

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК [622.411:622.274.3]:622.445

В.Т. Преслер

### СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА АЭРОГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ В УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

Безаварийная работа высокопроизводительных очистных забоев в значительной степени зависит от способности оперативно и эффективно перерабатывать потоки информации об аэрогазовом состоянии в горных выработках. Эта информация позволяет определить параметры моделей, характеризующих геомеханические, газокинетические и аэрогазовые процессы в выработках. При адекватности моделей реальным процессам открываются возможности оперативного прогноза аэрогазовой обстановки в отрабатываемом горном блоке и ее развития на основе поэтапного обобщения оперативных данных.

Интенсификация подземных работ актуализирует всестороннее развитие прогнозирующих качеств систем мониторинга и выдвигает задачу создания геоинформационной системы мониторинга аэрогазовой обстановки в горных выработках (ГИСМ АГО). Система базируется на моделях физических процессов в зонах ведения горных работ, математических средствах моделирования и прогнозирования картин аэрогазового состояния в этих зонах и геоинформационной среде, интегрирующей горно-геологические, маркшейдерские, технологические, модельные и оперативные (телеметрические) данные. Для ее создания необходим новый подход к моделированию процессов, учитывающий современный уровень исследований в области рудничной аэрологии и геомеханики и достижения в области информационных технологий.

#### **1. Геоинформационная стратегия эволюционного развития системы мониторинга аэрогазовой обстановки**

При создании ГИСМ АГО следует учитывать два важных момента.

Во-первых, используемые в угольных шахтах системы контроля рудничной атмосферы (СКРА), компьютеризированные типа "Монарх" фирмы "Трансмиттон", и аппаратура контроля параметров рудничной атмосферы "МЕТАН" [1, 2] относятся к системам закрытого типа, реализуя ограниченный набор функций сбора, регистрации и порогового контроля. Они не ориентированы на эволюционное развитие и решение прикладных задач мониторинга. В этом плане мощная техническая платформа компьютеризированных систем используется неэффективно.

Во-вторых, недостаточно обеспечен уровень сбора телеметрических данных. На выемочных участках отсутствуют датчики горного давления и недостаточно датчиков контроля метана по длине выемочного столба (протяженность 4-6 км) и линии очистных забоев (протяженность 150-300 м). При комбинированном проветривания ручным способом проводятся замеры концентрации метана и расхода воздуха на газоотсасывающем вентиляторе.

Недостаточность пространственной сети датчиков осложняет построение текущих и прогнозных картин аэрогазового состояния в выработках (особенно для динамических газо-

проявлений) и делает невозможным воссоздание картин геогазового состояния в зонах ведения горных работ. Следует учитывать, что геомеханический фактор играет определяющую роль в динамике аэрогазовых процессов на выемочном участке, а газодинамика процессов в призабойном пространстве непосредственно отражает особенности развития геомеханических процессов в приконтурной части угольного пласта.

Создание и развитие ГИСМ АГО – эволюционно-поэтапный процесс, реализуемый по мере развития прогностических моделей аэрогазового состояния в горном блоке и геоинформационной среды мониторинга [3, 4]. Этот процесс определяется темпами реализации пяти классов задач.

❖ *Полнота пространственной сети датчиков.* Для ее обеспечения необходимо:

1) установить на секциях механизированной крепи датчики горного давления (ДГД), контроля метана (ДКМ) и расходов воздуха (ДРВ) с шагом 50-70 м;

2) внедрить в угольный пласт на первых 300-500 м от монтажной камеры датчики горного давления на глубину нескольких десятков метров с шагом расстановки, соответствующим шагу посадки кровли;

3) создать мобильную систему сверхоперативного контроля (МССОК) газовыделения из разрабатываемого пласта, конструктивно связанную с комбайном (датчик перемещения и два датчика контроля метана впереди и позади комбайна

на расстоянии 5-7 м);

4) компьютеризировать съем данных с датчиков контроля метана и расхода воздуха на газоотсасывающем вентиляторе (ГВ).

❖ **Задачи макро-модельного прогнозирования (макро МП).** Включают моделирование процессов фильтрации метана в среде горного массива, моделирование распределенных газовых потоков в горном блоке и перераспределения пространственного вектора фильтрационных процессов в выработанном пространстве, предварительный прогноз картин аэрогазового состояния в проектируемых горных выработках по лавам-аналогам шахтных полей, находящихся в отработке, и квазианалогам полей, проектируемых в отработку.

❖ **Задачи мезо-модельного оперативного прогнозирования (мезо МОП).** Моделирование геогазовых процессов в окрестности очистного забоя и аэрогазовых процессов в очистной выработке, аэрогазодинамически активной и пассивной зонах выработанного пространства. Исследование влияния фактора нагрузки на геогазовые процессы в окрестности забоя и непрерывное оперативное прогнозирование различной срочности в пределах шага снятия нескольких стружек и до шага посадки кровли.

• **Задачи микромодельного оперативного прогнозирования (микро МОП).** Моделирование аэрогазовых процессов в очистном забое в ходе снятия стружки, выявление тенденций развития, пространственная локализация и прогноз динамических газопроявлений. Пространственно-временная дискретизация процессов определяется периодами снятия стружки и шагом установки секций механизированной крепи.

• **Инфоуровень.** В отличие от физических задач на нем моделируются и исследуются организационные структуры

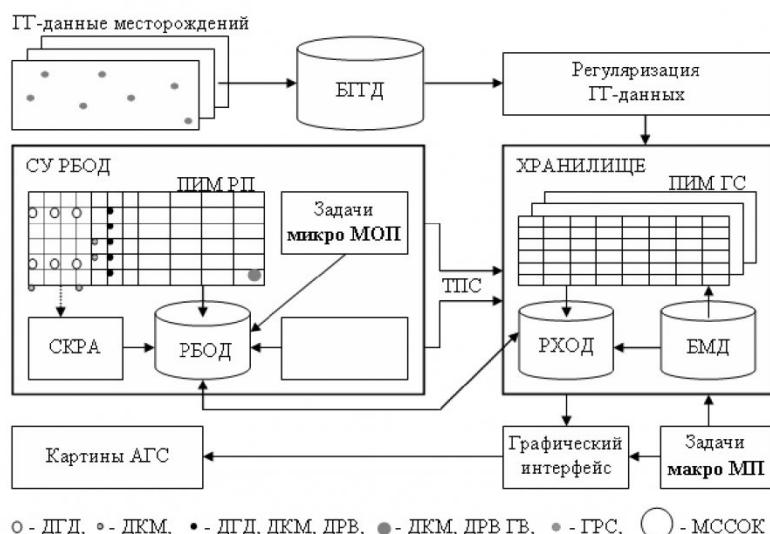


Рис. 1. Геоинформационная среда мониторинга аэрогазовой обстановки

данных, информационные потоки, межуровневые и внутриуровневые связи, обеспечивающие решение прикладных задач мониторинга в их единой пространственно-временной связи, определяемой ходом развития горных работ. В рамках прогнозирующих систем уровень проявляется в форме геоинформационной среды мониторинга, интегрирующей всю совокупность данных.

