



**L.A.Puchkov
N.O.Kaledina**

***METHANE DYNAMICS
'IN' COAL MINE
GOB 'AREA***



PUBLISHING HOUSE OF MOSCOW STATE MINING UNIVERSITY

MOSCOW • 1995

Л.А.Пучков
Н.О.Каледина

***ДИНАМИКА МЕТАНА
В ВЫРАБОТАННЫХ
ПРОСТРАНСТВАХ
УГОЛЬНЫХ ШАХТ***



L.A.Puchkov, N.O.Kaledina. Methane dynamics in coal mine gob area.—M.:MSMU, 313 p.

The results of theoretical and experimental investigations of coal mine job area air and methan gasdynamics are introduced.

The correlation between methan distribution in «mining working — job area» system and aerodynamic regim is described. The mathematical model of gas transient processes is developed on the base of simplified mechanic model. The physical basis of ventilation control complex safety method are stated. The correlation between aerodynamic process and gob areadegasing is established and the method of determination of rational aerodynamic regim range for maximum degasing efficiency is proposed. Obtained results may be used while projecting coal mine ventilation, degasing and ventilation control systems.

This book can be applied in research and design institutes, by mining engineers, in the work of mine safety service as well as by mining institutes teachers, post-graduates and students.

Пучков Л.А., Каледина Н.О. Динамика метана в выработанных пространствах угольных шахт.—М.:Издательство Московского государственного горного университета, 1995, 313 с.

Обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований аэрогазовой динамики выработанных пространств угольных шахт.

Описаны закономерности распределения метана в системе «горные выработки — выработанное пространство» в условиях изменения аэродинамических режимов. Предложено описание переходных газодинамических процессов на базе упрощенной механической модели. Изложены физические основы комплексного безопасного метода управления проветриванием на выемочном участке. Установлены зависимости, описывающие взаимосвязь процессов вентиляции и дегазации выработанных пространств, приведена методика определения оптимального диапазона режимов проветривания участка при наличии дегазации. Полученные результаты могут быть использованы в расчетах вентиляции и дегазации угольных шахт и при проектировании систем автоматического управления проветриванием.

Для работников НИИ, проектных институтов, угольных шахт, ВГСЧ, а также преподавателей, аспирантов и студентов горных вузов.

ВВЕДЕНИЕ

В практике подземной добычи угля вопросу создания безопасных по газовому фактору условий труда придается едва ли не самое важное значение. В условиях высоких нагрузок на очистные забои, усугубляющихся ростом газоносности пластов и вмещающих пород по мере углубления горных работ, проблема управления газовыделением средствами вентиляции и дегазации приобретает все большую остроту, так как именно эти процессы в значительной степени определяют газовый режим и безопасность горных работ. Указанная проблема включает в себя целый ряд частных научных и практических задач, решение которых позволило бы на новом уровне дать описание аэрогазодинамических процессов, как определяющих необходимость управления вентиляцией, так и являющихся следствием изменения режима проветривания. Конечной целью исследовательских работ в рамках указанного научного направления является создание и практическое освоение систем замкнутого автоматического управления вентиляцией шахт.

Исследования, проводимые Московским государственным горным университетом в этом направлении, имели своей целью разработку физических основ оперативного управления вентиляцией как наиболее практически значимой формы управления аэрогазодинамическим режимом шахт. Под оперативным в данном случае понимается такой уровень управления, при котором обеспечивается стабилизация газового режима средствами вентиляции в выработках выемочных участков и подготовительных выработках, нарушаемого не только возмущениями, связанными с существенным изменением геологических условий и горно-

технических параметров, но и более высокочастотными возмущениями, связанными с интенсивной работой выемочных машин, нарушениями в системе дегазации, обрушениями пород и т.п.

В качестве основных задач, требующих решения для достижения указанной цели, можно выделить следующие:

- аэродинамическое описание процессов распределения воздуха в системе «горные выработки — выработанные пространства»;
- статистическое описание динамики концентрации метана на выемочных участках при стационарных аэродинамических режимах;
- разработка методов описания газодинамических процессов, являющихся следствием изменения аэрогазодинамического режима;
- разработка методов оперативного и безопасного управления вентиляцией;
- разработка алгоритмов автоматического регулирования газодинамическими процессами;
- определение структуры и разработка комплекса средств автоматического управления вентиляцией;
- разработка и промышленные испытания системы автоматического управления вентиляцией;
- разработка методологии проектирования вентиляции в условиях автоматического оперативного управления.

Основными объектами оперативного управления вентиляцией являются шахты, в которых газообильность выемочных участков ограничивает концентрацию горных работ и производительность добычи угля. К таковым относятся шахты, сверхкатегорные по метану, разрабатывающие пласты тонкие и средней мощности. Общее количество

таких шахт в странах СНГ составляет в настоящее время около 290 (или 59 %). Средняя относительная газообильность по бассейнам изменяется от 8,8 до 25,9 м³/т, абсолютная газообильность характеризуется при этом величинами от 1580 до 12100 тыс. м³/сут.

