МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

gost.e-ecolog.ru

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
Институт геотехнической механики

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

Киев Наукова думка 1982

УДК 622.411.33.001.57

Методические рекомендации по прогнозированию и исследованию динамики газовыделения в очистном забое / АН УССР. Ин-т геотехнической механики; Сост. Грецингер Б.Е., Волков В.И., Андрейченко Т.А. Киев: Наук.думка, 1982. - 44 с.

Изложены теоретические основы метода прогнозирования и исследования газодинамического процесса при ведении очистных работ, результаты его апробации и рекомендации по снижению метанообильности лавы и повышению нагрузки на очистной забой по газовому фактору, полученные на базе математического моделирования. Предлагаемый метод характеризуется достаточно высокой надежностью результатов, требует для своей реализации небольшого числа исходных данных и позволяет производить расчет динамики газовыделения в очистном забое с дифференциацией по основным источникам (угольный массив и добытый уголь) при любом режиме работы угледобывающего агрегата.

Для работников научно-исследовательских и проектных организаций.

Ил.5, табл.I.

Составители

Б.Е.Грецингер, В.И.Волков, Т.А.Андрейченко

Ответственный редактор

А.В.Боровский

М 2504030100-601
M221(04) - 82

(C) Издательство "Наукова думка", 1982

П Р Е Д И С Л О В И Е

Проектирование проветривания выемочных участков и шахт, в целом, разработка способов предотвращения или снижения величины метановыделения и управления им во времени и в пространстве, обоснование теоретических основ и практических мер повышения эффективности использования воздуха, подаваемого во все звенья вентиляционной сети шахты, не могут быть осуществлены без достоверных данных о газообильности горных выработок, закономерностях формирования газового баланса, динамике и степени неравномерности газовыделения из основных его источников и количественном влиянии различных факторов на газодинамические процессы.

Метод прогноза метанообильности горных выработок, используемый проектировщиками и практиками в соответствии с действующими нормативными документами, позволяет рассчитывать величину ожидаемого газовыделения в пределах выработок выемочных участков лишь в статике и к тому же (что очень важно) без его дифференциации по источникам поступления во времени и в пространстве. Это создает большие трудности на стадии проектных разработок при обосновании целесообразности применения (с целью достижения высоких нагрузок на очистные забои) схем вентиляции с обособленным проветриванием основных объектов выделения метана: выработанного пространства, очистного забоя, участковых и общешахтных транспортных выработок.

Создание и внедрение скоростных скребковых и ленточных конвейеров позволяет за более короткие промежутки времени удалять добытый уголь из призабойного пространства, а также из выработок, по которым он транспортируется в пределах выемочного участка и шахты. При применении обособленных схем проветривания метан, выделяющийся из добытого угля в пределах транспортных выработок, не поступает в лаву, что имеет существенное значение при высоких нагрузках на очистные забои. Поэтому возникает необходимость в объективной оценке величины газовыделения из добытого угля за

период его транспортирования вне очистного забоя, чего не позволяет сделать действующий метод прогноза газовыделения. Поэтому с целью выявления характера влияния различных факторов (в первую очередь технологических параметров ведения очистных работ) на процесс газовыделения из обнаженного угольного массива и из добытого угля в последние десятилетия выполнен большой объем исследований газодинамических процессов как в нашей стране, так и за рубежом. В результате этих исследований установлена существенная нестационарность во времени процесса газовыделения из угольного массива и из добытого угля. Для описания изменения скорости газовыделения во времени предложено множество разнообразных зависимостей: степенных, показательных, а чаще всего гиперболических и экспоненциальных. На основе этих зависимостей разработано большое число математических моделей и методов предрасчета газовыделения из угольного массива и добытого угля в подготовительные и очистные выработки. Однако большинство этих методов и моделей базируются на априорном предположении о постоянстве начальной удельной скорости газовыделения из массива и из добытого угля. Это представление не противоречит физическому смыслу реального явления лишь для свежеобнаженного угольного массива, а для добытого угля приводит к погрешности как в расчетах, так и в интерпретации результатов моделирования, причем с внедрением высокопроизводительной угледобывающей техники, работающей по челноковой схеме, и повышением нагрузки на очистные забои степень значимости ошибки существенно возрастает. Кроме того, многие из известных моделей отрицают нестационарный характер интенсивности газовыделения из старообнаженной поверхности угольного массива (впереди комбайна), что также отрицательно сказывается на степени их адекватности. Следствием таких допущений явилось получение отдельными исследователями противоречивых, а иногда и ошибочных выводов, например в вопросах влияния интенсивности угледобычи на газообильность очистных выработок, выборе оптимальных режимов работы выемочных машин и др.

Разработанный в ИГТМ АН УССР и изложенный ниже метод прогнозирования и исследования динамики газовыделения в очистном забое в процессе угледобычи лишен указанных выше недостатков. Он базируется на математическом моделировании, имитирующем с максимальной достоверностью физические основы реальных явлений, и включает минимальное число исходных параметров.

Метод предназначен для использования научно-исследовательскими и проектными организациями при прогнозировании ожидаемого газовыделения в очистных забоях при любом наперед заданном режиме работы угледобывающего агрегата (УДА) с дифференциацией по основным источникам поступления метана (массив, добытый уголь) во времени и в пространстве при обосновании способов и практических мер борьбы с газом и при изыскании путей повышения нагрузки на очистные забои по газовому фактору.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Абсолютная газообильность, $м^3$/мин:

q – суммарная по выемочному участку

q_0 – суммарная по очистному забою

$q_м$ – обусловленная метановыделением из угольного массива ($q_{м.св}$ – из свежеобнаженной его части; $q_{м.ст}$ – из старообнаженной части)

$q_у$ – обусловленная метановыделением из добытого угля

$q_{в.п}$ – обусловленная метановыделением из выработанного пространства

Газокинетические параметры угольных пластов:

Газоносность, $м^3$/т;

x – природная

$x_{ост}$ – остаточная

x_0 – расчетная при моделировании ($x_0 = x - x_{ост}$)

$x_м$ – угольного массива

$x_у$ – добытого угля

Константы газоотдачи, 1/мин:

α – угольного массива

β – добытого угля

Параметры ведения очистных работ:

Горно-геологические:

m – мощность разрабатываемого пласта, м

γ – плотность угля, т/$м^3$

dG – масса элементарного объема добытого угля, т

Технологические и технические:

l – длина лавы, м

Δy_i – длина i-го участка лавы

r – ширина захвата угледобывающего агрегата (УДА), м

V_i и $\tilde{V}_i$ – скорость подачи УДА на i-ом участке лавы в исследуемом и предыдущем технологических циклах, м/мин

$\gamma_i = \frac{V_i}{\tilde{V}_i}$ – отношение названных выше скоростей

$V_т$ – скорость доставки угля по лаве, м/мин

$\varkappa_i = \frac{V_i}{V_т}$ – отношение скоростей движения УДА и доставки угля

A_i и $\tilde{A}_i$ – производительность УДА на i-м участке лавы в исследуемом и предыдущем технологических циклах, т/мин

k_g – коэффициент, характеризующий направление движения УДА в лаве и равный: "+1" – при встречном его движении с направлением доставки угля и "–1" – при спутном

Временные, мин:

t – текущее время

n и k – число интервалов работы и простоя УДА в исследуемом и предыдущем технологических циклах

T и $\tilde{T}$ – длительность исследуемого и предыдущего технологических циклов

R_j и $\tilde{R}_j$ – длительность i, j-го интервала работы УДА в исследуемом и предыдущем технологических циклах

P_i и $\tilde{P}_j$ – длительность i, j-го интервала простоя УДА в исследуемом и предыдущем технологических циклах

Δt – время дегазации угольного массива в предыдущем цикле

t_g – длительность транспортирования угля по выработкам с поступающей в лаву вентиляционной струей

t_y – время дегазации добытого угля

t' – момент скола элементарного объема угля

T_{a_i} и $\tilde{T}_{a_i}$ – момент начала работы УДА на i-м участке лавы в исследуемом и предыдущем технологических циклах

T_{c_i} и $\tilde{T}_{c_i}$ – момент окончания работы УДА на i-м участке лавы в исследуемом и предыдущем технологических циклах

T_{b_i} и T_{d_i} – моменты начала и окончания выхода угля, добытого на i-м участке, за пределы выработок с поступающей в лаву вентиляционной струей

$U(T_1, T_2) = \frac{1-sign[(t-T_1)(t-T_2)]}{2}$ – управляющий оператор, служащий для выбора временного интервала $[T_1, T_2]$, включающего рассматриваемый момент времени t

$\bar{U}(T_1<T_2)=\frac{1-sign(T_1-T_2)}{2}$ – управляющий оператор, определяющий расчетную формулу величины газовыделения из добытого угля, вид которой зависит от сочетания схемы проветривания участка и варианта вынемки и транспортирования угля

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При ведении очистных работ газовый баланс призабойного пространства слагается из метана, поступающего из угольного массива ($q_м$), добытого угля ($q_у$), вмещающих пород ($q_п$) и из выработанного пространства ($q_{в.п.}$), т.е.:

$$q_о = q_м + q_у + q_п + q_{в.п} \quad , м^3/мин$$

Удельный вес перечисленных источников колеблется в широких пределах. При отработке одиночных газоносных пластов и низких нагрузках на очистной забой (до 200–300 т/сут) основным источником метана является угольный массив, удельный вес которого достигает 60–90% суммарной газообильности лавы. Доля газовыделения из добытого угля при этом составляет 5–30%, а из вмещающих пород не превышает 5–10% от $q_о$. Наличие спутников разрабатываемого пласта существенно увеличивает общую газообильность очистного забоя, а удельный вес метановыделения из выработанного пространства, зависящий от множества факторов, может достигать 30–50%, а при применении схем проветривания вынемочного участка с выдачей исходящей из лавы струи на целик 80–90% от суммарного дебита газа.

С возрастанием нагрузки на очистной забой газовыделение увеличивается и удельный вес отдельных источников меняется. Поступление метана из вмещающих пород и выработанного пространства в призабойное с увеличением подвигания уменьшается. Тенденция к уменьшению ширины призабойного пространства и применение схем проветривания с выдачей исходящей струи из лавы в сторону выработанного пространства способствует тому, что в рабочей части лавы $q_п$ и $q_{в.п}$ становятся неощутимыми. Поэтому при интенсивной выемке газовый баланс призабойного пространства слагается из двух источников: угольный массив ($q_м$) и добытый уголь ($q_у$).