Геоинформационная среда мониторинга (рис. 1) опирается на пространственно-временную интеграционную модель горно-геологических, маркшейдерских и оперативных данных. Модель реализуется в форме распределенной базы данных, компоненты которой функционируют в виде взаимосвязанных модулей.

база горно-геологических данных (БГГД), аккумулирующая горно-геологические данные (ГГ-данные) месторождений и аппарат их регуляризации, система управления регулярной базой оперативных данных (СУ РБОД), хранилище интегрированных данных (ХРАНИЛИЩЕ) и графический интерфейс пользователя.

Горно-геологические данные организуются в виде нерегулярной модели древовидного типа, связывающей многоуровневую систему таблиц данных и отражающей возрастающую по уровням глубину их дифференциации, начиная с уровня месторождений и кончая уровнем стратиграфических колонок (рис. 2).

Здесь ГР-линия означает геологоразведочную линию, а



Рис. 2. Структурная модель горно-геологических данных

понятие "Пласт" охватывает широкий спектр структур, включая угольные пласти и пропластики как целое, угольные и породные прослойки, как составляющие части этого целого, междупластья как целое, так и составляющие его части в виде отдельных пород.

БГГД аккумулирует нерегулярную информацию, рассредоточенную по множеству геологоразведочных скважин (ГРС) месторождений в пределах, например, Кузбасса. Аппарат регуляризации преобразует ее в регулярный вид и дифференцирует по шахтным полям в виде регулярных пространственных информационных модулей (ПИМ) геологических структур (ГС), согласно стратиграфии горного массива. БГГД реализуется на основе централизованной реляционной технологии, но функционирует в виде автономных регулярных ПИМ ГС шахтных полей.

Нерегулярная модель отражает в основном статичную информацию – газокинетические и геомеханические характеристики пластов (в широком смысле) в нетронутом массиве. В отличие от нее регулярная модель, представленная ПИМ ГС ориентируется на отслеживание и интеграцию протекающих во времени информационных процессов, отражающих в определенном смысле пространственно-временную динамику реальных физических процессов. Эта динамика условно протекает на двух уровнях – затухание процессов на отработанных участках и их активизация на поступивших в отработку смежных выемочных столбах, причем наибольшая активность соответствует непрерывно перемещающему пространству очистного забоя.

Подобная перемещаемая в пространстве шахтного поля периодичность активизации физических процессов, а, следовательно, и информационных процессов позволяет выделить базовый информационный объ-

ект модели, ранее обозначенный как пространственный информационный модуль - ПИМ. Пространственно ПИМ соответствует выемочному участку и включает подготовительные выработки, оконтуривающие лаву, разрабатываемый пласт, очистную выработку и выработанное пространство (активную и пассивную его части), а также зоны геологических нарушений разрабатываемого пласта.

ПИМ является регулярной структурой сетчатого типа. Его узлы отражают геоаэрогазовое состояние выемочного участка, его газокинетические, геомеханические и аэrogазодинамические характеристики, а также обобщенные оперативные данные в узлах, соответствующих местоположению датчиков, и значения параметров моделей, используемых для описания физических процессов, а ветви – аэрогазовые потоки. Взаимодействие участка с окружающим его массивом горных пород в плоскости разрабатываемого пласта реализуется через горизонтальные ветви, примыкающие к граничным узлам, а взаимодействие с массивом по вертикали – через совокупность вертикальных ветвей. Посредством ПИМ моделируется состояние любых пластов в пределах выемочного блока, только в этом случае узлы отражают газокинетическое, геомеханическое состояние пласта и его фильтрационные свойства. ПИМ выемочного участка информационно более насыщен и неоднороден в плане моделирования физических процессов, чем ПИМ смежного с разрабатываемым пластом.

Особенность ПИМ – его гибкая структура, позволяющая активизировать узлы при подвигании забоя с учетом движения зон газоистощающихся областей и деактивизировать их по мере затухания геоаэрогазовых процессов. Другая особенность ПИМ – "стыкуемость", позволяющая из отдельных модулей создавать развивающиеся

в пространстве (в соответствии с ходом горных работ) регулярные плоские модели отрабатываемого угольного пласта и объемные модели горного блока. При этом в соответствии с физическими уровнями, требующими различной пространственно-временной дискретизации моделируемых процессов, плоские модели разрабатываются каждого пласта, каждая из которых обеспечивает свой уровень детализации, объединяются в связанную плоскую трехслойную модель. В рамках этой модели реализуются процессы обобщения оперативных данных и наследования фактических свойств процессов и оптимизированных параметров моделей, использованных для решения задач в восходящем порядке от **микро МОП до макро МП**

Хотя регулярная модель ориентируется в первую очередь на решение прогностических задач, однако, не менее важен с научно-исследовательской точки зрения ретроспективный анализ прошлого, истории развития процессов, с целью изучения механизма их протекания и использования полученных знаний для совершенствования аппарата их моделирования. В этом аспекте регулярная модель должна содержать механизм управления историей. Здесь надо уточнить, что истории отработки выемочного столба (новая история) и шахтного поля в целом (старая история) требуют различные периоды ретроспектива и информационной насыщенности.

Для компьютеризации регулярной модели наиболее эффективна технология реляционного типа с объектно-ориентированным расширением [5]. Основным элементом проектируемой в рамках данной технологии регулярной базы оперативных данных (РБОД) является пространственная реляционная таблица (ПРТ) – компьютерный аналог ПИМ. Строки и столбцы ПРТ имитируют сетчатую структуру ПИМ, а ячейки его

узлы. При этом ячейка ПРТ отражает не само данное, а объект, содержащий совокупность данных и методы их обработки. Так как зоны ПИМ и отдельные его узлы (соответствующие, например, местоположению датчиков) неравнозначны по информационному насыщению и решаемым задачам, то и объекты ПРТ будут отличаться совокупностью данных и методами их обработки.

Плоская стыковка ПРТ создает пространственно развивающуюся в пределах шахтного поля реляционную таблицу, а вертикальная стыковка – объемно развивающуюся реляционную таблицу. Процесс стыковки ПРТ регламентируется ходом горных работ. В рамках ПРТ и развиваемых на их основе плоских и объемных реляционных таблиц пространственная динамика отработки шахтного поля, определяемая перемещениями очистного забоя и выемочного столба, проявляется в синхронном перемещении объектов и методов их обработки в рамках отдельных ПРТ и от одной ПРТ к другой. Для вновь создаваемой ПРТ в соответствии с уровнем ее стыковки генерируется совокупность объектов и методов их обработки. Будем различать три типа генерации. Статическая генерация, когда единовременно генерируется вся совокупность объектов, например, ПРТ пласта-спутника. Динамическая генерация, когда процесс генерации синхронизирован с перемещением очистного забоя, например, ПРТ основной кровли, в которой динамические процессы идут в окрестности очистного забоя. Комбинированная генерация, когда часть данных совокупности объектов ПРТ генерируется в момент ее создания, а остальная часть по ходу отработки выемочного столба, например, ПРТ выемочного участка. Создание ПРТ и статическая генерация объектов производится в соответствии с маркшейдерией горных выработок и посредством пространст-

венной аппроксимации горно-геологических данных, поддерживаемых системой управления БГГД.