Главными источниками газовыделения в указанных шахтах являются выемочные участки, газовый баланс которых определяется двумя основными источниками — разрабатываемым пластом и выработанным пространством. С точки зрения управления газовыделением наибольшую трудность представляют выработанные пространства, являющиеся активной составляющей частью аэрогазодинамической системы на более, чем 80 % выемочных участков газовых шахт. Поэтому значительную весомость в разработке и внедрении методов и систем автоматического управления вентиляцией представляет решение проблемы аэродинамики выработанного пространства, а затем — аэрогазодинамики системы «горные выработки — выработанные пространства».

Решение этой проблемы осуществлено на основе использования теории турбулентной фильтрации для описания движения воздуха в выработанном пространстве, что позволило определить коэффициенты сопротивления, не зависящие от режима фильтрации воздуха в выработанном пространстве. Это обеспечивает надежную базу для аэродинамических расчетов выработанного пространства. Результаты проведенных исследований аэродинамики, представленные в работе [1], являются базой, на основе которой возможно решение широкого комплекса задач, связанных с вентиляцией газовых шахт.

Для обоснования требуемой оперативности управления вентиляцией и разработки методов оперативного ана-

лиза информации о состоянии рудничной атмосферы установлены статистические закономерности динамики концентрации метана на выемочных участках. Исследование динамики загазований показывает, что наиболее весомыми по степени их суммарного влияния на простои участка являются загазования длительностью около 30 минут. Это предъявляет высокие требования к оперативности управления вентиляцией и соответствующим методам регулирования.

На основе проведенных исследований был разработан комплексный безопасный метод регулирования, предполагающий отработку как низкочастотных колебаний, так и мощных всплесков концентрации метана. Полученные результаты послужили основой для разработки алгоритмов замкнутого автоматического управления вентиляцией по фактору концентрации метана. Использование разработанных методов и алгоритмов позволяет осуществлять оперативное управление вентиляцией, обеспечивающее, в отличие от предложенных ранее методов, ликвидацию основных загазований, вызывающих нарушение нормального газового режима участка.

Дальнейшие работы в развитии оперативного управления вентиляцией газовых шахт были направлены на отработку алгоритмов, доработку комплекса технических средств системы управления и производственные испытания системы.

Весьма важным аспектом окончательного решения проблемы является создание методов проектирования вентиляции газовых шахт при использовании автоматического управления этим процессом. Такой подход определяется необходимостью правильного определения резерва венти-

ляции как в сети, так и на главном вентиляторе и пересмотра некоторых ограничений на параметры вентиляции.

В условиях динамических вентиляционных режимов возникает проблема, связанная с дегазацией выработанных пространств. При отработке высокогазоносных свит угольных пластов на практике чаще встречаются комбинированные схемы управления газовыделением — совместно вентиляцией и дегазацией, особенно, если доля газовыделения из выработанного пространства составляет 60% и более. В этих случаях при дегазации выработанных пространств или сближенных пластов дегазационная система оказывается зародинамически связанной с системой вентиляции через зону обрушения. При этом образуется единая сеть «дегазационные скважины — выработанные пространства — горные выработки», а распределение концентраций метана в этой сети в значительной степени зависит от режимов вентиляции и дегазации, что подтверждается шахтными наблюдениями.

Исследование взаимного влияния вентиляции и дегазации выработанных пространств позволили определить рациональные режимы проветривания, обеспечивающие максимальную эффективность дегазации и нормальную газовую ситуацию в горных выработках. Применение таких режимов открывает возможности для промышленной утилизации метана, что особенно важно для промышленных угледобывающих регионов с неудовлетворительным состоянием среды обитания.

В книге обобщены результаты работ, проведенных в Московском государственном горном университете по указанным направлениям с привлечением материалов исследований и опыта практического применения способов управления газовыделением из выработанных пространств

других исследователей, как отечественных, так и зарубежных. Авторы с благодарностью отмечают сотрудников кафедры Аэрологии и охраны труда: В.Д.Аюрова, Т.Т.Егорову, А.Г.Елгаева, В.Н.Нестеренко, В.А.Полякова, О.А.Пустовалову, внесших свой вклад в исследования и решение многих задач управления аэрогазодинамическими процессами, нашедших отражение в данной работе.

В заключение авторы выражают особую признательность Т.Т.Егоровой за большую помощь в подготовке рукописи к изданию.

ГЛАВА 1. РОЛЬ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ В ШАХТНОЙ АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ

1.1. АЭРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Вентиляция газообильных угольных шахт в настоящее время является наиболее сложной областью рудничной вентиляции, что объясняется тесной взаимосвязью вопросов вентиляции с газодинамическими процессами, сложными и разнообразными по своей природе.

В обычных угольных шахтах и рудниках вентиляция представляет собой комплекс процессов, называемых в целом аэродинамическими (процессы силового взаимодействия движущихся воздушных потоков с окружающей средой), а также методы и средства технического воздействия для управления этими процессами. В газовых угольных шахтах речь идет, как правило, об аэрогазодинамических процессах, под которыми понимаются, в дополнение к вышеуказанным, процессы выделения и распространения метана в воздушных потоках в горных выработках.

Процессы движения воздуха так же, как и процессы выделения и распределения метана в воздушных потоках в горных выработках, являются весьма специфичными, во многих случаях не имеющими достаточно близких аналогов в смежных областях науки.