После обнажения груди забоя у вновь образовавшейся кромки пласта начинается дегазация угля с постепенным распространением в глубь массива. Глубина образующейся зоны дегазации зависит от коллекторских и фильтрационных свойств угольного пласта и скорости подвигания очистного забоя. Газоносность угля в этой зоне в любой момент времени t изменяется, постепенно снижаясь от природной (X) на границе зоны до остаточной $X_M(t-\tau)$ на кромке пласта.

При равномерной и непрерывной работе УДА за время цикла зона дегазации перемещается параллельно груди забоя на величину захвата, т.е. скорость перемещения фронта этой зоны равна скорости подвигания очистного забоя.

Таким образом, в момент времени t в газовыделении из любой части массива по длине лавы участвует объем угля шириной, равной глубине зоны дегазации, с переменной газоносностью от X до $X_M(t-\tau)$. Каждая тонна угля, находясь в массиве и постепенно переходя зону дегазации, изменяет свою газоносность от природной X до остаточной перед обнажением $X_M(t_i)(t_i$ – время между смежными обнажениями массива в данной точке). Это позволяет отнести суммарное газовыделение из угля, находящегося в зоне дегазации, к углю в зоне шириной, равной величине захвата, т.е. к добываемому углю, полагая его газоносность в момент обнажения равной природной X. Тем самым суммирование по объему угля в зоне дегазации заменяется суммированием по его газоносности, что не влияет на окончательный результат.

При неравномерном подвигании очистного забоя и работе УДА с простоями такое допущение приводит к погрешностям, величина которых (как показали контрольные расчеты) практически не влияет на точность получаемых результатов.

Технологический процесс добычи угля в лаве носит случайный характер и представляет собой последовательную смену состояний работы и простоев УДА. В зависимости от длительности интервалов непрерывной работы и простоев УДА и скорости его подачи газовыделение в лаве изменяется в значительных пределах. Поэтому одним из необходимых исходных условий при построении математической модели динамики газовыделения в очистном забое является априорное задание параметров технологического процесса, режимов работы УДА и средств транспорта добытого угля (по крайней мере в двух смежных циклах). Многочисленными исследованиями параметров технологического процесса угледобычи в лаве установлено, что

число и длительность интервалов работы (R_i) и простоев (P_i) УДА зависит от множества организационных горно-геологических, технологических и технических факторов, а плотность вероятности распределения их значений $f(R_i)$ и $f(P_i)$ подчиняется экспоненциальному закону

$$f(R_i) = \frac{1}{\bar{R}_i} \exp\left(-\frac{R_i}{\bar{R}_i}\right),$$

$$f(P_i) = \frac{1}{\bar{P}_i} \exp\left(\frac{P_i}{\bar{P}_i}\right).$$

Следовательно, выполнение указанного выше условия не вызывает затруднений, поскольку параметры технологического процесса априорно могут быть представлены в виде последовательности случайных чисел с известным, обусловленным заданной величиной нагрузки на очистной забой законом распределения их значений, получаемых с помощью ЭВМ или специальных таблиц.

Наиболее важным положением, принятым при разработке математической модели газовыделения в очистном забое, является установленная многими исследователями экспоненциальная закономерность изменения во времени газоносности угольного массива после его обнажения и добытого угля после его отторжения от массива

$$x_M(t) = x_0 \exp[-\alpha(t-\tau)], \qquad (1)$$

$$x_y(t) = x_H \exp[-\beta(t-\tau)]. \qquad (2)$$

Таким образом, основными исходными данными при математическом моделировании процесса газовыделения в очистном забое являются параметры ведения очистных работ и газокинетические параметры разрабатываемого угольного пласта: расчетная газоносность, равная разности природной и остаточной, а также константы газоотдачи массива и добытого угля, количественно характеризующие их способность отдавать содержащийся в них метан и зависящие от физико-химических свойств и степени метаморфизма угля.

Предлагаемый метод прогнозирования и исследования динамики газовыделения в очистном забое кроме математической модели включает экспериментально-аналитическую методику определения газоки-

нетических параметров пласта и составляющих газового баланса выемочного участка, отличающуюся от известных сравнительной простотой, малой трудоемкостью и достаточной надежностью и точностью получаемых результатов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

Математическая модель динамики газовыделения при ведении очистных работ. При построении математической модели исходными предпосылками являются:

поступление метана в призабойное пространство лавы происходит из угольного массива и транспортируемого добытого угля (газовыделение из выработанного пространства может быть рассчитано согласно действующим нормативным документам и учтено путем суммирования с газообильностью первых двух источников);

изменение во времени газоносности угольного массива после его обнажения и добытого угля после его отторжения от пласта подчиняется экспоненциальному закону и описывается зависимостями (I) и (2);

значения газокинетических параметров пласта известны (заданы);

режим работы УДА в двух смежных технологических циклах задан (известен);

каждый выемочный цикл начинается интервалом работы, а завершается интервалом простоя УДА, т.е. при последовательной нумерации этих временных промежутков первые из них имеют нечетные номера, вторые – четные;

продолжительность выемочных циклов – переменная, представлена суммой интервалов работы и простоя УДА: для исследуемого цикла

$$T = \sum_{i=1}^{n} (R_i + \rho_i),$$

для предшествующего цикла

$$\tilde{T} = \sum_{j=1}^{k} (\tilde{R}_j + \tilde{\rho}_j) ;$$

скорость подачи УДА постоянна внутри каждого интервала работы и изменяется от одного интервала к другому.

Ясно, что

$$\sum_{s=1}^{k} \tilde{V}_s \tilde{R}_s = \sum_{p=1}^{n} V_p R_p = l \ .$$

Для построения математической модели рассмотрим динамику газовыделения из угольного массива.

За произвольный промежуток времени $(t-\tau)$ из 1 т угля обнаженного массива с учетом зависимости (1) выделится следующее количество метана, м^3:

$$\Delta x_M = x_0 \left(1 - \exp[-\alpha(t-\tau)]\right) .$$

Следовательно, удельное газовыделение из массива, м^3/т мин

$$q'_{M.cв} = \frac{d(\Delta x_M)}{dt} = x_0 \alpha \exp[-\alpha(t-\tau)] . \qquad (3)$$

Каждая тонна угля массива с момента обнажения до момента, в который она будет отбита, выделит объем метана, равный разности расчетной и остаточной на кромке пласта газоносности с интенсивностью, определяемой уравнением (3). Дебит метана из участка массива, обнаженного за элементарный промежуток времени $d\tau$, равен произведению удельной скорости газовыделения (q'_M) на массу угля, включившегося в газовыделение или добытого за этот промежуток времени $(dG = \gamma m r V_i d\tau)$

$$dq_{M.cв} = q'_{M.cв} dG = \gamma m r V_i x_0 \alpha \exp[-\alpha(t-\tau)] d\tau , \qquad (4)$$

При ведении машинной выемки угля массив очистного забоя разделяется на свежеобнаженную (позади УДА) и старообнаженную (впереди УДА) части. Интенсивность газовыделения из каждой части массива в любой момент времени предопределена не только производительностью УДА в исследуемом цикле, но и скоростью его подачи на этом участке лавы в предшествующем. Таким образом, в ходе решения задачи очистной забой условно разделен точками остановок УДА в двух смежных циклах на N участков (Δy_i), в пределах которых

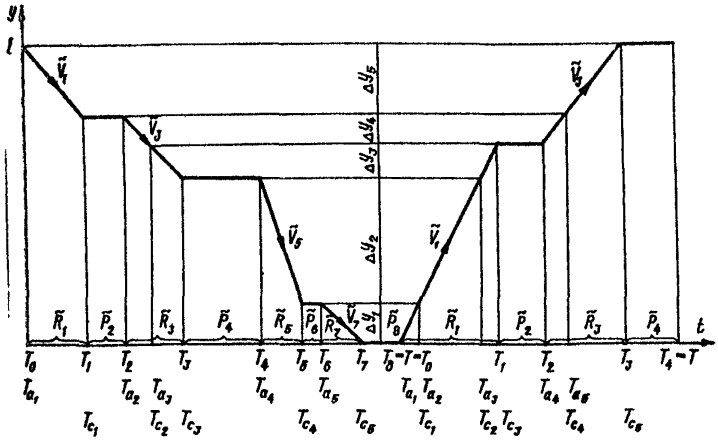

Рис. I.

скорости подачи УДА постоянны как в предыдущем, так и в исследуемом цикле, но в общем не равны друг другу (рис. I). Каждый из таких участков лавы характеризуется не только скоростью подачи УДА, но и моментами начала T_{a_i} и завершения T_{c_i} работы УДА на нем в исследуемом и предшествующем циклах. Эти временные параметры определяются по планограммам работы УДА в двух смежных циклах, построенных по набору случайных цифр с заданным законом распределения плотности вероятности.

Расчетную формулу для определения величины дебита метана из свежеобнаженной части массива в произвольный момент времени получим, воспользовавшись методом индукции.

При работе УДА на произвольном участке лавы Δy_i величину газовыделения из этого участка массива в любой момент времени $t \in [T_{a_i}, T_{c_i}]$ получим после интегрирования выражения (4)

$$q_{м.св_i} = \int_{T_{a_i}}^{t} dq_м = A_i x_0 \left(1 - exp[-\alpha(t - T_{a_i})]\right), \qquad (5)$$

где $A_i = \gamma m r V_i$, т/мин.

В начале технологического цикла при работе УДА на первом участке газообильность свежеобнаженного массива в момент времени $t \in [T_{a_1}, T_{c_1}]$ согласно (5) составит

$$q_{м.св.}(t) = A_1 x_0 \left(1 - exp[-\alpha (t - T_{a_1})]\right).$$

При работе УДА на втором участке, $t \in [T_{a_2} ; T_{c_2}]$

$$q_{м.св.} = A_1 x_0 exp[-\alpha (t - T_{c_1})]\left(1 - exp[-\alpha (T_{c_1} - T_{a_1})]\right) +$$
$$+ A_2 x_0 \left(1 - exp[-\alpha (t - T_{a_2})]\right).$$

Таким образом, величина газовыделения со второго участка Δy_2 во времени будет возрастать за счет увеличения его длины, интенсивность метанопоступления с уже отработанного первого участка будет падать согласно экспоненциальному закону.

