по газовому фактору положено соблюдение равенства

$$0,6V_{ov}SC = j(X' - X_1)K_{WA}, \quad (9.1)$$

где  $K_{WA}$  – коэффициент, учитывающий содержание в угле природной влаги  $W_a$  и золы  $A^c$  в долях ед.

Тогда из формулы (9.1) при возвратной схеме проветривания

$$j = \frac{0,6V_{ov}SC}{(X' - X_1)K_{WA}}, \quad (9.2)$$

а при обособленном проветривании выработки, по которой транспортируется отбитый уголь,

$$j = \frac{0,6V_{ov}SC}{(X' - X_e)K_{WA}}. \quad (9.3)$$

Метаноносность пласта  $X_e$  в зоне выемки угля комбайном определяется экспериментально или рассчитывается по формуле

$$X_e = (1 - \kappa_e)X', \quad (9.4)$$

где  $\kappa_e$  – коэффициент естественной дегазации массива угля в полосе заходки комбайна.

С учетом этих формул (9.1–9.4) допустимая суточная нагрузка на очистной забой по газовому фактору  $A_{\text{доп}}$  (т/сут.) определяется по формуле

$$A_{\text{доп}} = j T_m, \quad (9.5)$$

где  $T_m$  – время работы очистного забоя по добыче угля в течение суток, мин.

Так, при исходных данных пласта 6-6а (шахта «Распадская»):  $X = 18 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ ,  $X' = 11,7 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$  (при дегазации пласта скважинами с эффективностью 35 %),  $X_e = 6,0 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ ,  $K_{WA} = 0,83$  ( $W_a = 2,2 \%$ ,  $A^c = 15,2 \%$ ),  $V_{ov} = 4,0 \text{ м}/\text{с}$ ,  $S = 12,7 \text{ м}^2$ ,  $C = 1,0 \%$

$$j = \frac{0,6 \cdot 4 \cdot 12,7 \cdot 1}{(11,7 - 6,0)0,83} = 6,44 \text{ т/мин.}$$

Тогда допустимая по газовому фактору суточная нагрузка на лаву при  $T_m = 864 \text{ мин}$  ( $1080 \cdot 0,8 = 864$ ) составит  $A_{\text{доп}} = 6,44 \cdot 864 = 5565 \text{ т/сут.}$

При максимально достижимой эффективности дегазации разрабатываемого пласта 6-6а скважинами, равной 40 % [9], величина  $j = 7,65 \text{ т/мин}$ ,  $A_{\text{доп}} = 6610 \text{ т/сут}$  или 198,3 тыс. т/мес.

Выбор способов и определение параметров дегазации основных источников метановыделения необходимо производить в соответствии с положениями

«Инструкции по дегазации угольных шахт» [9], в которой нашли отражение результаты научных исследований по извлечению метана, опыт реализации способов и схем дегазации на российских шахтах. При этом соотношение между вкладом способов управления газовыделением на выемочных участках вентиляция: дегазация должно достигать 1:3 за счёт применения наиболее эффективных способов дегазации сближенных и разрабатываемых угольных пластов, в том числе способов, интенсифицирующих процесс дегазации не разгруженных от горного давления разрабатываемых пластов угля.

Весьма важной проблемой угольных шахт является снижение метановыделения и пылеобразования в процессе разрушения угля исполнительными органами комбайнов, предотвращение запыленности рудничной атмосферы и обильного осаждения пыли в выработках. Важность данной проблемы подтверждается показателями отмеченных нарушений пылегазового режима в шахтах, опубликованных в бюллетенях ЦШ ВГСЧ. Доля этих нарушений только по факторам газа и пыли составляет 70–75 % от общего числа нарушений нормативных параметров рудничной атмосферы. Такие показатели настораживают, поскольку взрывы метанопылевоздушных смесей бывают наиболее катастрофичными по людским потерям, разрушению выработок и выводу из строя оборудования, приборов и устройств. Проблема повышения эффективности газовых и противопылевых мероприятий в шахтах очевидна.