Первым элементом изучения аэродинамических процессов является установление характера силового взаимодействия движущегося воздушного потока с поверхностями, которые его ограничивают или встречаются на его пути

в виде различных предметов и т.п. В рудничной вентиляции эта задача сводилась к изучению взаимодействия воздуха со стенками горных выработок, силовых проявлений в воздушном потоке на участках местных сопротивлений, взаимодействия воздуха с дроблеными горными породами при его фильтрации через выработанные пространства, бункера, рудоспуски, и, наконец, взаимодействия потока с различного рода предметами, находящимися в выработках.

Особенно глубоко изучались вопросы взаимодействия потоков со стенками горных выработок, связанные с установлением закона сопротивления, определением сопротивлений трения и исследованием влияния на них специфических горных факторов. Исследование этих вопросов и, в особенности, исследование коэффициента аэродинамического сопротивления горных выработок α занимает существенное место в отечественной и зарубежной рудничной вентиляции. Большой вклад в эти исследования внесли советские ученые, по существу создавшие основы рудничной вентиляции: Ф.А.Абрамов, В.Н.Воронин, В.Б.Комаров, А.И.Ксенофонтова, Н.И.Мустель, А.А.Скочинский. Эти исследования создали надежную основу расчета основных параметров движения воздуха в горных выработках. В настоящее время такие расчеты проводятся с высокой точностью на стадии проектирования и при практической организации вентиляции.

По-видимому, вторым, по степени его важности в вентиляции шахт, элементом вентиляционной сети является выработанное пространство. Поэтому движение воздуха через выработанные пространства является объектом интенсивных исследований на протяжении последних десятилетий. Изучением этих вопросов занимались А.М.Карпов, Ф.С.Клебанов, А.А.Колмаков, А.Ф.Милетич, А.А.Мясни-

ков, И.М.Печук, К.З.Ушаков и др. Этот процесс, относящийся к классу турбулентных пространственных течений через крупнокусковатую пористую среду, оказался исключительно сложным. По этой причине практически приемлемые аналитические решения аэродинамики выработанных пространств отсутствуют, и инженерные расчеты таких течений не производятся.

В отношении других процессов, имеющих место на отдельных участках вентиляционной сети (движение в зонах местных и лобовых сопротивлений, утечки через вентиляционные сооружения и т.п.), можно сказать, что уровень их исследований и методы расчета в достаточной степени соответствуют их роли в вентиляции шахт.

Специфика аэрогазовых процессов в угольных шахтах проявляется в еще более глубокой степени, в связи с чем задачи изучения и управления ими приобретают более сложный характер.

В начальной стадии изучение газодинамических процессов было, в основном, направлено на решение задач, связанных с газоносностью и газообильностью шахт. Интенсивность и закономерности выделения метана в горные выработки определяются, в первую очередь, его природой, генезисом, формами взаимосвязи с углем, — именно эти вопросы решались наиболее интенсивно на определенном этапе развития газовой динамики угольных шахт. В решение этих задач большой вклад внесли советские ученые Г.Д.Лидин, В.В.Ходот, И.Л.Эттингер. Дальнейшие работы были направлены на исследование задач выделения метана в горные выработки. Исследовались, в частности, вопросы интенсивности газовыделения из различных источников, его неравномерности и методы расчета и управления процессами газовыделения. Изучением этих вопросов занима-

лись многие исследователи в СССР и за рубежом. Нужно отметить, в частности, работы С.Г.Калиева, Ф.С.Клебанова, А.А.Колмакова, И.Д.Мащенко, А.А.Мясникова, С.Н.Осипова, А.Э.Петросяна, Б.Г.Тарасова, А.С.Цырульникова, Bruyet V., Otto I., Potteisky K., Winter K. и др.

Особую область аэрогазодинамических явлений в угольных шахтах занимают процессы диффузии метана в воздушных потоках. Практическая значимость таких процессов в значительной степени усилилась в связи с проблемой местных скоплений метана и, в особенности, так называемых слоевых скоплений. Местные скопления метана есть не что иное, как проявление своеобразных диффузионных процессов, характеризующихся наличием высоких градиентов концентрации. Изучение процесса диффузии метана в горной выработке интенсивно проводилось в Англии Bakke P., Leach S. (1960-62г.г.) и в СССР А.И.Бобровым (1965 г.), Б.Г.Тарасовым и Н.М.Кошелевым (1967 г.). Исследователи использовали для анализа процесса теории турбулентной диффузии, выполнив на ее основе значительный комплекс экспериментальных работ.

Работы в области турбулентной диффузии в горных выработках были существенно развиты К.З.Ушаковым, использовавшим для исследований процессов газовой динамики аппарат полуэмпирических теорий турбулентности и, в частности, теории Прандтля. Выполненные работы позволили установить закономерности изменения основных характеристик турбулентности — компонент пульсационных скоростей, коэффициента вихревой вязкости, пути смещения Прандтля, — и разработать методы расчета распределения концентрации метана в горной выработке. По установленному распределению концентрации рассчитывается необходимое для достижения безопасных ее зна-

чений количество воздуха. Этот метод расчета вентиляции известен под названием динамического.