Система управления регулярной базой оперативных данных (СУ РБОД) является централизованной системой, обеспечивающей пространственно-временное развитие РБОД, посредством стыковки ПРТ и генерации объектов и методов их обработки, и решение расширяемой группы прогностических задач микро- и мезо МОП, по мере создания методик прогноза и их промышленной апробацией. На уровне статической генерации реализуется взаимодействие двух разнотипных баз данных РБОД и БГГД. Управление РБОД и проведение оперативных прогнозов основывается на схеме каскадных триггеров, которые последовательно через регламентированные временные периоды, определяемые перемещением комбайна вдоль очистной выработки и выемочного столба, запускают различные процессы. К ним относятся порционная загрузка телеметрических данных из банка СКРА и их обобщенная обработка в соответствии с физическими уровнями, генерация объектов ПРТ, проведение прогнозов различной срочности и формирование оперативных прогнозных картин.

РБОД реализуется на основе ПИМ разрабатываемого пласта (ПИМ РП), которые в отличие от ПИМ ГС неоднородны и информационно более насыщены. ПИМ РП с различной степенью дискретизации моделирует перемещаемые зоны выемочного столба, в том числе, воздухоподающую, воздуховыдающую, очистную выработки, очистной забой, аэрогазодинамическую зону и выработанное пространство. ПИМ РП также отражает пространственную сеть датчиков горного давления, контроля метана и расхода воздуха, включая газоотсасывающий вентилятор, и в соответствии с типами оперативных про-

гнозов поддерживает несколько уровней (слоев) обобщения данных телеметрии.

Решение задач макро МП и части задач мезо МОП, выходящих за рамки СУ РБОД, производится клиентскими приложениями на основе регулярного ХРАНИЛИЩА оперативных данных (РХОД – регулярное хранилище оперативных данных), маркшейдерских данных и ГГ-данных, которое создается СУ РБОД и периодически обновляется по мере отработки участков выемочных столбов, соответствующих шагам посадки кровли. РХОД организуется на основе ПИМ ГС и реализуется как БД реляционного типа с объектно-ориентированным расширением. Само ХРАНИЛИЩЕ является централизованной мета-системой управления пространственно-временной базой совокупности этих данных (данные могут быть территориально и организационно разнесены) и обеспечивает помимо клиентских задач подготовку ПИМ разрабатываемого пласта (ПИМ РП) по данным базы маркшейдерских и технологических данных (БМД) и аккумуляцию данных о текущем и прогнозируемом состоянии (ТПС) на выемочном участке. ТПС отражается в виде картин аэrogазового состояния (АГС). Прогнозные картины, создаваемые СУ РБОД, сохраняются и накапливаются в специальной компоненте РХОД – банке прогнозных картин, откуда извлекаются по запросам пользователя. В информационном плане РХОД на метауровне в основном дублирует РБОД, но в функциональном плане в отличие от РБОД ориентируется исключительно на выполнение клиентских приложений. Подобное функциональное разделение полномочий между РБОД и РХОД и их централизованная структура позволяют значительно снизить потери времени на выполнение транзакций, а значит увеличить вычислительный ресурс оператора.

тивного прогнозирования в рамках СУ РБОД.

Графический интерфейс обеспечивает взаимодействие пользователя с геоинформационной средой мониторинга по определению маркшейдерских и технологических данных, решению задач макро МП и визуализации ТПС в виде картин АГС.

Геоинформационная среда мониторинга, представленная СУ РБОД, и ХРАНИЛИЩЕМ на основе РХОД и БМТД (БМД, включающая технологические данные), а также клиентскими приложениями ГИСМ АГО по моделированию физических процессов и решению прогнозистических задач, реализуются на базе клиент-серверной технологии в рамках локальной вычислительной сети шахты (ЛВСШ), функционирующей на платформе персональных компьютеров. В рамках корпоративной региональной сети ЛВСШ может поддерживать взаимодействие с ЛВС "ЭКОЛОГИЯ" (условно, поверхностная геоинформационная система экологического мониторинга окружающей атмосферы) и с ЛВС "НАУКА" (условно, некоторый центр, объединяющий научно-исследовательские коллективы разработчиков модельной и геоинформационной сред мониторинга), а также ЛВСШ других шахт и региональными органами управления (рис. 3). Как составная часть ЛВСШ может входить в корпоративную сеть угольной компании, но при этом сохраняется автономность ГИСМ АГО, ее привязка к конкретному шахтному полю. Количество шахт (соответственно шахтных полей), входящих в угольную компанию однозначно определяет количество конкретных реализаций системы.

Как следует из рисунка, модель ГИСМ АГО реализуется на трех специализированных серверах, каждый из которых отвечает за свой круг задач, и одном клиенте, который отвечает за визуализацию и интерпретацию

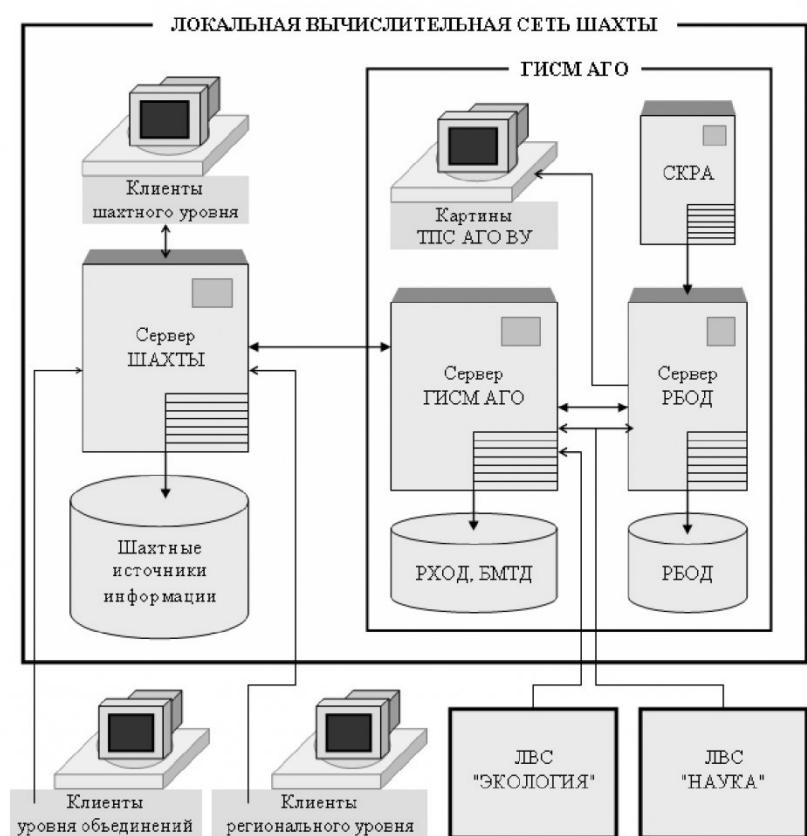


Рис.3. Модель реализации ГИСМ АГО в рамках локальных сетей шахт и корпоративных сетей угольных предприятий и региона

картин текущего и прогнозного состояния аэрогазовой обстановки на выемочных участках (ТПС АГО ВУ). Сервер СКРА отвечает за сбор телеметрических данных на выемочных участках и пороговый контроль текущего состояния. Сервер РБОД во взаимодействии с сервером СКРА отвечает за решение задач мезо- и микро МОП, а также взаимодействует с ЛВС "НАУКА". Сервер ГИСМ АГО во взаимодействии с центральным сервером шахты обеспечивает необходимую полноту горно-геологической, маркшейдерской и технологической информации и отвечает за регуляризацию ГГ-данных и решение задач макро МП, а также взаимодействует с ЛВС "ЭКОЛОГИЯ" и ЛВС "НАУКА". Взаимодействие с этими ЛВС является двунаправленным.