Немаловажной проблемой метанообильных шахт является разработка технологических решений по исключению эндогенной пожароопасности, так как почти все угольные пласти Кузбасса относятся к этой категории опасности, а эндогенные пожары могут стать источником воспламенения метанопылевоздушных смесей.

В числе существенных проблем подземного производства угля – это предотвращение вспышек и взрывов метана и угольной пыли, создание здоровых условий труда, при которых исключалось бы воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов, порождающих травматизм, аварии и заболевания пневмокониозом [35]. Наличие в рудничной атмосфере, помимо пыли, различных газов и паров ускоряет возникновение легочных заболеваний и ухудшает их течение, а наличие гибридных смесей (например, метан – воздух, угольная пыль – воздух, угольная и пиритная пыль, метан – водород – воздух, метан – сероводород – воздух, всевозможные комбинации выше отмеченных составляющих) – многократно ускоряют процессы вспышек и взрывов метановоздушных и метанопылевоздушных смесей. Гибридные смеси ускоряют формирование взрывоопасных ситуаций. Взрывы метановоздушной смеси способствуют мощным взрывам угольной пыли.

В России в годы перестройки народного хозяйства и реструктуризации угольной отрасли отмечено большое число несчастных случаев со смертельным исходом, высокий уровень выхода на инвалидность вследствие взрывов метано-пылевоздушных смесей и профессиональных заболеваний, в частности заболеваний шахтеров антракосиликозом, возросло при резком снижении объемов добычи угля с 196,8 млн т в 1988 г. до 85,7 млн т в 1998 г. [4, 7].

Более того, настораживает тот факт, что взрывы метана и угольной пыли в шахтах все еще случаются. Основными причинами такого состояния являются снижение объемов дегазационных работ, отсутствие организационного и инвестиционного механизмов, стимулирующих дегазацию угольного и углепородного массива, отсутствие современных средств бурения скважин, способов интенсификации газоотдачи неразгруженных пластов угля в скважины, устаревшие дегазационные системы, а также снижение объемов профилактических работ, предусмотренных ПБ. Необходимо внедрять в практику работы угольных шахт новые технико-технологические решения [36].

Динамика условных потерь объемов добычи угля и проходки горных выработок из-за аварий, связанных со вспышками и взрывами метана и угольной пыли, показывает, что потери добычи угля составляли от 580 тыс. т до 1 млн 550 тыс. т в год, причем наибольшие их величины отмечены в 1997 и 2000–2002 годах. Условные потери объемов проходки горных выработок составили 6624 пог. м в 1997 и 4015 пог. м в 2005 г.

Материальный ущерб в угольной промышленности России от вспышек и взрывов метано- и метанопылевоздушных смесей, в том числе по восстановлению последствий аварий, изменялся от 119 до 426 млн руб. в год и составлял 19–65 % общего материального ущерба от всех подземных аварий, при этом, несмотря на снижение числа взрывов, тяжесть их последствий возрастает. Материальный ущерб от вспышек и взрывов метана и угольной пыли в 2000–2005 гг. составил более 3 млрд руб.

Эффективность подземного способа добычи угля в России должна сопровождаться совершенствованием новых технико-технологических решений, в том числе с использованием изобретений.

## ВЫВОДЫ

Ресурсы угля в России составляют 1/3 мировых, разведанные запасы – 1/5, в 2019 г. добыто 441,4 млн т, из них подземным способом – 107,3 млн тонн. Угольные месторождения России наиболее метаноносные – до 42 м<sup>3</sup>/т с.б.м., глубина ведения горных работ – до 1000 м, метанообильность шахт достигает 150–180 м<sup>3</sup>/мин, дегазация угольных пластов и выработанных пространств применяется на 30–32 шахтах.

Российские угольные месторождения являются высокометанообильными: на одну тонну добываемого угля выделяется 16–19 м<sup>3</sup> метана, который помимо угля является потенциальным энергетическим источником. Метанообильность выемочных участков достигает 65 м<sup>3</sup>/мин, выработанных пространствах угольных шахт – 50–60 м<sup>3</sup>/мин. Газовый баланс выработанного пространства составляет 50–80 %. На действующих очистных участках применяется дегазация угольных пластов и выработанного пространства. Целесообразно извлекать метан и из старых выработанных пространств, который осложняет ведение горных работ по газовому фактору, преимущественно путем дегазации сближенных пластов угля на этапе ведения очистных работ и выработанного пространства после его изоляции от рудничной атмосферы.