Целью изучения диффузионных процессов в горных выработках является разработка методов расчета распределения метана в пространстве. Эта задача в настоящее время является особенно актуальной для очистных забоев, где наблюдается распределение с высокими градиентами концентраций и образуются опасные зоны загазования. Однако взаимосвязь процессов распределения метана со сложной структурой турбулентных воздушных потоков в горных выработках в значительной степени объясняет то обстоятельство, что до настоящего времени возможности практических расчетов диффузионных процессов в горных выработках остаются весьма ограниченными. Необходимость расширения и углубления этих возможностей не подлежит сомнению, и вопросы, связанные с турбулентностью шахтных воздушных потоков, должны систематически изучаться. Особенно важной в связи с этим является задача изучения характеристик турбулентности непосредственно в шахтных условиях прямыми методами, позволяющими надежно установить значения исследуемых параметров.

Нужно отметить, что в этом направлении за последние годы проведен значительный объем исследовательских работ, и можно считать, что в рудничной вентиляции имеются достаточно широкие представления о количественных значениях параметров турбулентности и их взаимосвязи со специфичными для горных условий факторами.

Изучение аэрогазодинамических процессов было интенсивно продолжено в связи с постановкой проблемы автоматизации управления вентиляцией газовых шахт. Основные задачи этой проблемы были сформулированы

Ф.А.Абрамовым и А.Н.Щербанем (1964-67 г.г.). Задача исследования аэрогазодинамических процессов с целью повышения степени представления и описания физического характера процессов до уровня, соответствующего возможности автоматического управления ими, в решении данной проблемы занимала и продолжает занимать существенное место среди всего комплекса решаемых вопросов.

В своем большинстве аэрогазодинамические задачи, исследуемые с целью разработки методов автоматического управления вентиляцией, не являются новыми: в той или иной степени эти задачи ставились и решались ранее. К таким задачам, в частности, относится изучение интенсивности газовыделения из различных источников, неравномерность газовыделения и газовый баланс участков, распределение воздуха в вентиляционных сетях и методы их расчета, аэродинамика выработанных пространств, работа вентиляторов в вентиляционных сетях и т.п. Отличия в постановке этих задач заключаются в том, что все они рассматриваются с точки зрения более высокой динамики процессов, связанной в целом с повышением интенсивности и концентрации горных работ. Эти отличия часто определяют новый подход к решению задач и придают им новую специфику.

Другой отличительной чертой современного подхода к задачам аэрогазодинамики является стремление к комплексному решению аэрогазодинамических вопросов в масштабах высокопроизводительных шахт, попытки разработки методов оценки аэрогазодинамики с точки зрения оптимизации всего комплекса горных работ. В этом плане процессы аэрогазодинамики иногда необоснованно рассматриваются лишь как ограничения без учета того факта, что эти процессы увязаны с остальными не жесткими, од-

посторонними связями, но обладают гибкостью и большими возможностями, с точки зрения формирования в нужном направлении, то есть управления ими.

Весь комплекс задач, связанных с изучением аэрогазодинамических процессов в шахтных вентиляционных сетях и разработкой элементов систем контроля и регулирования, решался и решается крупными коллективами ученых во многих организациях. В общем аэрогазодинамические задачи решались различными методами, однако, при всем их многообразии можно достаточно отчетливо различить две тенденции.

Первое направление исследований осуществлялось классическими методами рудничной аэрогазодинамики, основой которых является правильно выбранная теоретическая база и значительный объем экспериментальных работ как по изучению того или иного процесса в целом, так и отдельных определяющих параметров. Этот подход дает возможность правильно решать основные проблемы в перспективном плане, когда дальнейшее развитие исследовательских работ углубляет и расширяет знание о процессах и практические возможности их использования.

Второе направление составляют исследования, выполненные чисто статистическими методами, основой которых является сбор данных по динамике того или иного параметра с последующей статистической обработкой этих данных. Безусловно, что в этом случае исследование, часто связанное с физической сущностью процесса поверхностно или вовсе не связанное с таковой, имеет частный практический характер, а решения не всегда соответствуют перспективным задачам автоматического управления вентиляцией. Нельзя упускать из внимания то обстоятельство, что в условиях оперативного управления вентиляцией и

высокой интенсивности горных работ физические процессы аэрогазодинамики существенно трансформируются, и статистические данные, полученные в конкретных условиях, в большинстве случаев не могут учесть эти изменения.

В этой связи необходимо отметить целесообразность исследований физических процессов рудничной аэрогазодинамики. Развитие рудничной вентиляции показывает, с одной стороны, что фундаментальные проблемы, как правило, трудно решать в рамках отдельных практических задач, вследствие чего эмпирические методы продолжают оставаться основными, и, с другой стороны, что именно широкие фундаментальные исследования позволяют решать практические вопросы вентиляции наиболее эффективно. Проблема автоматизации управления вентиляцией газовых шахт по своим масштабам и практическим последствиям требует решения ряда вопросов в более глубоком и широком плане, по сравнению с другими задачами. Опыт работы в СССР и за рубежом в этом направлении, который будет освещаться ниже, уже достаточно наглядно показал, что во многих аспектах постановка и решение задач фундаментального характера являются не только целесообразными, но и необходимыми.