В ЛВС "ЭКОЛОГИЯ" сервер поставляет данные для оценки воздействия газовой обстановки выемочных участ-

ков на экологическое состояние территории, а из нее берет данные поверхностного экологического мониторинга по метану для решения прогнозных задач по фильтрационному распределению газовых потоков в отрабатываемом горном массиве.

В отличие от ЛВС "ЭКОЛОГИЯ" взаимодействие с ЛВС "НАУКА" носит гораздо более сложный характер. С одной стороны, "НАУКА" выступает в роли обычного потребителя информации, но использует ее для создания нового и совершенствования имеющегося модельного математического описания геомеханических и аэро-газодинамических процессов в отрабатываемом массиве горных пород и разработки прогнозистических моделей аэргазовой обстановки в шахте различной срочности. С другой стороны, "НАУКА" выступает в роли поставщика программных средств прогноза, посредством удаленного доступа встраивая-

мых в уже существующую информационную инфраструктуру ГИСМ АГО с целью их оперативной апробации и адаптации в рамках реальной среды функционирования. Успешная апробация новых программных средств в рамках одной шахты обеспечивает их быстрое продвижение и встройку в аналогичные системы других шахт.

## 2. Тактика поэтапной реализации геоинформационной системы

Поэтапная реализации ГИСМ АГО полностью определяются степенью развития пространственной сети датчиков и состоянием модельной и геоинформационной сред. Тактики поочередной реализации комплексов задач, начиная, например, с задач **макро МП**, в данном случае не проходят в силу неподготовленности технических, модельных и информационных средств. Целесообразна тактика поэтапной реализации задач **мезо МОП**. Для решения части задач этого уровня достаточно современная информационно-техническая база шахт. Тактика опирается на ряд теоретических положений.

**1. Картина аэрогазового состояния (АГС) выемочно-го участка – характеризует текущее состояние объекта по совокупности его аэрогазовых параметров (расходы воздуха, расходы метана и др.), поведение которых устанавливается по замерам расходов воздуха и концентраций метана в местах установки датчиков. Картина АГС описывает состояние объекта на некотором этапе его отработки и является основой для выявления тенденций и прогноза на последующем этапе. Картина отличается следующими свойствами.**

- *Регулярность* формирования картины и *регулярный* прогноз тенденций в развитии АГС. Фактор регулярности обеспечивает контроль аэрогазового состояния на всем протяжении отработки объекта и

непрерывное прогнозирование тенденций в развитии этого состояния на предстоящие этапы отработки.

- *Регулярность обновления данных*. Определяет периодичность прогноза, и заключается в удалении "старых" и добавлении "новых" данных. Проводится согласно периодам обновления данных, протяженность которых определяет смещение интервалов, используемых для наблюдения и обработки, по ходу времени. Период обновления всегда меньше периода обработки и в его качестве используется период стружки, когда интервалом наблюдения является декастружка, и период декастружки, когда интервалом наблюдения является период нескольких декастружек. Периоды удаления и добавления данных могут не совпадать, поскольку соответствуют стружкам (декастружкам), снятых при разных нагрузках на забой.

- *Установление периода прогноза*, соизмеримого с периодом обработки данных объективно повышает надежность прогнозной картины, не допуская ее выхода за пределы диапазона, равнозначного по протяженности интервалу наблюдения объекта.

- *Формирование одноФакторных* (по времени или по нагрузке) и *двухфакторных* (по времени и по нагрузке) картин и проведение согласно им одноФакторных и двухфакторных оперативных прогнозов обеспечивает получение интегрированных, сжатых по одному из факторов, или дифференцированных, развернутых по фактограм, прогнозных картин АГС.

- *Использование моделей квадратичного типа* обеспечивает формирование картины АГС в виде функциональных зависимостей, устанавливающих связь между аэрогазовыми параметрами и факторами времени и нагрузки. Распространение области действия функциональных зависимостей за преде-

лы интервалов наблюдений дает прогнозную картину развития АГС на последующий период отработки объекта. Модели выявляют рост (спад) в тенденции развития АГС и темп этого развития.

- *Статистический анализ данных*. Используется для выявления значимости изменений параметра на интервале наблюдения, обеспечивающих возможность прогноза.

**2. Декастружка** в качестве временного интервала и **часовая** нагрузка на забой создают необходимые условия для разработки компьютеризированных методов оперативного прогноза картин АГС. Методы ориентируются на глубокую обработку оперативной информации о состоянии рудничной атмосферы и адаптируются по факторам динамичности газо-кинетических свойств разрабатываемого пласта. Использование **декастружки**, как базового объекта анализа и обработки, максимально сближает временной фактор реакции пласта на высокоскоростные возмущения с периодом анализа и обработки оперативных данных, адекватного меняющейся картине аэрогазового состояния в очистной выработке.

- *Декастружка*. Серия из десяти последовательно снятых стружек. Период снятия декастружки определяет минимальный интервал наблюдения и обработки данных. Посредством него синхронизируются изменения в АГС, характерные для объекта на данном этапе его отработки, со временем наблюдения за ним, достаточным для выявления тенденций его развития. Слишком малый интервал наблюдения не позволит выявить устойчивые изменения объекта, так же как слишком большой – "поглотит" особенности, характерные для данного этапа. Период декастружки, в силу своего вариационного характера, обусловленного переменной нагрузкой на очистной забой, адаптирует интервал на-

Таблица 1

Номер стружки	Период снятия стружки $T$ , час	Часовая нагрузка на забой $A$ , т/час	Максимальная концентрация метана $C_{ey}$ , %	Расход воздуха на исходящей $Q_{ey}$ , м <sup>3</sup> /мин	Максимальная газообильность участка $J_{ey}$ , м <sup>3</sup> /мин
1	2,30	280	0,65	800	5,2
2	2,15	295	0,70	780	5,5
3	2,10	300	0,80	810	6,5
4	2,05	305	0,85	820	7,0
5	2,05	305	0,80	800	6,4
6	1,95	315	0,95	800	7,6
7	2,30	280	0,70	770	5,4
8	1,95	315	1,00	780	7,8
9	2,05	305	0,80	810	6,5
10	2,10	300	0,90	800	7,2
Средние	$\bar{T} = 2,1$	$\bar{A} = 300$	$\bar{C}_{ey} = 0,851$	$\bar{Q}_{ey} = 795$	$\bar{J}_{ey} = 6,51$
Доверительные интервалы		$\delta A = 21$	$\delta C_{ey} = 0,21$	$\delta Q_{ey} = 30$	$\delta J_{ey} = 0,53$
Статистический разброс		$A = 300 \pm 21$	$C_{ey} = 0,85 \pm 0,2$	$Q_{ey} = 795 \pm 30$	$J_{ey} = 6,5 \pm 0,53$

блюдения за объектом по фактору изменчивости его состояния.