На подземных горных работах высокопроизводительных шахт России отмечен достаточно высокий травматизм, обусловленный газовым фактором в связи со вспышками и взрывами метановоздушных и метанопылевоздушных смесей. Аварийные условия создаются в результате нарушения технологии ведения горных работ и правил техники безопасности, ошибкой при установлении категории метановой опасности угольных шахт по относительной метанообильности, а не по её абсолютной величине, применения газоотсасывающих вентиляторных установок для отвода метана из выработанных пространств действующих и отработанных выемочных участков, причем с заведомо взрывоопасным его содержанием в атмосфере выработанного пространства.

Частота смертельного травмирования на шахтах России на одну тонну добываемого подземным способом угля изменяется в пределах 0,23–1,27, при этом за последние 20 лет на 1 взрыв метанопылевоздушной смеси приходилось в среднем от 4 до 110 погибших шахтеров, то есть мощность и последствия взрыва метана и пыли значительно повысились, а в случаях катастрофических аварий число погибших достигало 50–110.

Снижение метанопылевой травмоопасности в шахтах возможно путём соблюдения установленных ПБ технологий ведения горных работ, повышения уровня знаний вопросов горного дела и его составной части – аэробиологической безопасности ведения подземных работ на опасных по газу и пыли угольных шахтах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Забурдяев В.С. Ресурсы метана в угольных месторождениях. // Безопасность труда в промышленности, 1992. – № 11. – С. 2–7.
2. Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев, Г.С. Забурдяев и др. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 312 с.
3. Оценка ресурсов и объемов извлечения метана при подземной разработке угольных месторождений России / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев и Г.С. Забурдяев. – М.: ИПКОН РАН, 2005. – 152 с.
4. Рубан А.Д., Забурдяев В.С., Забурдяев Г.С. Геотехнологические проблемы разработки опасных по газу и пыли угольных пластов. – М.: Наука, 2007. – 279 с.
5. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие / А.Д. Рубан, В.Б. Артемьев, В.С. Забурдяев и др. Под. общ. ред. А.Д. Рубана, М.И. Щадова. М.: Горная книга, 2010. – 500 с.
6. Проблемы обеспечения высокой производительности очистных забоев в метанообильных шахтах / А.Д. Рубан, В.Б. Артемьев, В.С. Забурдяев и др. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009. – 396 с.
7. Забурдяев В.С. Метанообильные шахты: добыча угля, газовыделение, метановая опасность / В.С. Забурдяев, О.Н. Малинникова, В.А. Трофимов. – Калуга, 2020. – 334 с.
8. Шахтный метан в России / Информационная статья. International Energy Agency, 2010. – 73 р.
9. Инструкция по дегазации угольных шахт. – Серия 05. – Выпуск 22. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2012. – 250 с.
10. Забурдяев В.С. Метан угольных месторождений: ресурсы, объемы выделения, извлечения и использования // Горный вестник, 1994. – № 1. – С. 34–39.
11. Сергеев И.В., Забурдяев В.С., Рубан А.Д. и др. Проблемы разработки угольных пластов, извлечения и использования шахтного метана в Печорском бассейне. – М.: ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, 2002. – 352 с.
12. Забурдяев В.С. Газы призабойного пространства // Безопасность труда в промышленности, 2020. – № 8. – С. 48–50.
13. Забурдяев В.С. Метаноопасность угольных шахт // Безопасность труда в промышленности, 2013. – № 8. – С. 60–64.
14. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка-Донбасс, 1989. – 319 с.