1.2. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ В ШАХТАХ

Вопросы управления вентиляцией наиболее остро встают в газовых шахтах в связи с необходимостью повышения производительности и рентабельности угольных шахт. Повышение концентрации горных работ связано с увеличением абсолютного газовыделения на выемочных

участках, и эта тенденция в еще большей степени проявляется при увеличении глубины горных работ.

В настоящее время управление газовым режимом в шахтах осуществляется средствами дегазации и вентиляции. Удельный вес данных способов управления по конечному эффекту в разных условиях различен. Это различие, связанное с целым комплексом факторов, безусловно, будет иметь место и в будущем, однако в целом можно полагать, что и в будущем средства вентиляции и дегазации в общем плане борьбы с метаном будут использоваться до предела. На шахтах России и стран СНГ дегазация обеспечивает снижение газообильности в ряде случаев [2] на $3,5-46,3 \text{ м}^3/\text{т}$ (или от 14 до 73%), удаление метана воздушным потоком составляет $1,7-46,7 \text{ м}^3/\text{т}$ (от 27 до 86%). За рубежом [3] дегазация позволяет удалить метан в объеме от $2,4$ до $97,8 \text{ м}^3/\text{т}$, что составляет $5,8-82,8\%$ от общего газовыделения в шахтах. Средствами вентиляции в этих же шахтах удаляется от $11,3$ до $114,7 \text{ м}^3/\text{т}$ или $17,2-94,2\%$ от общего газовыделения (при газообильности шахт от 20 до $190 \text{ м}^3/\text{т}$). Можно видеть, что повышение эффективности дегазации, как правило, не снижает роли вентиляции как средства борьбы с газовыделением, а наоборот, в абсолютном плане сопровождается повышением ее эффективности.

Вопросы влияния концентрации горных работ на газовыделение и вентиляцию шахт находились в поле зрения исследователей с того момента, когда вентиляция начала играть в некоторой степени роль ограничения повышения концентрации работ и производительности труда. Эти вопросы встали, в частности, в период развития концентрации горных работ в зарубежной угольной промышленности в 50-60 годах. Несколько позднее, но, по ряду причин, в

более острой форме, аналогичная проблема, которая к настоящему времени пока полностью еще не решена, возникла и в СССР.

Взаимосвязь концентрации горных работ с вопросами управления газовой выделением и вентиляцией на зарубежных шахтах хорошо прослеживается по данным исследований, проведенных в ФРГ [4] в 60–70 годы.

Общее развитие добычи угля в ФРГ за период с 1957 по 1969 годы сопровождалось снижением добычи со 149 до 111 млн. тонн. Количество шахт, находящихся в эксплуатации, как показано на рис. 1.1-а, при этом сократилось со 173 до 69 при одновременном росте их производительности с 3330 до 6430 т/сут; 23% продукции добывалось в шахтах с производительностью выше 10000 т/сут.

Количество очистных забоев за период с 1957 по 1965 годы сократилось с 2330 до 473 (рис. 1.1-б), тогда как средняя производительность забоя возросла с 212 до 890 т/сут при повышении средней скорости подвигания от 0,95 до 2,34 м/сут. Процент забоев (рис. 1.1-в) с суточной добычей до 500 т/сут сократился с 55 до 26, с добычей 500–1000 т/сут оставался постоянным, равным 45%. В 1969 г. в Руре 21% забоев работал с производительностью от 1000 до 1500 т/сут., 5% — от 1500 до 2000 т/сут и 3% — с производительностью более 2000 т/сут. Максимальная производительность забоя составляла около 6000 т/сут.

В этих условиях в шахтах, естественно, наблюдалось соответствующее увеличение параметров вентиляции. Среднее количество воздуха, подаваемого на выемочные участки, с 1958 по 1970 годы увеличилось с 449 до 973 м³/мин, достигнув в ряде случаев уровня 1500–2000 м³/мин, средняя скорость движения воздуха возросла с 1,2