По аналогии – при работе УДА на произвольном участке Δy_i газовыделение из всего свежеобнаженного массива в момент времени $t \in [T_{a_i}, T_{c_i}]$ имеет вид

$$q_{м.св.} = x_0 \sum_{j=1}^{i-1} A_j exp[-\alpha (t - T_{c_j})]\left(1 - exp[-\alpha (T_{c_j} - T_{a_j})]\right) +$$

$$+ x_0 A_i \left(1 - exp[-\alpha (t - T_{a_i})]\right). \qquad (6)$$

В любой момент времени технологического цикла ($t \in [T_0, T]$) при работе УДА на произвольном i-м участке лавы величина газовыделения из свежеобнаженного угольного массива определяется по следующей расчетной формуле:

$$q_{м.св.}(t) = x_0 \sum_{i=1}^{N} U(T_{a_i}, T_{c_i}) \left\{ \sum_{j=1}^{i-1} A_j exp[-\alpha (t - T_{a_j})] \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left(1 - exp[-\alpha (T_{c_j} - T_{a_j})]\right) + A_i \left(1 - exp[-\alpha (t - T_{a_i})]\right) \right\}. \qquad (7)$$

В момент окончания последнего интервала простоя УДА закончившегося цикла ($\tilde{T}$) и начала (T_0) первого интервала работы УДА в новом цикле ($\tilde{T} = T_0$) угольный массив будет свежеобнаженным (для завершившегося цикла) и старообнаженным (для начинающегося цикла). Поэтому расчетная формула величины газовыделения из старообнаженного угольного массива в момент начала технологического цикла легко получается из (7) в виде

$$q_{м.ст} = x_0 \sum_{j=1}^{N} \tilde{A}_j \exp\left[-\alpha(\tilde{t}-\tilde{T}_{c_j})\right]\left(1-\exp\left[-\alpha(\tilde{T}_{c_j}-\tilde{T}_{a_j})\right]\right). \qquad (8)$$

Отметим, что в этот момент времени величина газовыделения из старообнаженного угольного массива будет максимальной за период рассматриваемого технологического цикла.

С течением времени газовыделение из старообнаженной части массива снижается за счет истощения запасов метана (по экспоненте) и за счет уменьшения площади старого массива вследствие работы УДА в рассматриваемом цикле. УДА, проходя элементарный участок лавы ($dy_i = V_i d\tilde{t}$, м), уменьшает массу угля в старообнаженной части массива на величину

$$dG_i = V_i m r \gamma \, d\tilde{t} = A_i d\tilde{t}.$$

Этот уголь, находясь в массиве до момента времени t, отдавал бы метан с удельной скоростью

$$q'_{м.ст} = \alpha x_0 \exp\left[-\alpha(\Delta\tilde{t}+t)\right].$$

Время дегазации элементарного объема угля в предыдущем цикле ($\Delta\tilde{t}$), исходя из положения УДА в момент скола $\tilde{t}$ и режима его работы в предыдущем цикле, определяется по формуле

$$\Delta\tilde{t} = \tilde{T} - \tilde{T}_{c_i} + \tilde{z}_i(\tilde{t} - T_{a_i}).$$

Поскольку рассматриваемый объем угля был отделен от массива в момент времени $\tilde{t}$, к моменту времени t дебит метана из старообнаженной поверхности снизится за счет уменьшения ее площади на такую величину, м^3/мин:

$$q_{м.ст}(t) = x_0 \int_{T_{a_i}}^{t} A_i \alpha \exp\left[-\alpha(\tilde{T}-\tilde{T}_{c_i}+t)-\alpha\tilde{z}_i(\tilde{t}-T_{a_i})\right]d\tilde{t}.$$

При работе УДА на произвольном участке Δy_i снижение газовыделения из старообнаженного массива в момент времени $t \in [T_{a_i}, T_{c_i}]$ имеет вид

$$q_{м.ст} = x_0 \left\{ \sum_{j=1}^{i-1} \tilde{A}_j \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_j} + t\right)\right]\left(1 - \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T}_{c_j} - \tilde{T}_{a_j}\right)\right]\right) + \right.$$

$$\left. + \tilde{A}_i \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_i} + t\right)\right]\left(1 - \exp\left[-\alpha\zeta_i\left(t - T_{a_i}\right)\right]\right)\right\} . \qquad (9)$$

Вычитая (9) из (8) и обобщая полученное выражение для любого момента времени $t \in [T_0, T]$ цикла, получаем расчетную формулу для определения величины газовыделения из старообнаженной части угольного массива при работе УДА на произвольном i-ом участке очистного забоя

$$q_{м.ст} = x_0 \sum_{i=1}^{N} \left\{ U(T_{a_i}, T_{a_{i+1}}) \sum_{j=i+1}^{N} \tilde{A}_j \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_j} + t\right)\right] \times \right.$$

$$\times \left(1 - \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T}_{c_j} - \tilde{T}_{a_j}\right)\right]\right) + U(T_{a_i}, T_{c_i}) A_i \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_i} + t\right)\right] \times$$

$$\left. \times \left\langle \exp\left[-\alpha\zeta_i\left(t - T_{a_i}\right)\right] - \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T}_{c_i} - \tilde{T}_{a_i}\right)\right] \right\rangle \right\} . \qquad (10)$$

Суммируя метанопоступление из свежеобнаженной (7) и старообнаженной (10) частей угольного массива, получаем математическую модель динамики газовыделения из этого источника, позволяющую рассчитать дебит метана из него в любой момент технологического цикла ($t \in [T_0, T]$ при работе УДА на произвольном i-ом участке очистного забоя или в интервале его простоя. Эта математическая модель имеет вид

$$q_м(t) = x_0 \sum_{i=1}^{N} \left\{ U(T_{a_i}, T_{a_{i+1}}) \left[\sum_{j=1}^{i-1} A_j \exp\left[-\alpha(t - T_{c_j})\right]\left(1 - \exp\left[-\alpha(T_{c_j} - T_{a_j})\right]\right) + \right.\right.$$

$$\left. + \sum_{j=i+1}^{N} \tilde{A}_j \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_j} + t\right)\right]\left(1 - \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T}_{c_j} - \tilde{T}_{a_j}\right)\right]\right)\right] + U(T_{a_i}, T_c) \times$$

$$\times \left[A_i\left(1 - \exp\left[-\alpha(t - T_{a_i})\right]\right) + \tilde{A}_i \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_i} + t\right)\right] \times \right.$$

$$\left.\left. \times \left(\exp\left[-\alpha\zeta_i(t - T_{a_i})\right] - \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T}_{c_i} - \tilde{T}_{a_i}\right)\right]\right)\right]\right\} . \qquad (11)$$

Рассмотрим газовыделение из добытого угля. Газоносность добытого угля, м^3/т, изменяется во времени согласно зависимости (2), которую в развернутом виде (2) можно представить так:

$$x_y(t) = x_0 \exp[-\alpha(\Delta t + \tau)] \exp[-\beta(t-\tau)] . \qquad (12)$$

На основании формулы (12) легко получить выражение для определения удельного газовыделения; $м^3$/мин·т из добытого угля, аналогичное зависимости (3) в виде

$$q'_y = \frac{d}{d(t-\tau)} \left\{ x_0 \exp[-\alpha(\Delta t + \tau)] \exp[-\beta t_y] \right\} . \qquad (13)$$

Таким образом, дебит метана из добытого угля определяется временем его дегазации (t_y) или временем нахождения добытого угля в выработках с поступающей в лаву свежей струей воздуха. Это время, в свою очередь, зависит от применяемой схемы проветривания выемочного участка.

При схемах с обособленным проветриванием основных источников газовыделения добытый уголь после выхода из очистного забоя попадает в самостоятельный воздушный поток и выделяющийся из него метан в очистной забой не поступает. В этом случае время дегазации добытого угля равно времени его нахождения в пределах лавы и зависит от скорости доставки (скорости конвейера $V_т$) и направления выемки (сонаправленное или встречное с движением конвейера).

В процессе угледобычи для каждого из выделенных участков очистного забоя – Δy_i (см. рис.1) имеются два характерных момента времени: T_{g_i} – первый элементарный объем угля, добытый на этом участке, будет доставлен за пределы выработок со свежей струей воздуха и T_{d_i} – за пределы этих выработок выйдет весь уголь рассматриваемого участка. Легко показать, что эти параметры при обособленной схеме проветривания могут быть найдены по таким формулам:

при встречном движении УДА и конвейера

$$T_{b_i} = T_{a_i} + \sum_{j=1}^{i-1} x_j (T_{c_j} - T_{a_j}),$$

$$T_{d_i} = T_{c_i} + \sum_{j=1}^{i} x_j (T_{c_j} - T_{a_j}) ; \qquad (14)$$

при сонаправленном их движении

$$T_{b_i} = T_{a_i} + \sum_{j=i}^{N} \varkappa_j (T_{c_j} - T_{a_j}),$$

$$T_{d_i} = T_{c_i} + \sum_{j=i+1}^{N} \varkappa_j (T_{c_j} - T_{a_j}). \qquad (15)$$

Очевидно, что газовыделение из угля, добытого на произвольном участке Δy_i за период времени $[T_{a_i}, T_{c_i}]$ будет участвовать в газовом балансе призабойного пространства в интервале времени $[T_{a_i}, T_{d_i}]$. Этот интервал содержит три качественно отличных периода: первый - $[T_{a_i}, T_{b_i}]$ (уголь, добытый на i-ом участке накапливается), второй - $[T_{b_i}, T_{c_i}]$ (уголь добывается и одновременно удаляется за пределы свежей струи) и третий - $[T_{c_i}, T_{d_i}]$ (объем угля, добытого на выделенном участке, уменьшается до нуля со скоростью транспортирования его по выработкам со свежей струей воздуха).

Время дегазации угля, добытого в первый период, не зависит от направления выемки и равно $t_y = t - \tau$. В любой момент времени, принадлежащий двум последующим периодам $t \in [T_{b_i}, T_{d_i}]$, часть угля, добытого на i-ом участке до момента τ', будет доставлена за пределы свежей струи, другая часть угля, добытая в момент $\tau \in [\tau', t]$, находится в выработках со свежей струей.

Поскольку параметр τ' имеет большое значение для дальнейшего вывода конечных формул, необходимо выразить его через известные величины. После несложных рассуждений получаем

$$\tau' = \frac{t + k_g \varkappa_i T_{a_i} - (T_{b_i} - T_{a_i})}{1 + k_g \varkappa_i}, \qquad (16)$$

где k_g - коэффициент, учитывающий направление выемки угля относительно его доставки; $k_g = +1$ при встречной с доставкой выемке угля; $k_g = -1$ при сонаправленной с доставкой выемке угля.

