

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ГАЗОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*М.А.Ильяшов, ЗАО «Донецксталь – Донецкий металлургический завод», Украина
В.В.Назимко, Донецкий национальный технический университет, Украина*

Описана технология оперативного управления проектом комплексного освоения газоугольного месторождения в условиях турбулентного окружения, а также параметрической и структурной неопределенности, что позволяет обеспечить безопасную добычу угля с высокой нагрузкой очистного забоя и одновременным рациональным использованием энергетических ресурсов угольного месторождения.

Актуальность проблемы. Технологический прессинг на экологическое состояние окружающей среды вызывает озабоченность в глобальном масштабе. Это означает, что дальнейшее развитие добычи полезных ископаемых из недр должно осуществляться в комплексе с рациональным использованием всех компонент месторождений. Это особенно актуально для добычи энергоресурсов, в процессе разработки которых интенсивно используются буровые технологии. С учетом того, что собственные запасы нефти и газа почти исчерпаны, перспективным источником энергии является сланцевый газ. Однако для освоения его месторождений необходимо время, большие капиталовложения, и решения непростых проблем, связанных с экологией и негативным настроением общества. Именно поэтому в последнее время в мировой практике приобретает популярность сопутствующая добыча метана из газоугольных месторождений. Поскольку с оглядкой на энергетическую независимость Украины увеличение собственной угледобычи не имеет альтернативы, комплексное освоение газоугольных месторождений является именно тем направлением, которое дает мощный толчок развитию национальной экономики и оперативно решает ряд экологических и социальных проблем.

Состояние проблемы. Технология добычи и утилизации сопутствующего метана угольных месторождений получила теоретическое обоснование и прошла успешную промышленную проверку [1-3]. Однако для ее широкого внедрения необходимо освоить массовое текущее бурение скважин и решить ряд геологических, экономических, технологических и организационных проблем [4]. Именно поэтому указанную задачу реализовано в виде крупного инновационного проекта, поскольку ему присущи такие характерные черты как уникальность, ограниченность во времени и ресурсах, а также необходимость постоянного мониторинга, управления процессом разработки, и внедрения технологии в практику.

Основное содержание работы. Описание структуры проекта. Бизнес-идея проекта возникла у эксплуатационников ш/у «Покровское», которое интенсивно отрабатывает газоугольное месторождение. В условиях высокого уровня нагрузки очистных забоев, который составляет 3-5 тыс. тонн рядового угля в сутки возникает серьезная проблема интенсивного газовыделения взрывоопасного метана в действующие подземные выработки. Учитывая, что возможности средств вентиляции и подземной дегазации исчерпаны, возникла идея подключить дегазацию скважинами с земной поверхности, которая имеет значительные резервы для дальнейшего удаления метана, и его утилизации в качестве ценного энергетического ресурса. Однако для того, чтобы добыча метана была рентабельной, необходимо было создать новую технологию скоростного бурения скважин [4].

Заказчиком проекта является ш/у «Покровское», а в роли его частичного инвестора выступило ЗАО «Донецксталь - металлургический завод». Для планирования, организации и выполнения проекта была создана временная команда. Работы по реализации проекта выполняли подрядчики из Канады, поставщики и отечественные подрядчики, которые взяли на себя объемные работы по строительству.

В окружение проекта вошли владельцы земельных участков в виде местной власти, с которыми согласовывали отвод земель под строительство скважин и прокладку трубопроводов, а также консультанты по технологиям бурения.

В фазе инициализации жизненного цикла проекта были разработаны концепция проекта и другие документы, которые дали основания заказчику и инвестору принять решение об инвестировании проекта. Была сформулирована цель проекта, которая предусматривала осуществление комплексного освоения газугольного месторождения. Именно такой подход обеспечивал рентабельную угледобычу, создавал возможности для повышения его интенсивности, обеспечивал безопасность подземных работ и способствовал не только использованию ценного попутного энергетического ресурса, но и охране окружающей среды, и улучшению экологии региона [5].