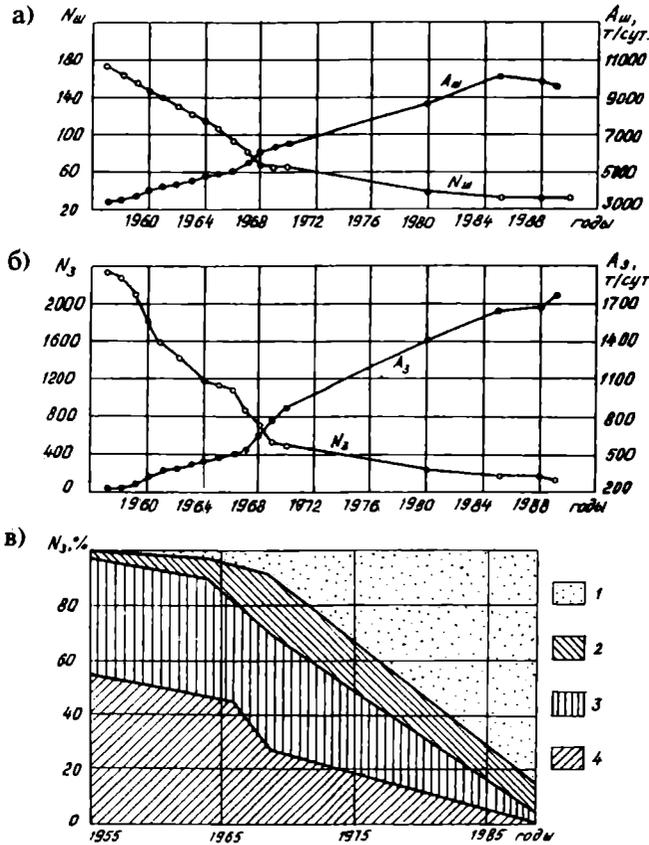


Рис. 1.1. Динамика добычи каменного угля в ФРГ:
 а - рост производительности шахт; б - рост производительности очистных забоев; в - распределение забоев по добыче;
 $N_{ш}$, $N_{з}$ - соответственно, среднее количество шахт и забоев; $A_{ш}$, $A_{з}$ - соответственно, нагрузка на шахту и забой

до 2,0 м/с, достигнув максимального уровня в ряде шахт 4-6 м/с. Средняя депрессия шахт возросла со 188 до 241 мм.вод.ст., а количество воздуха, подаваемого в шахту, выросло с 6700 до 8800 м³/мин, достигнув в ряде случаев 20000 м³/мин.

Динамика развития дегазации характеризовалась увеличением общего количества каптируемого метана с 36 до 533 млн м³ метана, что в 1969 г. для наиболее газообильных шахт, добывающих 23% угля в ФРГ, в целом составило 32 м³/т при максимальном уровне 80 м³/т, а в Рурском бассейне — соответственно 20 и 60 м³/т. Производительность газообильных лав находилась в диапазоне 600-2600 т/сут., составляя в среднем 1000 т/сут.

В дальнейшем темпы прироста нагрузки на очистной забой уменьшаются с одновременным укрупнением шахт путем их объединения. С 1983 г. объединение шахт сопровождается сбалансированным, в зависимости от уровня спроса на уголь, уменьшением производственных мощностей. Среднесуточная нагрузка на шахту в 1989 г. составила 10506 т (товарного угля), средняя нагрузка на очистной забой — 1915 т/сут. [5].

На шахтах бывшего СССР концентрация горных работ началась с середины 60-х годов в связи с массовым внедрением механизированных комплексов. Динамика концентрации горных работ характеризуется следующими данными, приведенными на рис.1.2 -1.3 и в таблице 1.1.

Количество шахт в бывшем СССР с 1960 по 1990 годы сократилось за счет их укрупнения, объединения мелких шахт. Средняя нагрузка на очистной забой к 1991 г. составила 366 т/сут, но на лучших участках с комплексной механизацией процессов средняя нагрузка достигает 2000-2600 т/сут, а в отдельных случаях при благоприятных

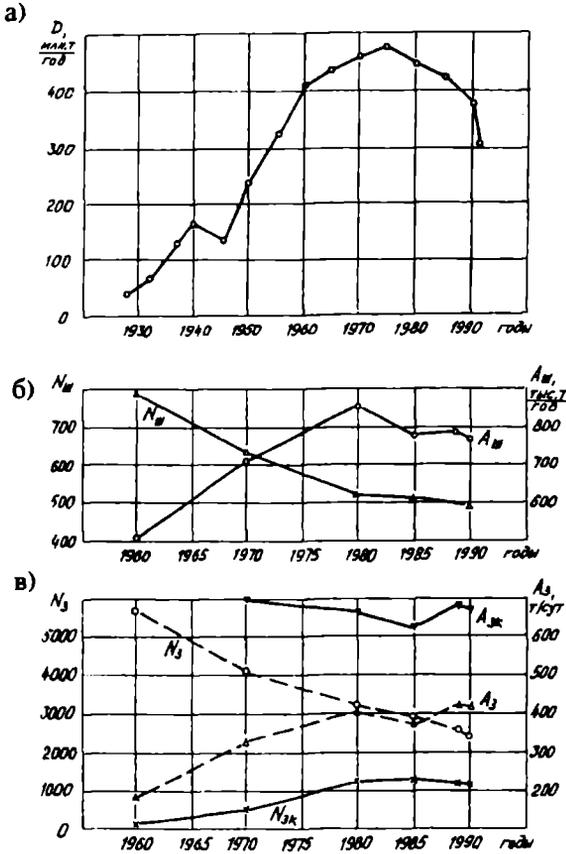


Рис.1.2. Динамика добычи каменного угля в СНГ (СССР):
 а - общая добыча угля (D) подземным способом; б, в - рост
 производительности шахт ($A_{ш}$), очистных забоев ($A_{з}$),
 комплексно-механизированных забоев ($A_{зк}$); $N_{ш}$, $N_{з}$, $N_{зк}$ -
 соответственно, число шахт, очистных забоев и комплексно-
 механизированных забоев