Легко показать, что время дегазации угля, добытого до момента τ', равно $t_y = t - \tau'$, а уголь, добытый после τ', дегазируется в течение интервала

$$t_y = T_{b_i} - T_{a_i} + \varkappa_i k_g (\tau' - T_{a_i}). \qquad (17)$$

В процессе угледобычи возможен вариант, когда $T_{b_i} > T_{c_i}$, т.е. работа УДА на произвольном участке лавы Δy_i закончится до мо-

мента доставки за пределы свежей струи первого элементарного объема угля, добытого на этом участке. В этом случае интервал $[T_{a_i}, T_{d_i}]$ разделен на три периода: первый – $[T_{a_i}, T_{c_i}]$ (уголь, добытый на i-ом участке, накапливается); второй – $[T_{c_i}, T_{b_i}]$ (добытый уголь находится в пределах выработок со свежей струей) и третий – $[T_{b_i}, T_{d_i}]$ (количество угля, добытого на i-ом участке, уменьшается со скоростью транспортирования).

Каждому из проанализированных вариантов соответствует своя расчетная формула для определения величины газовыделения из добытого угля в призабойное пространство лавы. Подставив в выражение (13) значения времени дегазации угольного массива в предыдущем цикле $(\delta\bar{t})$, являющегося функцией местоположения УДА в лаве и времени дегазации добытого угля и продифференцировав его, получим набор формул, определяющих удельное газовыделение из добытого угля для рассмотренных выше вариантов. После интегрирования этих уравнений в соответствующих пределах и их обобщения получена математическая модель динамики газовыделения из добытого угля, позволяющая рассчитать величину дебита метана в произвольный момент времени технологического цикла при любом варианте выемки и транспортирования угля в виде

$$q_y = x_0 \sum_{i=1}^{N} A_i \exp\left[-\alpha\left(\bar{T}-\bar{T}'_{C_i}+T_{a_i}\right)\right]\frac{\beta}{\alpha(\zeta_i+1)-\beta}\Big\{U(T_{a_i},T_{b_i})\bar{U}(t<T_{C_i})\times$$

$$\times\left\langle\exp\left[-\beta(t-T_{a_i})\right]-\exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(t-T_{a_i})\right]\right\rangle+U(T_{b_i},T_{C_i})\left\langle\bar{U}(T_{b_i}<T_{C_i})\times\right.$$

$$\times\left[\exp\left[-\frac{\alpha(\zeta_i+1)+\beta k_b x_i}{1+k_b x_i}(t-T_{a_i})+\frac{\alpha(\zeta_i+1)-\beta}{1+k_b x_i}(T_{b_i}-T_{a_i})\right]-\exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(t-T_{a_i})\right]\right]+$$

$$+\bar{U}(T_{C_i}<T_{b_i})\exp\left[-\beta(t-T_{C_i})\right]\left[\exp\left[-\beta(T_{C_i}-T_{a_i})\right]-\exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(T_{C_i}-T_{a_i})\right]\right]\Big\rangle+$$

$$+U(T_{b_i},T_{d_i})\bar{U}(T_{C_i}<t)\left\langle\exp\left[-\frac{\alpha(\zeta_i+1)+\beta k_b x_i}{1+k_b x_i}(t-T_{a_i})+\frac{\alpha(\zeta_i+1)-\beta}{1+k_b x_i}(T_{b_i}-T_{a_i})\right]\right.$$

$$\left.-\exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(T_{C_i}-T_{a_i})-\beta(t-T_{C_i})\right]\right\rangle\Big\}\,. \qquad (18)$$

Как известно, формула (18) пригодна для расчета метанопоступления из добытого угля при применении обособленной схемы проветривания выемочного участка. В случаях, когда схема проветривания такова, что добытый уголь транспортируется по выработкам с по-

ступающей в очистной забой струей воздуха, время его дегазации увеличивается на время транспортирования t_g. Исходя из этого, выражение для определения дебита метана из добытого угля (18) примет вид

$$q_y(t) = x_0 \sum_{i=1}^{N} A_i \exp\left[-\alpha\left(\tilde{T} - \tilde{T}_{c_i} + T_{a_i}\right)\right] \frac{\beta}{\alpha(\zeta_i+1)-\beta} \Big\{ U(T_{a_i}, T_{b_i}+t_g)\,\bar{U}(t<T_{c_i}) \times \Big\langle \exp\left[-\beta(t-T_{a_i})\right] - \exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(t-T_{a_i})\right] \Big\rangle + U(T_{b_i}+t_g, T_{c_i}) \Big\langle \bar{U}(T_{b_i}+t_g<T_{c_i}) \times \Big[\exp\left[-\frac{\alpha(\zeta_i+1)+\beta x_i k_b}{1+k_b x_i}(t-T_{a_i}) + \frac{\alpha(\zeta_i+1)-\beta}{1+k_b x_i}(T_{b_i}-T_{a_i}+t_g)\right] - \exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(t-T_{a_i})\right] \Big] + \bar{U}(T_{c_i}<T_{b_i}+t_g) \exp\left[-\beta(t-T_{c_i})\right] \Big[\exp\left[-\beta(T_{c_i}-T_{a_i})\right] - \exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(T_{c_i}-T_{a_i})\right] \Big] \Big\rangle + U(T_{b_i}, T_{d_i}+t_g)\,\bar{U}(T_{c_i}<t) \Big\langle \exp\left[-\frac{\alpha(\zeta_i+1)+k_b x_i \beta}{1+k_b x_i}(t-T_{a_i}) + \frac{\alpha(\zeta_i+1)-\beta}{1+k_b x_i}(T_{b_i}-T_{a_i}+t_g)\right] - \exp\left[-\alpha(\zeta_i+1)(T_{c_i}-T_{a_i}) - \beta(t-T_{c_i})\right] \Big\rangle \Big\} \quad (19)$$

Следует отметить, что при выводе расчетных формул для определения дебита метана из добытого угля предполагалось, что в интервалах простоя комбайна транспортирование угля не прекращалось (конвейер не останавливался). При остановке конвейера время дегазации угля увеличится на величину, равную периоду его простоя – $t_{ост}$. Дебит метана из добытого угля при этом следует рассчитывать по формуле (19), увеличивая время транспортирования угля t_g на период простоя конвейера $t_{ост}$, т.е. вместо t_g в формуле (19) в этом случае необходимо подставить $t_g + t_{ост}$.

Таким образом, математической моделью процесса газовыделения в очистном забое, позволяющей определить дебит метана в любой момент времени выемочного цикла при известном режиме угледобычи, является сумма выражения (12) с (18) или (19) в зависимости от применяемой схемы проветривания.

Математическая модель динамики газовыделения в очистном забое имеет довольно сложный вид и прогнозирование этого процесса связано с выполнением весьма трудоемких вычислений. Объем расчетов значительно увеличивается при использовании модели для исследования влияния различных факторов (с широким диапазоном варьирования их значений) на газодинамический процесс с целью раз-

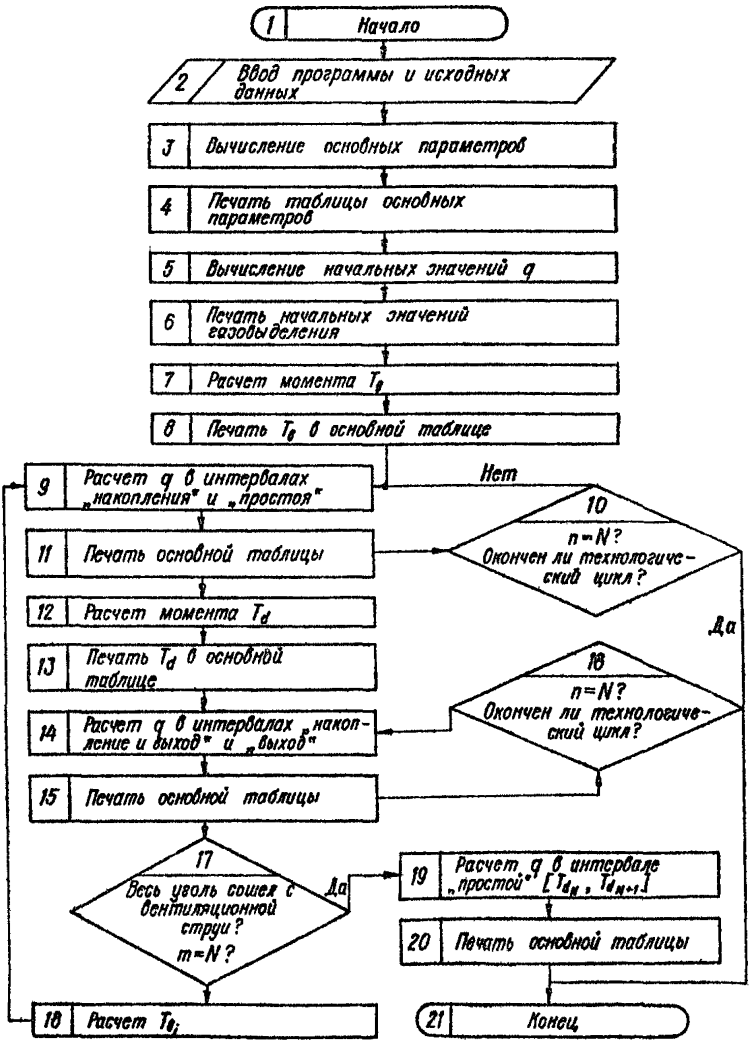

Рис. 2.

работки рекомендаций по снижению величины метановыделения. Следовательно, для облегчения реализации модели возникает необходимость использовать электронно-вычислительную технику. В связи с этим в ИГТМ АН УССР разработан алгоритм, содержащий расчетные

формулы газовыделения из угольного массива и добытого угля в рекуррентной форме, а также программа его реализации, блок-схема которой представлена на рис.2.