Так, рост скорости подвигания забоя автоматически приводит к уменьшению периода обработки, поскольку период снятия декастрожки обратно пропорционален нагрузке, таким образом, уменьшается интервал наблюдения. И это оправдано, поскольку увеличение нагрузки интенсифицирует газокинетические и геомеханические процессы, обуславливая ускоренное изменение состояния объекта. Если декастрожка обеспечивает адаптацию интервала наблюдения к относительно быстрым изменениям картины АГС, то интеграция декастрожек – к более медленным ее изменениям.

- **Часовая нагрузка** на очистной забой, в отличие от суточной, на этапе перехода к высокопроизводительным технологиям добычи угля обеспечивает большую адекватность реакции разрабатываемого пласта на технологическое воздействие. Но при этом следует учитывать, что реакция массива горных пород не адекватна ни суточной, ни часовой нагрузке. В большей степени реакция массива адекватна шагам посадки непосредственной кровли,

которые по времени превышают период снятия декастрожки и соизмеримы с периодом снятия гектострежки. Его и следует принять за период наблюдения для прогноза газовыделения из массива и концентрации метана на газоотсасывающем вентиляторе.

**3. Математическое моделирование** процесса газовыделения из разрабатываемого пласта обеспечивает получение верхних прогнозных оценок газовыделения на выемочном участке в зависимости от состояния объекта на данном этапе его отработки и планируемых нагрузок на забой.

В качестве базовых используются модели удельного газовыделения через единичную поверхность забоя и отбитого и транспортируемого угля [6]:

$$q_n = q_n(t - \tau) = q_{n,0} e^{-\beta_n(t-\tau)} \quad (1)$$

$$q_m = q_m(\tau_m) = q_{m,0} e^{-\beta_m \tau_m} \quad (2)$$

где  $q_n$ ,  $q_{n,0}$ ,  $q_m$ ,  $q_{m,0}$  – соответственно удельное и мгновенное газовыделение через поверхности забоя и отбитого и транспортируемого угля, м<sup>3</sup>/мин.м<sup>2</sup>,  $\beta_n$ ,  $\beta_m$  – показатели спада га-

зовыделения через поверхности забоя и отбитого и транспортируемого угля, 1/час,  $t$  – текущее время с начала снятия стружки, час,  $\tau$  – момент образования новой поверхности в результате снятия стружки, час,  $\tau_m$  – время, прошедшее с момента отбойки некоторой массы угля, час.

Согласно моделям (1) и (2) справедливы следующие прогнозные оценки газовыделения

$$\begin{aligned} J_m^* &< \frac{A^*}{A} \cdot J_m, \\ J_n^* &\leq 1,6 \cdot \frac{A^*}{A} \cdot J_n \cdot \left(1 - e^{-T^*/T}\right), \\ J^* &\leq 1,6 \cdot \frac{A^*}{A} \cdot J \cdot \left(1 - e^{-T^*/T}\right), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $A$ ,  $A^*$ ,  $T$ ,  $T^*$  – фактическая и планируемая нагрузка на забой (т/час) и соответствующие им периоды снятия стружки (час),  $J$ ,  $J^*$  – фактическое и прогнозируемое газовыделение на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин,  $J_n$ ,  $J_n^*$ ,  $J_m$ ,  $J_m^*$  – фактическое и прогнозируемое газовыделение из разрабатываемого пласта и транспортируемого угля, м<sup>3</sup>/мин.

Прогнозные оценки (3) по-

лучены при условии постоянства газокинетических свойств пласта на данном этапе отработки лавы, что ограничивает их применение для единовременного прогноза по всей длине столба. Однако регулярное их использование совместно со статистической оценкой текущей газообильности участка в так называемом **макро-прогнозе по декастружке** обеспечивает широкие возможности по оперативному планированию нагрузок на забой вдоль всего выемочного столба.

В табл. 1 приведен фрагмент расчета по макро-прогнозу верхней прогнозной оценки газообильности выемочного участка для нисходящего проветривания по результатам телеметрических измерений при выемке декастружки в лаве 24-43 шахты им. Кирова.

Отрабатываемая лава определяется следующими технологическими данными: ширина снимаемой стружки  $h=0.8$  м, вынимаемая мощность пласта  $m=2.5$  м, длина лавы  $L=200$  м, планируемая нагрузка на забой  $A^*=A_{max}=380$  т/час ( $A_{max}$  - максимальная нагрузка на забой). Согласно этим данным планируемая нагрузка на забой составит  $T^*=T_{max}=1.66$  час.

Согласно статистическим оценкам верхняя фактическая оценка газообильности выемочного участка равна  $\hat{J}_{by}=8.7$  м<sup>3</sup>/мин. Для планируемой нагрузки разброс статистической газообильности составит  $J^c_{by}=8.3\pm0.7$  м<sup>3</sup>/мин, а максимальная прогнозная оценка газообильности равна  $J^*_{by}=9.7$  м<sup>3</sup>/мин.

**4. Установление временных функциональных зависимостей** для аэrogазовых параметров на различных интервалах наблюдения обеспечивает проведение серии прогнозов различной срочности - от периода декастружки до периода гектостружки. Зависимости устанавливаются на базе моделей квадратичного типа и используются для формирования

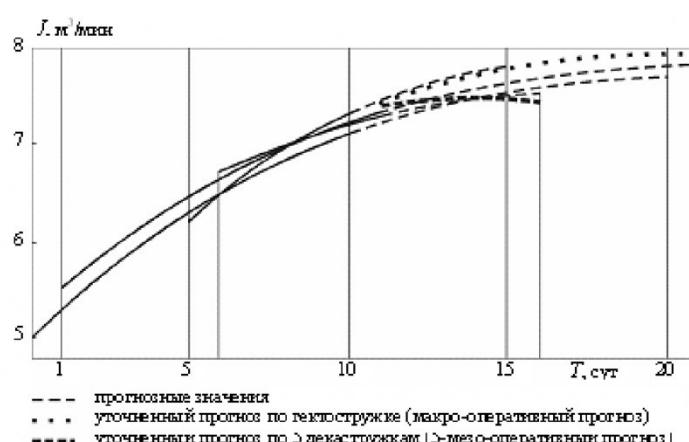


Рис. 4. Макро-оперативный и 5-мезо-оперативный прогнозы с уточнением

скользящих по времени прогнозных картин АГС различной срочности – от **сверх-** до **макро-оперативных** через серию **мезо-оперативных прогнозов**, определяемых периодом обработки данных. Эти свойства временного скольжения и срочности позволяют регулярно уточнять прогнозы и адаптировать их по фактору срочности с целью оптимального соответствия динамике аэрогазовых ситуаций.