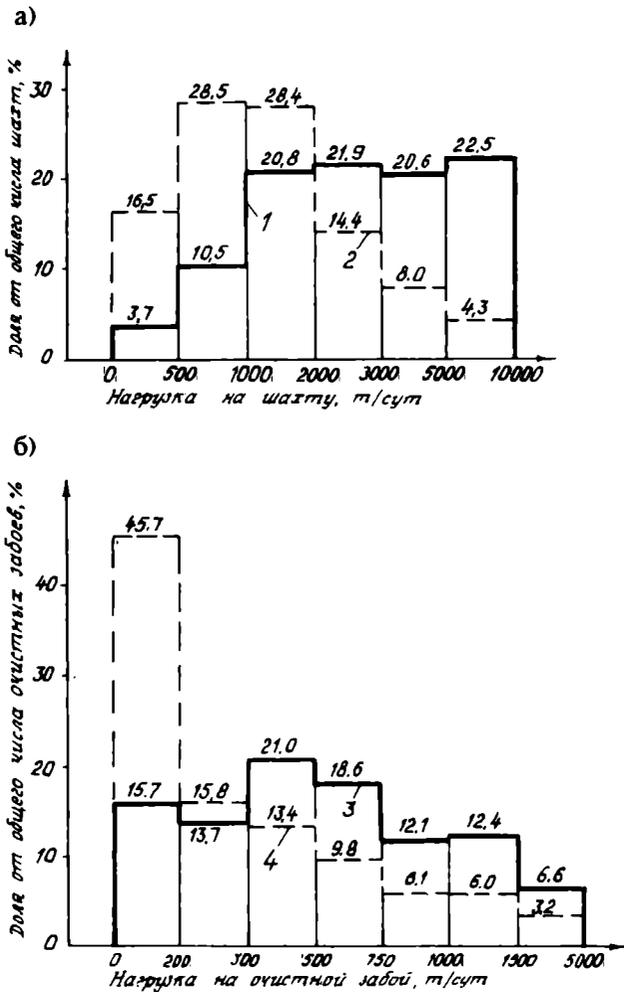


Рис. 1.3. Распределение шахт (а) и очистных забоев (б) по среднесуточной нагрузке на 1991 г. в СНГ:
 1 - в Российской Федерации; 2, 3 - среднее по СНГ; 4 - по комплексно-механизированным забоям (СНГ)

Таблица 1.1

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ
И МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ПО ОСНОВНЫМ
УГЛЕДОБЫВАЮЩИМ БАССЕЙНАМ

Показатели	Годы				
	1960	1970	1980	1990	1991
Донецкий бассейн					
Добыча общая, млн т/год	187,1	216,0	204,0	170,3	143,4
Количество действующих шахт	1088	868	703	302	302
Средняя добыча 1 шахты, т/сут	471,0	682,0	795,0	1626,0	1359,0
Количество действующих очистных забоев	2589	1890	1709	1500	1404
Средняя нагрузка на очистной забой, т/сут	198,0	313,0	327,0	316,0	278,0
Суммарное метановыделение из шахт, тыс.м ³ /сут	3650,0	6050,0	11700,0	12100,0	нет данных
Относительное метановыделение, м ³ /т	7,1	10,2	20,9	25,9	нет данных
Кузнецкий бассейн					
Добыча общая, млн т/год	65,9	82,4	88,8	83,5	62,5
Количество действующих шахт	190	206	162	75	75
Средняя добыча 1 шахты, т/сут	952,0	1098,0	1500,0	3202,0	2425,0
Количество действующих очистных забоев	921	701	488	302	281

Продолжение табл. 1.1

Показатели	Годы				
	1960	1970	1980	1990	1991
Средняя нагрузка на очистной забой, т/сут	196,0	322,0	499,0	642,0	540,0
Суммарное метановыделение из шахт, тыс.м ³ /сут	700,0	1100,0	1400,0	2010,0	нет данных
Относительное метановыделение, м ³ /т	3,9	4,9	5,8	8,8	нет данных
Карагандинский бассейн					
Добыча общая, млн т/год	25,8	38,4	48,6	39,8	36,0
Количество действующих шахт	109	81	79	27	77
Средняя добыча 1 шахты, т/сут	649,0	1295,0	1680,0	4492,0	4036,0
Количество действующих очистных забоев	188	174	165	112	106
Средняя нагрузка на очистной забой, т/сут	375,0	605,0	809,0	948,0	899,0
Суммарное метановыделение из шахт, тыс.м ³ /сут	1100,0	1400,0	1740,0	2010,0	нет данных
Относительное метановыделение, м ³ /т	15,6	13,3	13,1	18,4	нет данных
Печорский бассейн					
Добыча общая, млн т/год	17,6	21,5	28,2	29,3	23,6
Количество действующих шахт	69	60	51	19	19

Продолжение табл. 1.1

Показатели	Годы				
	1960	1970	1980	1990	1991
Средняя добыча 1 шахты, т/сут	702,0	977,0	1526,0	4427,0	3632,0
Количество действующих очистных забоев	162	99	79	68	68
Средняя нагрузка на очистной забой, т/сут	298,0	595,0	988,0	1174,0	983,0
Суммарное метановыделение из шахт, тыс.м ³ /сут	850,0	1250,0	1520,0	1580,0	нет данных
Относительное метановыделение, м ³ /т	17,6	21,2	19,7	19,7	нет данных

горно-геологических условиях — до 5000-8000 т/сут. Снижение производительности за последние годы обусловлено общим падением производства после 1985 г.