Исходной информацией для программы *GAS* являются следующие данные:

α, β, τ_0 – газокинетические параметры;

$C_{0,3} = m r \gamma$ – константа очистного забоя;

l – длина лавы;

режим работы УДА в двух смежных циклах: исследуемом и предшествующем ему: V_i, $\tilde{V}_j$ – скорость комбайна, t_i, $\tilde{t}_j$ – длительность интервалов работы и ρ_i, $\tilde{\rho}_j$ – длительность интервалов простоя УДА ($i = 1,2,\ldots,n$, $j = 1,2,\ldots,k$);

режим работы конвейера в исследуемом цикле: V_T – скорость транспортирования добытого угля на лаве;

направление выемки: $k_3 = +1$ – при встречной и $k_3 = -1$ – при спутной с доставкой выемкой угля;

схема проветривания: t_q – время транспортирования угля по выработкам со свежей вентиляционной струей за пределами лавы, ($t_q = 0$ при обособленной схеме проветривания).

Согласно блок-схеме после ввода исходных данных происходит формирование последовательности значений параметров, характеризующих работу УДА на участках Δy_i, где скорости подачи УДА в смежных циклах постоянны: длины указанных участков, T_{a_i}, T_{c_i}; T_{b_i}, T_{d_i} и т.д. При необходимости эти данные могут быть выведены на печать. Последующий расчет газовыделения производится в интервалах $[T_{a_i}, T_{b_i}]$ и $[T_{b_i}, T_{d_i}]$, причем расчет этих величин ведется последовательно с заданным шагом по времени. Конечный результат – печать таблицы, содержащей время и соответствующие ему значения дебита метана из массива, добытого угля и их сумму.

Математическая модель и исследование динамики газовыделения в очистном забое при непрерывной и равномерной угледобыче. Исследование реального процесса газовыделения в очистном забое с использованием математического моделирования из-за наличия большого числа влияющих факторов, многие из которых носят случайный характер (например, число и продолжительность интервалов работы и простоя УДА за период цикла), затруднено и возможно лишь с применением ЭВМ.

Задача в значительной мере упрощается, если исключить влияние случайных факторов, считая что УДА работает непрерывно по челноковой схеме с равномерной скоростью подачи. Вместе с тем,

такое представление технологического процесса позволит без особых затруднений выявить качественное, а в ряде случаев и количественное влияние, оказываемое постоянными в конкретных условиях параметрами угледобычи (скорость подачи и ширина захвата УДА, длина лавы, скорость транспортирования угля и др.) и характеристиками разрабатываемого пласта на газодинамику очистного забоя.

В этой связи представляет интерес модификация математической модели газодинамики очистного забоя для частного случая технологического процесса угледобычи при непрерывной челноковой работе УДА с равномерной скоростью подачи. Такая модель может быть использована также для прогнозирования средней величины ожидаемого газовыделения в очистном забое при усредненной за период выемочного цикла скорости подачи УДА.

Поскольку в рассматриваемом случае простои УДА отсутствуют, а скорость его подачи в любом цикле постоянна, тогда

$$V_i = \tilde{V}_i = V; \quad \tau_i = \tilde{\tau}_i = 1; \quad x_i = const \quad \text{и} \quad \Delta y_i = l.$$

Отсюда при обособленной схеме проветривания при встречном движении УДА и конвейера

$$T_{a_i} = \tilde{T}_{a_i} = 0; \quad T_{c_i} = \tilde{T}_{c_i} = T; \quad T_{b_i} = 0; \quad T_{d_i} = T(1+x),$$

а при спутном их движении

$$T_{a_i} = \tilde{T}_{a_i} = 0; \quad T_{c_i} = \tilde{T}_{c_i} = T; \quad T_{b_i} = xT; \quad T_{d_i} = T(1+x).$$

Время дегазации добытого угля при применении обособленной схемы проветривания ограничено временем доставки его по лаве и равно: для угля, находящегося на забойном конвейере, $t_y = t - \tau$, для угля, доставленного за пределы лавы, $t_y = x\tau$ – при встречной с доставкой угля выемке и $t_y = x(T-\tau)$ – при сонаправленной выемке.

С учетом изложенного выражение (II), определяющее дебит метана из угольного массива, для рассматриваемого случая примет вид

$$q_M(t) = AX_0\left\{1 - exp[-\alpha t] + exp[-\alpha t]\left(exp[-\alpha t] - exp[-\alpha T]\right)\right\}. \quad (20)$$

Дебит метана из добытого угля в любой момент времени $t \in [t, T]$

при обособленной схеме проветривания при встречной с доставкой угля

$$q_y(t) = Ax_0 \frac{\beta}{2\alpha - \beta} \left\{ \exp\left[-\frac{2\alpha + \beta\varkappa}{1+\varkappa} t \right] - \exp[-2\alpha t] \right\}; \qquad (21)$$

при сонаправленной с доставкой угля выемке

$$q_y(t) = Ax_0 \frac{\beta}{2\alpha - \beta} \left\{ U(0, \varkappa T) \left\langle \exp\left[-\frac{2\alpha + \beta\varkappa}{1+\varkappa} (t+T) \right] - \right.\right.$$

$$- \exp[-2\alpha T - \beta T] + \exp[-\beta t] - \exp[-2\alpha t] \Big\rangle + U(\varkappa T, T) \times$$

$$\left. \times \left\langle \exp\left[-\frac{2\alpha - \beta\varkappa}{1-\varkappa} t + \frac{2\alpha - \beta}{1-\varkappa} \varkappa T \right] - \exp[-2\alpha t] \right\rangle \right\}. \qquad (22)$$

Операторы $U(0, \varkappa T)$ и $U(\varkappa T, T)$ введены для выделения интервала $[0, \varkappa T]$ в начале цикла с сонаправленной выемкой, когда в газовыделении принимает участие уголь, добытый в начале исследуемого и в конце предыдущего циклов, еще не доставленный за пределы лавы.

Применяя схемы проветривания, когда добытый уголь транспортируется по выработкам с поступающей в лаву струей воздуха, параметры T_b, T_d, t_y увеличиваем на продолжительность транспортирования угля t_q.

Рассматривая процесс равномерной непрерывной угледобычи как работу УДА с постоянной скоростью подачи на множестве одинаковых участков $dy_i = l$ с разным направлением выемки, на основании (18) и (19) нетрудно получить дебит метана из добытого угля в любой момент времени $t \in [0, T]$, положив $tq = \varkappa T + \bar{T}$

$$q_y = -\frac{Ax_0\beta}{2\alpha - \beta} \left\{ \bar{U}(\bar{T}_b < T) \left\langle U(0, \bar{T}_b) \left[\exp(-\beta t) - \exp(-2\alpha t) + \right.\right.\right.$$

$$+ \exp\left[-\frac{2\alpha + k_b\beta\varkappa}{1 + k_b\varkappa} (T + t) + \frac{2\alpha - \beta}{1 + k_b\varkappa} \bar{T}_b \right] - \exp(-2\alpha T - \beta t) \Big] + U(\bar{T}_b, T) \times$$

$$\left. \left. \times \left[\exp\left(-\frac{2\alpha + k_b\beta\varkappa}{1 + k_b\varkappa} t + \frac{2\alpha - \beta}{1 + k_b\varkappa} \bar{T}_b \right) - \exp(-2\alpha t) \right] \right\rangle + \bar{U}(T < \bar{T}_b) \times$$

$$\times\Big\{\exp(-\beta t)-\exp(-2\alpha t)+U(0,\bar{t})\Big[\exp(-\beta t)-\exp(-2\alpha T)\Big]\times$$

$$\times\sum_{i=0}^{x-1}\exp\Big[-\beta(iT+t)\Big]+\exp\Big[-\frac{2\alpha+k_3\beta x}{1+k_3 x}\Big[(x+1)T+t\Big]+\frac{2\alpha-\beta}{1+k_3 x}\bar{T}_3\Big]-$$

$$-\exp\Big[-2\alpha T-\beta(xT+t)\Big]\Big]+U(\bar{t},T)\Big[\exp(-\beta T)-\exp(-2\alpha T)\Big]\sum_{i=0}^{x-2}\exp\Big[-\beta(iT+$$

$$+t)\Big]+\exp\Big[-\frac{2\alpha+\beta k_3 x}{1+k_3 x}(xT+t)+\frac{2\alpha-\beta}{1+k_3 x}\bar{T}\Big]-\exp\Big[-2\alpha T-\beta x \qquad (23)$$

$$\times\Big[(x+1)T+t\Big]\Big]\Big\rangle\Big\}.$$

В (23) необходимо подставить: при встречной с движением конвейера выемке угля $\bar{T}_3=t_g$, при спутной выемке угля $\bar{T}_3=tg+\varkappa T$.

Математическая модель процесса газовыделения при непрерывной равномерной угледобыче представляется суммой выражений (20) с одним из (21), (22) или (23) с учетом применяемой схемы проветривания и направления выемки в рассматриваемом цикле.

Анализ полученной разновидности математической модели газовыделения из очистного забоя позволяет сделать вывод, что даже при непрерывной равномерной угледобыче дебит метана как из угольного массива, так и из добытого угля характеризуется неравномерностью.

Исследуемый процесс является периодической функцией во времени с периодами, равными длительности технологического цикла (T) для угольного массива и двух смежных циклов $(2T)$ для добытого угля. Исследование функциональной зависимости (20), описывающей динамику газовыделения из угольного массива, показало, что дебит метана из этого источника достигает максимального значения в конце технологического цикла. С начального момента нового цикла наблюдается плавное снижение его величины до некоторого момента (t_{min}), обусловленного длительностью технологического цикла (T) и значением константы газоотдачи угольного массива (α)

$$t_{min}=-\frac{1}{\alpha}\ln\frac{1+\exp(-\alpha T)}{2}.$$

В этот момент дебит метана из угольного массива минимальный:

$$q_{M_{min}} = Ax_0\left[1-\left(\frac{1-exp\,(-\alpha T)}{2}\right)^2\right].$$

Снижение газовыделения в интервале $[0, t_{min}]$ обусловлено тем, что темпы истощения запасов метана в старообнаженной части массива превышают прирост газовыделения за счет увеличения площади свежеобнаженной поверхности. После момента равновесия этих параметров (t_{min}) приращение дебита из свежеобнаженной части массива начнет превалировать над снижением метанопоступления из еще не пройденной УДА части лавы и общая его величина, плавно возрастая, достигнет в конце технологического цикла своего максимального значения в виде

$$q_M^* = Ax_0\,(1-exp\,[-\alpha T]). \qquad (24)$$

Средняя за технологический цикл величина газового потока из угольного массива определяется интегралом

$$\bar{q}_M = \frac{1}{T}\int_0^T q_M(t)\,dt = Ax_0\left(1-\frac{1-exp\,[-2\alpha T]}{2\alpha T}\right). \qquad (25)$$

Коэффициент неравномерности газовыделения из угольного массива, равный отношению $q_M^*/\bar{q}_M$, определится так:

$$K_H = \frac{1-exp\,(-\alpha T)}{1-\frac{1-exp\,(-2\alpha T)}{2\alpha T}}. \qquad (26)$$

Анализ зависимости (26) показывает, что в общем случае коэффициент неравномерности газовыделения из массива не равен единице и даже при одинаковой нагрузке на забой в разных условиях может принимать различные значения. В предельных случаях, когда длительность цикла безгранично увеличивается или уменьшается, т.е. когда $T\to\infty$ или $T\to 0$ процесс газовыделения из массива полностью стабилизируется ($K_H\to 1$), а его абсолютная величина достигает максимально возможной – $q_M\to Ax_0$, м^3/мин – в первом случае (уголь полностью дегазируется еще находясь в массиве) и становится неощутимой – $q_M\to 0$ – во втором. Следовательно, увеличение продолжительности цикла и газоотдающей способности массива при

других равных условиях предопределяет повышение не только абсолютной и относительной газообильности этого источника (24), (25) но и до определенных пределов неравномерности метановыделения (26). Отсюда следует, что при одинаковой нагрузке на очистной забой в конкретных условиях снижение величины и неравномерности газовыделения из угольного массива может быть достигнуто путем уменьшения длины лавы и ширины захвата УДА и одновременного, пропорционального увеличения скорости его подачи.