15. Инструкция по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категорий шахт по метану и/или диоксида углерода, утвержденная приказом Ростехнадзора от 06.12.2012, № 704.
16. Методические основы проектирования дегазации на действующих и ликвидируемых шахтах / В.С. Забурдяев, А.Д. Рубан, Г.С. Забурдяев и др. – М.: ННЦ ГП-Игд им. А.А. Скочинского, 2002. – 316 с.
17. Управление газовыделением в угольных шахтах при ведении очистных работ / И.В. Сергеев, В.С. Забурдяев и др. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
18. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков угольных шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. – Серия 05. Вып. 18. М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2012. – 152 с.
19. Брабандер С.П., Костеренко В.Н., Палеев Д.Ю. Недостатки применения комбинированного способа проветривания. – Кемерово: Вестник КузГТУ, 2006. – № 2(53). – С. 9–12.
20. Забурдяев В.С., Подображин С.Н., Рычковский В.М. Безопасность и эффективность схем управления газовыделением на угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности, 2015. – № 9. – С. 50–55.
21. Забурдяев В.С. Категории опасности угольных шахт по метану // Труды Международного научного симпозиума «Неделя горняка-2016». – С. 300–314.
22. Артемьев В.Б., Рубан А.Д., Забурдяев В.С., Ютиев Е.П. Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана в процессе разработки высокогазоносных угольных пластов подземным способом // Уголь, 2010. – № 2. – С. 18–20.
23. Забурдяев В.С. Эффективность дегазации угольных пластов при высоких скоростях подвигания лав // Безопасность труда в промышленности, 2015. – № 4. – С. 26–29.
24. Забурдяев В.С. Особенности разгрузки и дегазации сближенных угольных пластов // Безопасность труда в промышленности, 2013. – № 11. – С. 45–48.
25. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 4. – М.: ЗАО «НТУ исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 200 с.
26. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03). Серия 05. Выпуск 11. – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – 294 с.
27. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. – М.: Недра, 1977. – 96 с.

28. Забурдяев В.С. Газовая опасность в угольных шахтах: условия, причины, экспертиза безопасности // Безопасность труда в промышленности, 2018. – № 11. – С. 15–18.
29. Забурдяев В.С. Взрывоопасное содержание метана в выработанных пространствах очистных забоев // Безопасность труда в промышленности, 2018. – № 5. – С. 28–34.
30. Забурдяев В.С., Подображен С.Н. Метановая травмоопасность на российских шахтах // Безопасность труда в промышленности, 2021. – № 9. – С. 69–73.
31. Забурдяев Г.С. Природные причины взрывов гибридных смесей в шахтах // Охрана труда и социальное страхование. Практикум, 2000. – № 4. – С. 39–42.
32. Забурдяев В.С. Взрывоопасные по метану и пыли ситуации на угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности, 2016. – № 11. – С. 30–33.
33. Забурдяев В.С., Харченко А.В. Метановая опасность высокопроизводительных угольных шахт // Горный журнал, 2022. – № 3. – С. 58–63.
34. Забурдяев В.С. Метанообильность высокопроизводительных выемочных участков // Безопасность труда в промышленности, 2022. – № 6. – С. 14–19.
35. Патент 2565311. Российская Федерация. Способ дегазации угленосной тощи // В.С. Забурдяев; заявл. 25.09.2014; опубл. 20.10.2015; Бюл. № 29.
36. Патент 2610600. Российской Федерации. Способ определения расхода воздуха в выработанном пространстве очистного забоя // В.С. Забурдяев; заявл. 30.12.2015; опубл. 14.02.2017; Бюл. № 5.
37. Патент 2700142. Российской Федерации. Способ прогноза взрывоопасности выработанного пространства очистного забоя // В.С. Забурдяев; заявл. 29.11.2018; опубл. 12.09.2019; Бюл. № 26.
38. Патент 2741935. Российской Федерации. Способ прогноза взрывоопасных серосодержащих веществ в угольных пластах // В.С. Забурдяев; заявл. 01.06.2020; опубл. 29.01.2021; Бюл. № 4.
39. Патент 27342931. Российской Федерации. Способ дегазации выемочного участка // В.С. Забурдяев, В.Н. Захаров, А.В. Шляпин; заявл. 01.06.2020; опубл. 29.01.2021; Бюл. № 27.
40. Патент 2751027. Российской Федерации. Способ прогноза пирита в пласте угля // В.С. Забурдяев; заявл. 01.06.2020; опубл. 27.07.2021; Бюл. № 19.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Газы угольных месторождений .....	8
1.1. Геологические запасы угля в России .....	8
1.2. Производительность очистных забоев в метанообильных шахтах .....	15
2. Природные газы угольных шахт.....	22
2.1. Газы призабойного пространства горных выработок .....	22
2.2. Метанообильность выемочных участков с комплексно-механизированными забоями .....	29
3. Метанообильные шахты .....	35
3.1. Очистные забои на пологих угольных пластах.....	35
3.2. Дегазация сближенных пластов при столбовой системе разработки .....	42
3.3. Формирование метановых потоков вблизи очистного забоя .....	45
4. Управление газовыделением выработанного пространства.....	52
4.1. Содержание метана в выработанных пространствах очистных забоев .....	52
4.2. Выработанное пространство очистного забоя: метанообильность, расход воздуха, концентрация метана .....	60
4.3. Извлечение метана средствами дегазации.....	66
4.4. Дегазация сближенных пластов и выработанных пространств наземными скважинами .....	66
5. Ресурсы метана выработанных пространств .....	71
5.1. Метановая опасность старых выработанных пространств .....	71
5.2. Ресурсы метана выработанных пространств .....	78
6. Извлечение метана выработанных пространств .....	85
6.1. Выработанное пространство очистного забоя .....	85
6.2. Извлечение метана подземными и наземными скважинами .....	88
7. Метановая опасность выработанных пространств .....	93
7.1. Схемы управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт .....	93
7.2. Газовая опасность угольных шахт Кузбасса .....	100
8. Метанопылевая травмоопасность на российских шахтах .....	112
8.1. Взрывоопасные по метану и пыли ситуации в шахтах .....	112
8.2. Динамика травмоопасности по газовому фактору на угольных шахтах .....	114
9. Проблемы метана и пыли на угольных шахтах .....	123
Выводы .....	130
Список использованных источников .....	131