На газообильных шахтах СССР в 1990 г. средняя нагрузка на очистные забои, применяющие дегазацию, превышала 1000 т/сут. При этом абсолютная газообильность участков составила: в Печорском бассейне 4,2-23,3 м³/мин, в Карагандинском — 1,8-16,6 м³/мин, в Кузбассе — 12,3-21,0 м³/мин, Донбассе — 4,4-16,2 м³/мин. Расходы воздуха на участках, соответственно: в Воркуте — 900-2300 м³/мин, Караганде — 700-1800 м³/мин, Кузбассе — 360-830 м³/мин, Донбассе — 600-1400 м³/мин. Коэффициент дегазации по основным бассейнам следующий: в Воркуте — 65-72%, в Караганде — 27-60%, в Кузбассе — 14-81%, в Донбассе — 30-53%.

В настоящее время 85,4% всей подземной добычи угля в СНГ дают газовые шахты (число которых составляет 81,5% от общего), причем 61,4% — сверхкатегорийные и опасные по внезапным выбросам (59% от общего числа шахт). В ФРГ, где шахты считаются самыми высокопроизводительными в мире в последнее десятилетие, газовые шахты обеспечивают менее 10% от общей добычи [5]. Установлено, что капитальные затраты на 1 т добычи угля и себестоимость на газовых шахтах выше, чем на негазовых, соответственно, в 1,25-1,3 и в 1,5-2,5 раза, нагрузка на очистной забой ниже в 1,7-2,5 раза, производительность труда ниже в 1,3-1,4 раза.

Установлено, что высокопроизводительная работа механизированных лав по фактору газовыделения возможна на пластах с газоносностью, не превышающей 8-10 м³/т, при метановыделении из выработанного пространства не более 20%. В этом случае допустимая нагрузка на лаву по газовому фактору составит 600-700 т/сут на 1 м вынимаемой мощности пласта без применения мер по управлению газовыделением [2]. На современных глубинах природная газоносность достигает 16-25 м³/т, а доля газовыделения из выработанных пространств — 60-90%.

Возникает вопрос, каким комплексом мероприятий обеспечивается достаточно высокая нагрузка на очистной забой в условиях газообильных шахт? Каков удельный вес различных мероприятий вентиляции и дегазации в достижении конечного эффекта? Каковы, наконец, возможности и перспективы управления газовыделением различными способами в общем комплексе мер борьбы с метаном в шахтах с высокой концентрацией работ и производительностью?

Наиболее распространенные мероприятия в области вентиляции, позволяющие систематически поднимать ее эффективность, следующие:

- повышение общей интенсивности вентиляции за счет увеличения количества воздуха и средней скорости его движения по выработкам;
- применение рациональных схем вентиляции выемочных участков с целью аэродинамического управления газовыделением и обособленного проветривания выработок с источниками газовыделения;
- применение системы телеметрического контроля рудничной атмосферы, позволяющее использовать резервы, заложенные в предельно допустимых нормах концентрации метана в рудничной атмосфере;
- оперативное управление распределением воздуха в пространстве и времени, позволяющее повысить максимальные пределы скорости и количества воздуха и концентрации метана.

Повышение общей интенсивности вентиляции как наиболее простой метод борьбы с газовыделением в настоящее время используется до предела. Основным ограничением этого способа являются нормы предельно допустимых скоростей движения воздуха по выработкам. В связи с развитием механизации горных работ, сопровождающейся выводом людей из очистных забоев, предельная скорость воздуха в очистном забое, равная 4 м/с, может быть превышена, что отражено в действующих Правилах безопасности [6]. В связи с тем, что действующие нормы установлены, исходя из факта продолжительной работы людей в вентиляционном потоке, эти нормы, соответственно, могут быть повышены только либо при сокращении времени

работы людей, либо при их выводе из зоны интенсивной вентиляции.

Однако, во всех случаях повышение общей интенсивности вентиляции без изменения способов управления распределением воздуха быстро достигает своего предела. Можно считать, что этот предел ограничивается средней скоростью движения воздуха в очистном забое, равной 6 м/с. Этот уровень определяет «вентиляционный барьер» в современных механизированных шахтах. Допустимая нагрузка на очистной забой при мощности пласта $m = 1,9$ м и газообильности забоя $20 \text{ м}^3/\text{т}$ не превышает 660 т/сут [2].

Применение рациональных схем вентиляции выемочных участков является также широко распространенным мероприятием по управлению газовыделением. В СССР и за рубежом [7,8] в этом направлении проделана большая исследовательская работа и получены ценные результаты.

С точки зрения достижения конечного эффекта — обособленного проветривания источников газовыделения и, в первую очередь, обособленного проветривания очистных забоев и выработанных пространств. Близкими к идеальным являются схемы вентиляции, применяемые в США, характерной особенностью которых является полное оконтуривание выработанных пространств выработками с исходящими или обособленными струями воздуха и проветривание выработанных пространств от забоя. Это полностью исключает поступление метана из выработанных пространств в очистные забои, что (в зависимости от газового баланса) дает возможность при прочих равных условиях поднять допустимую по газовому фактору нагрузку на очистной забой в 1,2-4,0 раза, по сравнению с наихудшей в этом отношении возвратноточной схемой вентиляции при столбовой системе разработки.