Исследование динамики газовыделения из добытого угля, а также суммарного метанопоступления в очистной забой в общем виде существенно затруднено из-за сложности математической модели этого процесса - (21)-(23). В связи с этим решение этой задачи покажем на конкретном примере.

На рис.3 приведены графики динамики газовыделения из основных источников в очистном забое, построенные по результатам расчетов дебита метана, отнесенного к производительности УДА в I т/мин, и расчетной газоносности в I м^3/т, т.е. $\frac{q}{A_0}$. Расчеты выполнены при следующих исходных данных: непрерывная равномерная угледобыча по челноковой схеме ведется в лаве длиной 180 м со скоростью подачи УДА V_1 = 3 м/мин и V_2 = 0,6 м/мин и скоростью транспортирования добытого угля по лаве - V_T = I м/с; интенсивность газовыделения из массива и добытого угля характеризуется константами газоотдачи α = 0,008 I/мин и β = 0,01 I/мин; выемочный участок проветривается по обособленной (вариант I) и последовательной (вариант 2) схемам; время транспортирования добытого угля по выработкам с поступающей в лаву струей воздуха при последовательной схеме проветривания t_g = II0 мин.

В результате расчетов газовыделение из добытого угля, как и из массива и суммарное в очистном забое, характеризуется неравномерностью даже в идеальном случае при непрерывной равномерной угледобыче. Абсолютная величина газовыделения, динамика его изменения во времени, относительная газообильность очистного забоя и его газовый баланс при прочих равных условиях предопределены применяемой схемой проветривания выемочного участка, значениями газокинетических параметров (A_0, α, β) и факторами, обусловливающими длительность технологического цикла (T), к которым относятся: длина лавы (l), скорость подачи (V) и ширина захвата (γ) УДА, а следовательно, величина нагрузки на очистной забой.

Как видим, при отработке пластов с высокой метаноносностью

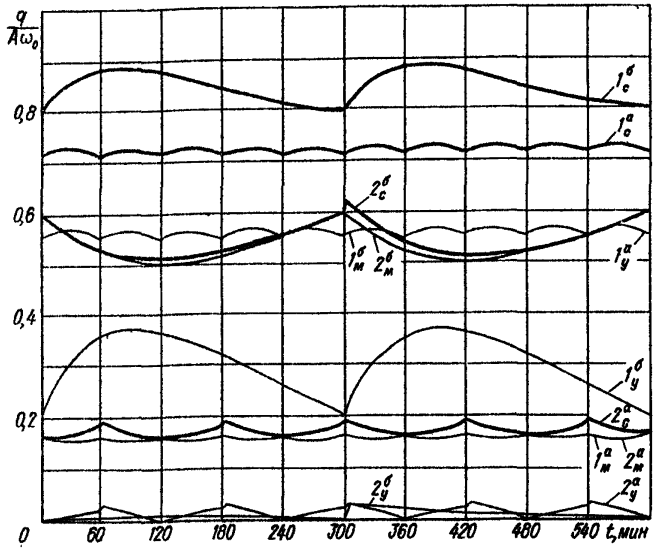

Рис. 3.

наиболее перспективным по газовому фактору является применение обособленных схем проветривания выемочных участков, что позволяет в равноценных условиях значительно снизить газовыделение в очистной забой без измерения его производительности или повысить последнюю без увеличения дебита метана. Так, в условиях рассматриваемого примера дебит метана в очистном забое при применении обособленной схемы проветривания ниже, чем при последовательной схеме проветривания на 29,7% при скорости подачи УДА - V = 0,6 м/мин и на 78,6% при V = 3 м/мин.

Нетрудно показать, что величина среднего суммарного газовыделения из массива и добытого угля при обособленной схеме проветривания и равномерной, непрерывной угледобыче может быть рассчитана по формуле:

$$\bar{q} = Ax_0 \left\{ 1 - \frac{1 - \exp(-2\alpha T)}{2\alpha T} + \frac{\beta}{2T(2\alpha - \beta)} \left[\frac{\beta - 2\alpha}{\beta} \exp(-\beta x T) \left(\frac{1}{2\alpha - \beta x} - \right. \right. \right.$$

$$\frac{-\exp(-2\alpha T)}{2\alpha+\beta\varkappa}\Big) + \frac{\varkappa+1}{2\alpha+\beta\varkappa} - \Big(\frac{1}{\alpha}-\frac{1}{\beta}\Big)\Big(1-\exp(-2\alpha T)\cdot\frac{1-\varkappa}{2\alpha-\beta\varkappa}\exp(-2\alpha T)\Big)\Big]. \quad (26)$$

Исследование зависимости (26) позволяет выявить степень влияния параметров угледобычи на величину и характер изменения метановыделения, а также на газовый баланс очистного забоя. При повышении нагрузки на забой за счет роста скорости подачи УДА (уменьшения продолжительности цикла T при $l = const$) относительная газообильность лавы, обусловленная метановыделением из угольного массива снижается, а из добытого угля - растет. В предельных случаях

$$\lim_{\substack{V\to 0\\ T\to\infty}} q'_M = x_0; \quad \lim_{\substack{V\to\infty\\ T\to 0}} \bar{q}'_M = 0; \quad \lim_{\substack{V\to 0\\ T\to 0}} \bar{q}'_y = 0$$

$$\lim_{V\to\infty,\, T\to 0} \bar{q}'_y = x_0\Big[1 - \frac{U_T}{\beta l}\Big(1-\exp\Big[-\beta\frac{l}{V_T}\Big]\Big)\Big].$$

При применении последовательной схемы проветривания участка величина относительной газообильности, обусловленная метановыделением из добытого угля, зависит не только от интенсивности угледобычи при остальных равных условиях, но и от времени его пребывания в выработках с поступающей в лаву струей воздуха (t_g). Если это время велико, уголь успевает полностью дегазироваться и суммарная относительная газообильность очистного забоя будет оставаться постоянной при любой нагрузке на забой и равной

$$\lim_{t_g\to\infty} \bar{q}' = x_0 .$$

При определенных, ограниченных значениях этого параметра (например, $t_g = 110$ мин) изменение интенсивности угледобычи обусловливает значительные количественные изменения в газовом балансе очистного забоя. Так, результаты расчета величины газовыделения для условий, указанных выше (см. рис.3), свидетельствуют, что увеличение скорости подачи УДА от 0,6 м/мин до 3 м/мин при $t_g = 110$ мин вызывает рост удельного веса газовыделения из добытого угля в суммарной метанообильности очистного забоя от

40,8% до 78,4%, а при обособленной схеме проветривания - от 1,3% до 7%. Суммарная относительная газообильность лавы снижается при обособленной схеме проветривания в 3,15, а при последовательной - в 1,18 раза.

Существенное влияние на газообильность лавы (особенно при применении обособленной схемы проветривания выемочного участка) оказывает длина очистного забоя.

Расчеты суммарного отнесенного газовыделения, выполненные по формуле (26) при $\alpha = 0{,}002$, $\beta = 0{,}008$ и $V_T = 1$ м/с показывают, что уменьшение длины лавы от 300 до 150 м при одновременном уменьшении ширины захвата от 1,2 до 0,12 м и увеличении скорости подачи УДА от 0,3 до 3 м/мин ($A = const$) обусловливает снижение средней отнесенной газообильности очистного забоя от 0,76 до 0,104, т.е. в 7,3 раза.

Большое влияние на величину метановыделения в очистной забой и его газовый баланс оказывают значения газокинетических параметров угля разрабатываемого пласта, характеризующие количество содержащегося в нем метана (x_0) и изменение во времени интенсивности газоотдачи массива (α) и добытого угля (β). Поэтому при разработке рекомендаций по снижению метанопоступления в призабойное пространство очистных забоев, обосновании и выборе способов и средств борьбы с газом важно знать зависимости величины и динамики газовыделения от значений газокинетических параметров и в первую очередь констант газоотдачи угольного массива (α) и добытого угля (β), поскольку влияние величины расчетной газоносности пласта (x_0) очевидно и не требует специального исследования.

Легко показать из (1) и (2), что степень дегазации массива и добытого угля за период времени t может быть рассчитана по формулам

$$\frac{x_0 - x_M(t)}{x_0} = 1 - exp(-\alpha t),$$

$$\frac{x_H - x_y(t)}{x_H} = 1 - exp(-\beta t), \qquad (27)$$

а величина относительной удельной скорости газовыделения из этих источников - по формулам

$$\frac{q'_M}{x_0} = \alpha \exp(-\alpha t),$$

$$\frac{q'_y}{x_H} = \beta \exp(-\beta t). \qquad (28)$$

Поскольку изменения степени дегазации массива и добытого угля (27), а также относительной скорости газовыделения из них (28) описываются подобными выражениями для обоих источников (количественно отличны лишь начальная газоносность и константы газоотдачи), графическая их интерпретация будет аналогична. Анализ зависимости относительной удельной скорости газовыделения от значений констант газоотдачи α и β показывает, что начальная величина этого параметра (при $t = 0$) равна значениям α или β (28). В любой другой момент времени $(0 < t < \infty)$ функции нелинейны и имеют экстремум (максимум) в точке $\alpha(\beta_{max}) = \frac{1}{t}$. Следовательно, каждому моменту времени (с начала дегазации массива или добытого угля) соответствует свое определенное значение константы газоотдачи (α_{max} или β_{max}) при котором скорость газовыделения (при прочих равных условиях) – максимальна, и чем больший промежуток времени проходит с момента обнажения (отторжения), тем ниже значения α_{max} и β_{max}.