# **Книги почтой**

*Заказ можно сделать на сайте издательства*

*[www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru)*

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование книги</b>
1	Автоматизация сложных электромеханических объектов энергоемких производств
2	Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников
3	Автоматическая защита электрооборудования шахт от аварийных и опасных состояний
4	Асинхронный электропривод горных машин с тиристорными коммутаторами
5	Атлас минералов и горных пород
6	Буровзрывные работы на карьерах
7	Геометрия недр. Основы геометрического анализа геохимического поля
8	Гидрогеология и осушение месторождений полезных ископаемых
9	Гидрогеология России
10	Горнопромышленная геология
11	Горнопромышленная геология месторождений полезных ископаемых
12	Горный англо-русский словарь
13	Диагностика технического состояния редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов
14	Инженерная геология
15	История горного дела. Геометрия недр
16	История горного дела. Маркшейдерия
17	Классификация твёрдых горючих ископаемых и методы их исследований
18	Кондиционирование шахтных вод
19	Ландшафтovedение
20	Математическая обработка результатов измерений в горном деле
21	Математические методы в горном деле
22	Метан угольных шахт
23	Механическое оборудование углеобогатительных фабрик
24	Научные основы дегазации угольных шахт
25	Обезвоживание продуктов обогащения и оборотное водоснабжение обогатительных фабрик

Научное издание

Забурдяев Виктор Семенович

**ВЫРАБОТАННЫЕ ПРОСТРАНСТВА МЕТАНООБИЛЬНЫХ  
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Монография

ISBN 978-5-9729-1288-9



9 785972 912889

Подписано в печать 20.10.2022  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс».

Издательство «Инфра-Инженерия»  
160011, г. Вологда, ул. Козленская, д. 63  
Тел.: 8 (800) 250-66-01  
E-mail: [booking@infra-e.ru](mailto:booking@infra-e.ru)  
<https://infra-e.ru>

Издательство приглашает  
к сотрудничеству авторов  
научно-технической литературы