На рис. 4 на основе телеметрических данных, полученных по лаве 24-43 шахты им. Кирова при средней нагрузке на забой 220 т/час проиллюстрирована работа макро-оперативного и 5-мезо-оперативного прогнозов с уточнением прогнозных результатов. Как следует из анализа графиков, результаты макро-оперативного прогноза до и после обновления данных достаточно близки (3%) и указывают на тенденцию роста газообильности очистной выработки со временем. Мезо-оперативный прогноз по 5-ти декастружкам до и после обновления данных также дает близкие результаты (5%), но в отличие от макро-оперативного его уточнение выявляет тенденцию снижения газообильности на исходе 5-х суток с момента проведения прогноза. Отметим и другую особенность – уточненные значения макро-оперативного прогноза очень хорошо “ложатся” на кривую

мезо-оперативного прогноза до обновления данных.

**5. Установление функциональных зависимостей аэргазовых параметров по нагрузке на забой** по декастружкам различной степени интеграции, обеспечивает формирование серии однофакторных текущих и прогнозных картин АГС. Сопоставление этих картин позволяет определить период обработки данных или степень интеграции, максимально соответствующие текущей ситуации и не выводящие прогнозируемую газообильность за порог, определяемый по результатам макро-прогноза на основе последней декастружки. Аппроксимация параметров моделей квадратичного типа, полученных по серии интегрированных декастружек, обеспечивает формирование серии двухфакторных текущих и прогнозных картин АГС. Полученные в рамках так называемого **N-интегрированного макро-прогноза** картины разворачиваются в пространстве времени и нагрузки поведение газообильности, а конкретизация приставки **N** конкретизирует степень интеграции декастружек. Как и в предыдущем случае, глубина **N-интегрированного макро-прогноза** с ростом нагрузки ограничивается верхней оценкой этой газообильности, полученной в результате макро-прогноза по декастружке, снятой на момент прогноза.

Рис. 5 иллюстрирует работу 3-интегрированного макро-прогноза на основе данных, полученных по лаве 24-43 шахты им. Кирова, с периодом обработки по времени 18 суток при нагрузке 200 т/час. Приведены срезы по времени  $\tau$  на начало, 9-е и 18-е сутки периода обработки данных, которые на интервале нагрузок 200-300 т/час являются результатом аппроксимации фактической газообильности очистной выработки, а на интервале нагрузок 300-400 т/час – результатом прогноза. Максимальная газообильность для каждого среза рассчитана по макро-прогнозу для нагрузки, увеличивающейся с 200 т/час до 400 т/час, на моменты времени  $\tau = 0$ , 9 и 18 суткам. Из анализа графиков следует:

- газообильность со временем растет, но темп ее роста замедляется;
- увеличение нагрузки на забой оказывает большее влияние на увеличение газообильности, чем изменение газокинетических свойств пласта;
- прогноз на отметке 360 т/час на 9-е сутки начинает “затягиваться”, хотя и не достигает своей максимальной величины. На 18-е сутки прогноз переходит свою пороговую газообильность, рассчитанную по макро-прогнозу.

Следует заключить, что использование 3-интегрированного макро-прогноза в данном случае не оправдано, поскольку его инерционность превышает динамику газокинетических процессов в пласте. На данном этапе отработки лавы целесообразен переход на мало инерционные 1- и 2-интегрированные макро-прогнозы.

В реализации задач **мезо МОП** следует выделить три этапа.

**Этап 1.** Компьютеризация макро-прогноза по декаструктурке на основе ручного или компьютеризированного ввода данных телеметрии. Выполняется в форме автономного программного средства.

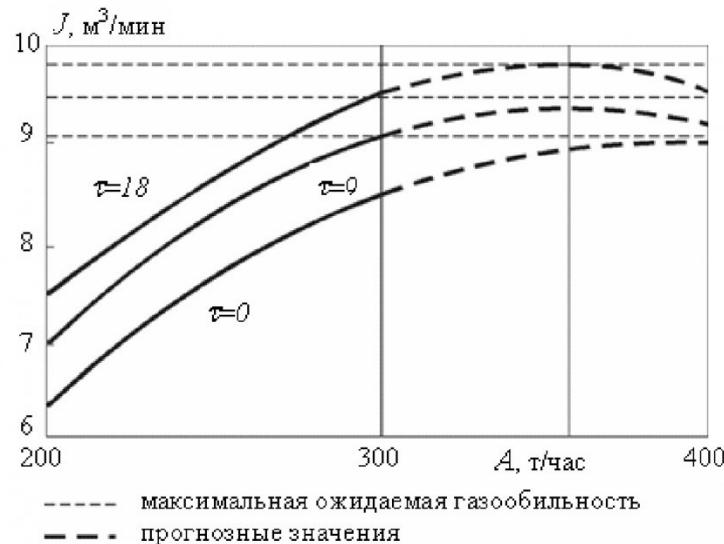


Рис. 5. З-интегрированный макро-прогноз газообильности

Макро-прогноз газообильности очистной выработки на очередном этапе отработки выемочного столба производится по серии из десяти стружек, последовательно снятых добывным комбайном, на основе данных телеметрии - диаграмм концентрации метана и расхода воздуха, полученных в местах

вымечного участка - нисходящее, восходящее и обособленное проветривание очистной и конвейерной выработок (рис. 7).

Для нисходящего проветривания (рис. 7, слева) датчик контроля метана на исходящей струе очистной выработки непосредственно характеризует

установки датчиков контроля в горных выработках. Для оценки газовыделения используются его максимальные значения в снятой стружке (рис. 6). Прогноз проводится в соответствии с действующей на шахте схемой комбинированного проветрива-

ния газовыделение из очистной выработки. Источниками газовыделения являются разрабатываемый пласт, отбитый и транспортируемый в пределах очистного забоя уголь. Датчик контроля на исходящей струе выемочного участка характеризует

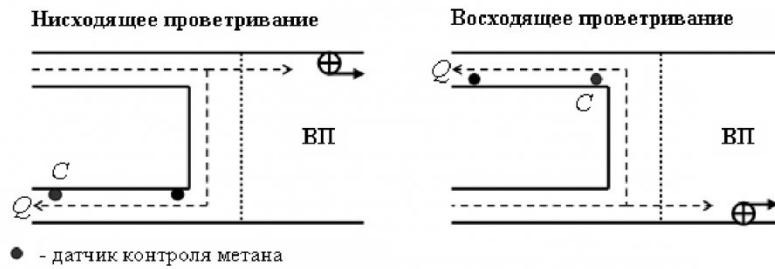


Рис. 7. Схемы комбинированного проветривания

суммарное значение газовыделения из очистной выработки и транспортируемого угля в конвейерном штреке. Датчик контроля на входе в очистной забой дает концентрацию метана в воздушной смеси, подаваемой в очистной забой. На рисунке ВП – выработанное пространство.

Для восходящего проветривания (рис. 7, справа) датчики контроля метана на исходящих струях очистной выработки и выемочного участка характеризуют суммарное значение газовыделения из очистной выработки и транспортируемого угля в конвейерном штреке. Однако из-за конвективно-диффузионных условий массопереноса аэrogазовой смеси на протяженном интервале, газовыделение, значение которого характеризует датчик контроля на исходящей струе выемочного участка, носит более сглаженный и менее интенсивный характер, чем газовыделение, определяемое датчиком контроля метана на исходящей струе очистной выработки. Датчик контроля на входе в очистной забой характеризует газовыделение из транспортируемого угля в конвейерном штреке.