Степень дегазации массива и добытого угля за любой промежуток времени $0 < t < \infty$ также является нелинейной функцией значений констант газоотдачи (27). Увеличение α и β приводит к росту степени дегазации: плавному, близкому к линейному с небольшим градиентом в первые промежутки времени после обнажения (отторжения) и резкому – при увеличении последних. Так, если на первой минуте после обнажения степень дегазации увеличивается от 0,01 (при $\alpha(\beta) = 0{,}01$) до 0,18 (при $\alpha(\beta) = 0{,}20$), то на двадцатой (соответственно) – от 0,20 до 0,98.

Аналогична картина изменения этого показателя во времени: плавное, близкое к линейному при низких значениях α и β и быстрое (крутое) сразу же после обнажения (отторжения) – при высоких. Так, если при $\alpha(\beta) = 0{,}50$ уголь отдает половину содержащегося в нем газа через 1,4 мин, то при $\alpha(\beta) = 0{,}05$ уже через 14 мин, а при $\alpha(\beta) = 0{,}005$ лишь через 140 мин.

Следует отметить, что результаты проведенного анализа облегчают задачу обоснованного выбора схемы проветривания внемоч-

ного участка. При технико-экономическом анализе установлено, что применение схемы проветривания с обособленным разжижением метана, выделяющегося из добытого угля за пределами очистного забоя, экономически выгодно при удельном весе этого источника не менее половины суммарного газовыделения из добытого угля и среднее время пребывания его в забое (время доставки) равно 3 мин. Тогда максимальное значение константы газоотдачи добытого угля, при котором целесообразно применение этой схемы, $\beta_{max} = 0{,}23$, в противном случае ($\beta > 0{,}23$) уголь дегазируется, находясь еще в очистном забое и поддержание дополнительных выработок становится бессмысленным.

Анализ данных, полученных в результате исследований, позволил рекомендовать следующие мероприятия в целях снижения газовыделения:

1) сокращать продолжительность технологического цикла за счет уменьшения длины лавы до оптимальных по экономическим факторам размеров, увеличения скорости подачи угледобывающих агрегатов и снижения их простоев;

2) снижать значения газокинетических параметров угольных пластов (газоносности и констант газоотдачи) путем микрокапиллярного увлажнения, профилактической обработки массива растворами, изменяющими свое фазовое состояние (например, полимерами, растворами жидкого стекла и др.) или создания условий для образования гидратов метана;

3) применять при отработке угольных пластов с высокой степенью метаморфизма, имеющих низкие значения констант газоотдачи, схемы проветривания с обособленным разжижением метана, выделяющегося из добытого угля за пределами очистного забоя, максимально уменьшая при этом время пребывания угля в лаве путем увеличения скорости забойного конвейера и уменьшения длины лавы до оптимальных размеров.

Экспериментально-аналитический метод определения газокинетических параметров угольных пластов и составляющих газового баланса выемочных участков. Основные трудности при использовании разработанной математической модели газовыделения из очистного забоя заключаются в выборе значений газокинетических параметров $X_0 = X - X_{ост}$, α и β.

Для определения природной и остаточной газоносности угля имеются достаточно надежные методы. Значения констант газоотдачи (α и β), характеризующих способность массива и добытого угля от-

давать содержащийся в них метан, полученные различными авторами, зачастую отличаются на порядок и более для примерно равноценных условий, что указывает на наличие неучтенных исследователями факторов, влияющих на их величину. Это потребовало разработки метода определения указанных параметров и постановки специальных исследований по их изучению для углей с различной степенью метаморфизма. Кроме этого в практике ведения горных работ для оперативной разработки мероприятий по нормализации газовой обстановки в пределах действующего выемочного участка возникает необходимость быстрого и качественного определения составляющих газового баланса. Как показал анализ до настоящего времени надежный метод разделения суммарного газовыделения по источникам отсутствует.
В связи с этим, авторами разработан приведенный надежный, легко осуществимый и нетрудоемкий экспериментально-аналитический метод определения газокинетических параметров угольных пластов и составляющих газового баланса выемочных участков.

Как уже указывалось, газовый баланс выемочного участка ($q_{\text{у}}$) в любой момент времени (t) слагается из метановыделения из массива ($q_{\text{м}}$), добытого угля ($q_{\text{у}}$) и выработанного пространства ($q_{\text{в.п}}$)

Предлагаемый метод базируется на следующих допущениях: дебит метана из выработанного пространства в коротких промежутках времени постоянен ($q_{\text{в.п}} = const$); величина газовыделения из массива и добытого угля непрерывно изменяется и в интервалах одновременного простоя выемочного агрегата и транспортных средств снижается по экспоненциальному закону

$$q_{\text{м}}(t) = q_{\text{м}}(t_0)\exp[-\alpha(t-t_0)],$$

$$q_{\text{у}}(t) = q_{\text{у}}(t_0)\exp[-\beta(t-t_0)].$$

Исходными данными для реализации метода служат результаты замеров расхода воздуха и метаносодержания в исходящей струе участка (с интервалом измерений 1 минута), а также хронометража работы УДА и транспортных средств, проведенных в течение не менее одного полного технологического цикл .

Таким образом, требуется минимум времени (при современных средствах механизации угледобычи до одной смены) и средств (2-3 наблюдателя).Предлагаемый метод (несмотря на свою простоту и доступность) не является универсальным, поскольку позволяет раз-

делить общеучастковый дебит метана по источникам лишь в определенный момент времени, с его использованием нельзя получить величину математического ожидания газовыделения из данных источников за длительный интервал времени. Этот метод может использоваться для сравнительно достоверной оценки доли участия каждого из источников метановыделения в газовом балансе участка с наименьшей (по сравнению с известными методами) затратой времени и небольшим объемом экспериментальных работ.

Аналитическая часть метода. В любом из интервалов одновременного простоя внемочного агрегата и транспортных средств, которому предшествовал интервал угледобычи (желательно длительной и интенсивной) из результатов экспериментальных измерений выбираются пять значений общеучасткового дебита метана (q_i) через равные промежутки времени (Δt).

Учитывая принятые предположения и допущения о характере газовыделения, можно составить систему из пяти уравнений с пятью неизвестными ($\alpha, \beta, q_м, q_у$ и $q_{б.п}$)

$$q_{i-1} = q_м \exp[-\alpha(i-1)\Delta t] + q_у \exp[-\beta(i-1)\Delta t] + q_{б.п} \qquad (29)$$

$$i = 1, 2, \ldots, 5.$$

Исключив из нее величину $q_{б.п}$, получим новую систему из четырех уравнений

$$c_i = q_м(1-a)a^{i-1} + q_у(1-b)b^{i-1}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \qquad (30)$$

где $c_i = q_{i-1} - q_i$; $\exp[-\alpha\Delta t] = a$; $b = \exp[-\beta\Delta t]$.

После несложных преобразований решение системы (30) получим в виде

$$a = \frac{c_1 c_4 + \sqrt{(c_1 c_4 - c_2 c_3)^2 - 4(c_2 c_4 - c_3^2)(c_1 c_3 - c_2^2)}}{2(c_1 c_3 - c_2^2)},$$

$$b = \frac{c_1 c_4 - \sqrt{(c_1 c_4 - c_2 c_3)^2 - 4(c_2 c_4 - c_3^2)(c_1 c_3 - c_2^2)}}{2(c_1 c_3 - c_2^2)}, \qquad (31)$$

$$q_M = \frac{c_2 - c_1 b}{(1-a)(a-b)} = \frac{c_3 - c_2 b}{(1-a)(a-b)a} = \frac{c_4 - c_3 b}{(1-a)(a-b)a^2} = \frac{c_3 - c_1 b^2}{(1-a)(a^2-b^2)} = \frac{c_4 - c_1 b^3}{(1-x)(a^3-b^3)},$$

$$q_y = \frac{c_1 a - c_2}{(1-a)(a-b)} = \frac{c_2 a - c_3}{(1-a)(a-b)a} = \frac{c_3 a - c_4}{(1-a)(a-b)a^2} = \frac{c_1 a^2 - c_3}{(1-b)(a^2-b^2)} = \frac{c_1 a^3 - c_4}{(1-b)(a^3-b^3)},$$

откуда

$$\alpha = -\frac{1}{\Delta t} \ln a; \qquad \beta = -\frac{1}{\Delta t} \ln b; \qquad q_b = q - q_M - q_y .$$

Проведенный анализ показывает, что область возможных значений a и b заключена в пределы

$$\frac{c_4}{c_3} < a < 1; \qquad 0 < b < \frac{c_2}{c_1}, \tag{32}$$

а решение системы имеет физический смысл лишь в случае выполнения условия

$$1 > \frac{c_4}{c_3} > \frac{c_3}{c_2} > \frac{c_2}{c_1} . \tag{33}$$

Если эти условия не выполняются, что возможно из-за нарушения допущения о постоянстве величины $q_{б.п}$, а также вследствие погрешностей эксперимента, следует поменять исходную выборку $\{q_i\}$, изменив или точку отсчета, или интервал между смежными замерами (Δt), либо рассмотреть новый период одновременного простоя УДА и транспортных средств.