Для обособленного проветривания датчики контроля метана на исходящих струях очистной выработки и выемочного участка характеризуют суммарное значение газовыделения из очистной выработки и транспортируемого угля на участке конвейерного штрека, расположенного между воздухоподающей сбойкой и входом в очистной забой. Характер газовыделения отличается уже отмеченной выше особенностью. Датчик контроля на входе в очистной забой характеризует газовыделение из транспортируемого угля на участке конвейерного штрека между сбойкой и входом в очистной забой. Датчик контроля на исходящей струе конвейерного штрека характеризует газовыделение из транспортируемого угля в конвейерном штреке на протяженном

участке, расположенным между сбойкой и центральными выработками.

Для всех схем проветривания расходы воздуха на исходящих струях выемочного участка и очистной выработки совпадают. Для обособленного проветривания расход воздуха, подаваемый в конвейерную выработку, совпадает с расходом воздуха на исходящей струе

для решения задач прогноза газовыделения по лаве-аналогу. Таким образом, в базе после отработки участка будут одновременно существовать два набора данных – полная и сокращенная их версия. В-третьих, числовые данные (все исходные и результирующие данные отдельного макро-прогноза занимают 1 Кбайт, а трансформированного прогноза – 100 байт)

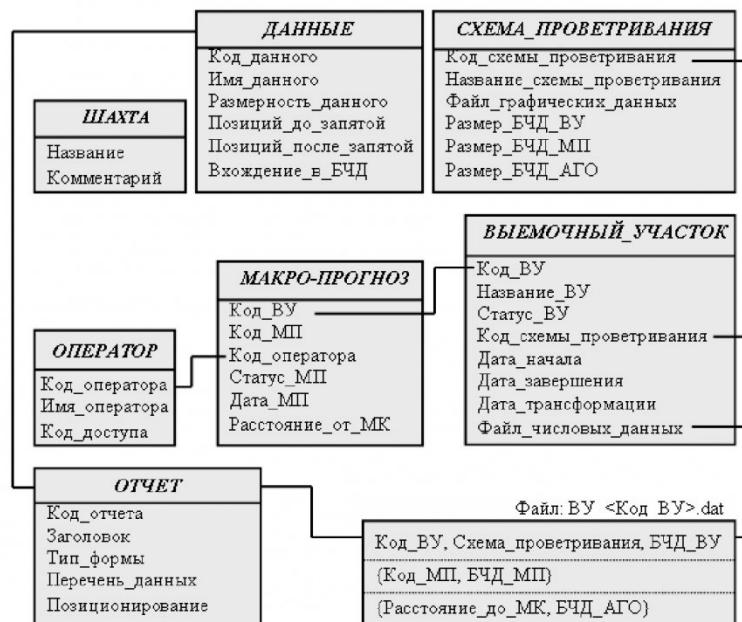


Рис. 8. Концептуально-логическая модель БД МП АГО

конвейерного штрека.

Макро-прогнозирование в рамках автономного программного средства и анализ аэrogазовой обстановки в ходе отработки выемочного столба апостериори производится на основе базы данных макро-прогнозов и аэrogазовой обстановки (БД МП АГО), которая имеет три особенности. Во-первых, база последовательно и программно наполняется данными проведенных макро-прогнозов по мере отработки выемочных участков. Во-вторых, после отработки отдельного выемочного участка, данные макро-прогнозов трансформируются в данные аэрогазовой обстановки - подмножество исходного набора данных. Эти данные используются вне рамок программного средства

выводятся за рамки базы и организуются в специальных файлах прямого доступа, при этом параметры доступа к данным определяются в самой базе. На рис. 8 приведена концептуально-логическая модель базы данных, которая полностью отражает информационную структуру данных (объекты, содержание, назначение) и их взаимодействие.

По существу объекты базы отражают следующее.

**ШАХТА** – интерпретируется как вход в базу.

**ДАННЫЕ** - все вводимые исходные и результирующие данные, включая и промежуточные расчетные, их визуализация и вхождение в базу (либо непосредственно, либо через файлы числовых данных с произвольным доступом).

**СХЕМА ПРОВЕТРИВАНИЯ** - представляет схемы, используемые при комбинированном проветривании, их графическую визуализацию и объем данных, необходимый для проведения и представления макро-прогноза по каждой схеме проветривания.

**ОПЕРАТОР** - регламентирует список лиц, допущенных к проведению прогнозов и их полномочия.

**МАКРО-ПРОГНОЗ** - отвечает за сохранение всех проведенных на выемочном участке прогнозов и их временную последовательность, представленную и датой проведения и отходом от монтажной камеры.

**ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК** - отвечает за регламентацию прогнозов по выемочным участкам и их связывание с файлами числовых данных, хранящих исходные и результатирующие данные проведенных прогнозов.

**ОТЧЕТ** - характеризует все возможные отчеты по проведенному прогнозу, выбор конкретного отчета определяется оператором.

На рис. 9 развернуто главное меню, регламентирующее действия пользователя по работе с программным средством. Все его внешние функции интегрированы по группам, которые в форме запросов отражают отдельные цельные этапы работы программы. Выделены следующие запросы - группы функций или операций ОПЕРАТОР, ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК, СХЕМА ПРОВЕТРИВАНИЯ, МАКРО-ПРОГНОЗ, АНАЛИЗ, ОТЧЕТ, ОКНО и СПРАВКА. Запрос ОПЕРАТОР создает и работает со списком операторов, допущенных к проведению макро-прогнозов. Запрос ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК отвечает за ведение выемочных участков и регламентацию действий с ним в ходе его отработки.

Запрос СХЕМА ПРОВЕТРИВАНИЯ работает со списком схем проветривания из БД (НП

- нисходящая, ВП – восходящая, ОП - обособленная), обеспечивая графическую визуализацию выбранной схемы на основе ее графического файла.