Для повышения надежности получаемых результатов замерную станцию на исходящей струе участка следует располагать как можно дальше от выхода из лавы, чтобы исключить или значительно снизить погрешности определения q_i, возникающие в результате неравномерности распределения концентрации метана. Кроме того, интервал Δt должен быть по возможности большим, чтобы разность между соседними значениями q_i была значительной, что в конечном результате скажется на точности производимых расчетов. И, наконец, значения искомых параметров следует принимать равными среднеарифметическим из результатов их определения в нескольких (не менее 5) интервалах простоя УДА и транспортных средств. После определения значений констант газоотдачи (α и β) и составляющих газового баланса участка (q_M, q_y и $q_{б.п}$) представляется возможность вычислить расчетную газоносность пласта $x_0 = x - x_{ост}$, используя матема-

тическую модель газовыделения в очистном забое (12), (18), (19). Наиболее простую форму математическая модель газовыделения имеет в период простоя УДА при завершении технологического цикла, когда весь добытый уголь вышел за пределы поступающей в лаву свежей струи воздуха и общеучастковый дебит метана представляется суммой газовыделения из угольного массива и выработанного пространства – $q = q_M + q_{в.п}$. Дебит метана из угольного массива в любой момент времени (t) этого периода рассчитывается по формуле

$$q_M(t) = r m \gamma x_0 \left[\sum_{i=1}^{N} \left(1 - e^{-\alpha(T_{ci} - T_{ai})}\right) e^{-\alpha(t - T_{ci})} \right], \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (34)$$

Параметры V_i, N, T_{ai}, T_{ci} определяются по хронокарте работы комбайна. Значение расчетной газоносности пласта (x_0) вычисляется по формуле (33), принимая дебит метана из массива по результатам экспериментальных замеров общеучастковой газообильности за вычетом величины газовыделения из выработанного пространства. Экспериментальная часть предложенного метода определения газокинетических параметров разрабатываемого пласта и составляющих газового баланса лавы выгодно отличает его от уже существующих свойств простотой. Замеры двух величин (метаносодержания и скорости вентиляционного потока), производимые на исходящей струе участка через равные промежутки времени в течение интервалов простоя УДА и транспортных средств, являются необходимым исходным материалом для определения α, β, q_M, q_y, $q_{в.п}$.

Следует отметить, что предусмотренные методом расчеты трудоемки из-за громоздкости формул и требований повышенной точности вычислений. Кроме того, невысокая точность замеров и их случайный характер предопределяют большой объем обрабатываемых экспериментальных данных для получения надежных результатов. Для реализации данного метода необходимо применить ЭВМ. Разработанная программа для ЭВМ (рис.4) составлена на языке Фортран IУ. Реализация программы происходит следующим образом.

После ее трансляции вводится числовой материал, состоящий из массива значений дебита метана (q_i) в исходящей струе выемочного участка. Согласно основной системе уравнений (29) число элементов массива должно быть не менее пяти. Массив $\{q_i\}$ вводится с перфокарт по 15 чисел на каждой, в формате F 4.2. Алгоритм расчета искомых параметров реализуется согласно блок-схеме в следующем порядке. Определяется ряд возможных значений интервала

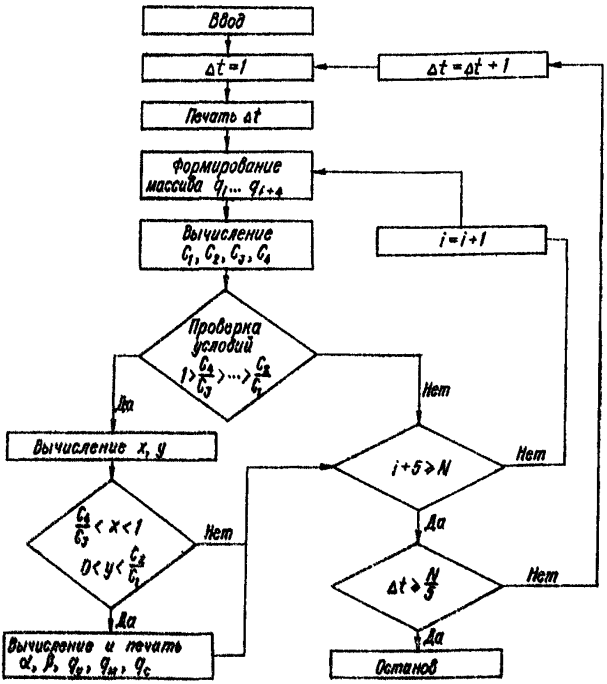

Рис. 4.

времени между замерами – $\Delta t = 1,2,3,\ldots, \Delta t_{max}$ мин. Естественно, что $\Delta t_{max} = N/5$, где N – число замеров, произведенных через минуту. Для каждого значения интервала времени Δt из N-мерного массива $\{q_i\}$ формируется по $(N-5\Delta t+1)$ комбинаций q_i. Последовательно для каждой такой выборки (начиная с первой) проверяется условие (33), контролирующее возможность использования ее в качестве исходного материала. Если условие (33) выполняется, то вычисляются корни a и b системы уравнений (29). В противном случае происходит переход к следующей пятерке значений q_i, в которой q_0 совпадает с q_1 предыдущей выборки.

Полученные при соблюдении неравенств (33) значения a и b не должны выходить за пределы допустимых значений (32), где они

сохраняют физический смысл. Только в этом случае a и b могут служить основой для расчета α, β, q_y, q_M, $q_{б.п}$. Если условие (32) не соблюдается, происходит переход к следующим пяти значениям q_i.

После вычисления искомых параметров задачи происходит переход к новому циклу расчета для следующей выборки замеров с тем же интервалом времени между ними Δt или (когда q_5 совпадает с q_N) с увеличенным на 1 мин интервалом измерений $\Delta t_i = \Delta t_{i-1} + 1$, а в случае, когда $\Delta t = \Delta t_{max}$ осуществляется переход на конец программы.

На печать выводятся: Δt, α, β, q_M, q_y и $q_{б.п}$ для каждой выборки исходных данных $\{q_i\}$.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

Апробация разработанного метода производилась путем сравнения расчетных данных и результатов экспериментальных наблюдений за динамикой газовыделения в условиях выемочных участков ряда шахт Донбасса. Всего было выполнено 15 серий экспериментальных наблюдений в условиях четырнадцати выемочных участков газообильных шахт, разрабатывающих пласты углей марок Г и А, что позволило охватить практически весь диапазон изменения степени метаморфизма углей Донецкого бассейна.

Как показали результаты исследований газокинетических параметров пластов, проведенных по предложенной экспериментально-аналитической методике, с ростом степени метаморфизма (снижением выхода летучих веществ) газоносность угольных пластов увеличивается, а значения констант газоотдачи массива и добытого угля уменьшаются (таблица).

Статистическая обработка полученных результатов с их проверкой по t- критерию на 5%-ном уровне значимости и отбросом сомнительных данных показала, что относительная ошибка выборочной средней по всем искомым параметрам (α, β, q_M, q_y, $q_{б.п}$), именуемая некоторыми авторами как "погрешность метода", не превышает 10%, что свидетельствует о достаточной точности и надежности предложенного метода и реализующей его программы для ЭВМ.

После определения газокинетических параметров производился расчет динамики газовыделения из угольного массива, добытого угля и суммарного дебита метана с использованием данных хронометражных наблюдений, результаты которого сравнивались с контрольными замерами дебита метана, выполненными с интервалом в 1 мин.

Результаты определения газокинетических параметров угольных пластов

Марка угля	Число определений	Константы газоотдачи, 1/мин						Газоносность, м³/т					
		Массив (α)			Добытый уголь (β)			Расчетная (X_0)			Природная (X)		
		минимальный	максимальный	средний	минимальный	максимальный	средний	минимальный	максимальный	средний	минимальный	максимальный	средний
Г	8	0,004	0,008	0,006	0,05	0,07	0,062	2,4	8,9	6,2	5,9	12,9	9,8
А	7	0,002	0,004	0,003	0,008	0,04	0,025	19,1	26,4	23,0	29,0	32,2	31,0

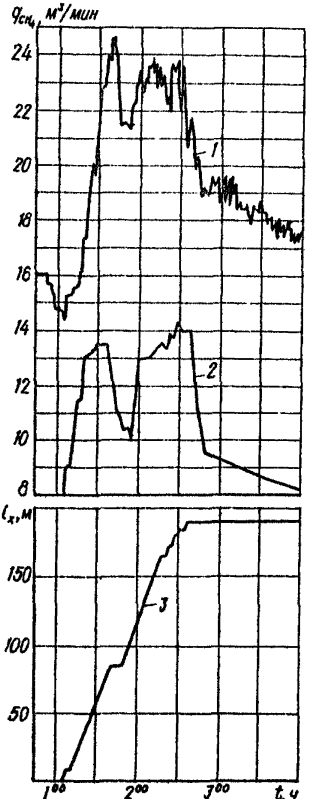

Рис. 5.

Для примера (рис.5) приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных по газодинамике выемочного участка 6 западной лавы пласта l_2' шахты "Знамя коммунизма" ПО "Донбассантрацит" за период одного технологического цикла. Расчеты показали довольно хорошую сходимость прогнозируемого и реального газодинами-

ческого процесса в очистном забое. Так, по экспериментальным данным величина газовыделения из выработанного пространства за период трехсуточных наблюдений колебалась от 4,9 до I5,I $м^3$/мин, составляя в среднем 9,84 $м^3$/мин. По результатам расчета его величина, вычисленная как разность общеучастковых замеренного дебита метана (верхний график рис.5) и рассчитанной газообильности очистного забоя (нижний график рис.5), составила в среднем 9,8 $м^3$/мин. Следовательно, относительная ошибка метода в данных условиях равна 0,4%. Следует отметить, что по всем проведенным экспериментам расчеты дисперсии адекватности фактических и расчетных данных и сравнение ее с установленной дисперсией воспроизводимости показали, что величина критерия Фишера не превосходила табличного его значения для условий каждого эксперимента. Это доказывает адекватность разработанного метода реальному процессу и свидетельствует о правомерности его использования для прогнозирования и исследования динамики газовыделения в очистном забое.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 6
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 9
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ 12
АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ 39

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

Составители

Борис Евгеньевич Грецингер,
Владимир Ильич Волков,
Тамара Анатольевна Андрейченко

Утверждено к печати ученым советом
Института геотехнической механики АН УССР

Редактор Е.Н.Цыганкова
Художественный редактор И.П.Савицкая
Технический редактор Т.М.Зубрицкая
Корректор А.Ф.Коровниченко

Н/К

Подп. к печ. 28.09.82. БФ 00320. Формат 60х84/16. Бумага офс.№ 2. Офс. печ. Усл.печ.л. 2,56. Усл.кр.-отт. 2,56. Уч.-изд.л. 2,18. Тираж 200 экз. Заказ 4-904 Цена 15 к.

Издательство "Наукова думка". 252601 Киев, ГСП, Репина, 3. Киевская книжная типография научной книги. 252004 Киев-4, Репина, 4.

gost.e-ecolog.ru