Запрос МАКРО-ПРОГНОЗ непосредственно обеспечивает проведение отдельного макро-прогноза, включая ввод и редактирование исходных данных по нему, получение результатирующих данных, их визуализацию и сохранение в базе. Запрос АНАЛИЗ на базе ОЛЕ-автоматизация с Microsoft Excel обеспечивает проведение двух типов графического анализа - Анализ МП и Анализ АГО. Анализ МП проводится в ходе отработки выемочного столба и после его завершения, а Анализ

АГО - только после завершения его отработки. Эти анализы проводятся по совокупности результирующих данных макро-прогнозов и отличаются в основном временем их накопления, детализацией источников газовыделения и целевым назначением. Детализированный Анализ МП ориентируется на выявление зависимости газовыделения из источников от нагрузки на забой и установление степени адекватности оценок нелинейного (верхние оценки (3)) и линейного статистического прогноза фактическому газовыделению для повышенных нагрузок в случае их достижения в забое. Анализ АГО ориентируется на апостериорную

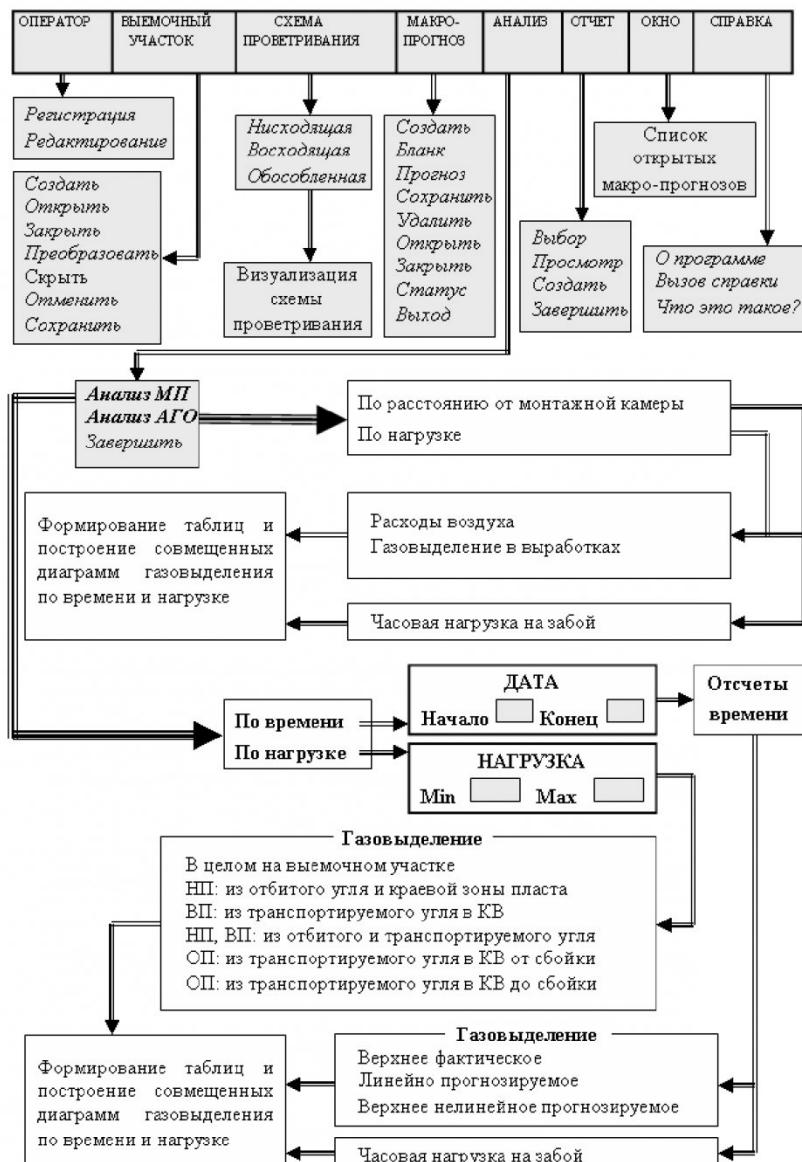


Рис. 9. Схема операций по проведению и анализу макро-прогнозов

обработку фактических значений газовыделения и расходов воздуха в выработках с целью получения их аэрогазовой картины вдоль всего выемочного столба либо в зависимости от расстояния до монтажной камеры и в сопоставлении с фактической нагрузкой на забой, либо чисто от нагрузки на забой.

Запрос ОТЧЕТ отвечает за формирование отчетов различной степени детализации и формы (по усмотрению оператора) на базе OLE-автоматизации с Microsoft Word. Запрос ОКНО ведет список одновременно открытых ранее проведенных прогнозов и обеспечивает оператору запуск одного из них в работу. Запрос СПРАВКА организован по типу Windows-справок и выполняет аналогичные функции.

**Этап 2.** Компьютеризация всей совокупности оперативных прогнозов (часть задач **мезо МОП**) на основе канала доступа к данным телеметрии, аккумулируемых в СКРА.

Этап выполняется в форме автономного программного средства, встраиваемого в СКРА, либо функционирующего на отдельном ПК, имеющем канал доступа к данным телеметрии.

метрии СКРА. В первом случае обеспечивается непосредственный доступ к оперативным данным, во втором – сетевой доступ. При этом в основном сохраняются рассмотренные выше внешние функции, только ручной ввод данных заменяется на компьютеризированный ввод, расширяются рамки прогнозов (включаются прогнозы непрерывного действия и различной срочности, ориентированные на учет непостоянства газокинетических свойств пласта), расширяются рамки проводимых типов анализа и добавляется прогноз по лаве-аналогу.

**Этап 3.** Компьютеризация комплекса задач **мезо МОП** – начальная стадия ГИСМ АГО.

На этапе реализуется комплекс задач **мезо МОП**, включая оперативные прогнозы, задачи конвективно-диффузионного массопереноса и слоевых скоплений метана в аэрогазодинамически активной зоне выработанного пространства и фильтрации в наращиваемой пассивной части выработанного пространства. Решение задач массопереноса и фильтрации в активной и пассивной частях выработанного пространства определяется наличием датчи-

ков контроля метана и расхода воздуха на секциях крепи. Центр реализации переносится на клиент-сервер и хранилище данных, в рамках которых создаются СУ РБОД и РХОД (регулярные базы и хранилище оперативных данных). СКРА, как аккумуляторы данных телеметрии, сохраняют свою роль, но при этом обеспечивается сетевой канал доступа к этим данным со стороны сервера, по которому производится регулярная порционная их загрузка в РБОД. На этом же этапе формируется база горногеологических и маркшейдерских данных месторождений, которая после регуляризации данных рассредоточивается по шахтным полям. Шахтовые компоненты базы как самостоятельные единицы поддерживаются в РХОД ГИСМ АГО соответствующей шахты. Реализация геогазовых задач, устанавливающих влияние геомеханических процессов в окрестности очистного забоя на кинетику газовыделения, в первую очередь определяется введением в систему телеметрии датчиков горного давления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерная система контроля окружающей среды //Безопасность труда в промышленности, 1997, №2.
2. ТД Автоматика. КИПиА. Автоматизированный комплекс контроля рудничной атмосферы АКМР – М. 2001.
3. Преслер В.Т. Информационно-математическая среда прогноза газопроявлений в угольных шахтах. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. –228 с.
4. Информационно-графический подход к автоматизации методов текущего прогноза газодинамической активности пласта. /Преслер В.Т., Гарнага А.В. //Международная научно-практическая конференция “Перспективы развития горнодобывающей промышленности”, Новокузнецк, 1999. с. – 11-14.
5. Алан Р. Саймон. Стратегические технологии баз данных: менеджмент на 2000 год: Пер. с англ. /Под ред. и с предисл. М.Р. Когаловского. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 475 с.: ил.
6. В.Т. Преслер, С.С. Золотых, Г.Г. Стекольщиков. Оперативный прогноз газообильности выемочных участков при комбинированном проветривании. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2001. – 63 с.

□ Автор статьи:

Преслер

Вильгельм Теобальдович

- докт.техн.наук, проф. каф. ИиАПС,  
ведущий научный сотрудник Института  
угля и углехимии СО РАН