В качестве основного продукта проекта выступает сопутствующий газ метан как ценный энергетический ресурс для производства тепла, электроэнергии. Кроме того, газ может продаваться населению для бытовых нужд. Главным сопутствующим продуктом проекта является повышение на 15-30% угледобычи с высоконагруженных очистных забоев. Важным косвенным продуктом проекта является также устранение парникового эффекта от выбросов метана в атмосферу. Экономическая выгода от такого продукта получается на основе Киотского соглашения.

Кроме того, социально-экономический эффект от внедрения инновационной технологии связан с созданием новых рабочих мест, и дополнительным поступлениям в местные бюджеты. Именно эти перечисленные преимущества гарантируют жизнеспособность проекта.

Комплексное освоение газугольного месторождения состоит из крупных проектов угледобычи и синхронной комплексной дегазации. Комплексная дегазация газугольного месторождения использует несколько отдельных подпроектов, которые необходимо согласовывать между собой. Удаление взрывоопасного метана из угольного пласта осуществляется с учетом закономерностей его десорбции [1] прежде всего средствами вентиляции. На следующей фазе подключается дегазация спутников и вмещающих пород с помощью подземных скважин, которые бурятся из горных выработок. На третьем этапе используют дегазацию толщи подрабатываемой очистными забоями скважинами с поверхности. В случае необходимости подключают технологию отсоса газозадушной смеси из выработанного пространства. Дальнейшее управление дегазацией газонасыщенного массива осуществляется с помощью технологий активного гидродинамического воздействия [2].

Полученную газозадушную смесь подают на установку для производства электроэнергии и тепла. Таким образом для стабильного функционирования всего проекта необходимо согласовать процессы управления этими технологиями. Качество газозадушной смеси, получаемой различными технологиями существенно отличается. Самая низкая концентрация метана в отработанной струе, поэтому он просто выбрасывается в атмосферу. Технологии, основанные на молекулярных фильтрах на сегодня пока не усовершенствованы до такой степени, чтобы использоваться в промышленности.

Известно, что в условиях метаносности до $20\text{ м}^3/\text{т}$ проветривание очистного забоя может обеспечить на тонких угольных пластах безопасный уровень нагрузки не более $600\text{ м}^3/\text{сут}$, разбавляя до $5,5\text{ м}^3$ метана в течение минуты. Применение дегазации спутников через дегазационные скважины позволяет отвести до $21,9\text{ м}^3$ в минуту взрывоопасного газа. Если применить дополнительно газоотсос из выработанного пространства, можно отвести до $76,4\text{ м}^3/\text{мин}$ метана, подняв эффективность дегазации до 74-89%, что позволяет безопасно добывать до 3500-4000 тонн угля в сутки. Итак, газоотсос из выработанного пространства является наиболее продуктивным способом улавливания взрывоопасной метана. Однако система газоотсоса втягивает большое количество воздуха (больше в три-пять раз, чем метана) и поэтому сильно обедняет газозадушную смесь.

Газозадушная смесь, каптируется наземными дегазационными скважинами и содержит 95-99% метана. Газозадушная смесь, которая отводится подземными дегазационными скважинами имеет концентрацию метана от 40 до 90%. Газозадушная смесь, которая улав-

ливается газоотсасывающим трубопроводом в вентиляционном штреке бедна на содержание метана и содержит не более 5-10% этого взрывоопасного газа. Это происходит потому, что газоотсасывающая система засасывает из выработанного пространства слишком много отработанного воздуха, прошедшего через очистной забой. При смешивании всех трех потоков газоздушных смесей на входе когенерационной установки концентрация должна быть оптимальной, при которой химическая реакция окисления метана является наиболее эффективной. Поэтому содержание метана в указанной газоздушной смеси повышают путем добавления газоздушной смеси из наземных дегазационных скважин. Избыток такого высококонцентрированного метана продают потребителям, например заправляют им автомобили.

Оперативное управление проектом дегазации на основе использования ранних сигналов. Чем интенсивнее добывают уголь, тем больше выделяется метана и тем сложнее поддерживать допустимую его концентрацию в атмосфере рабочего пространства подземных выработок [3]. Поэтому оперативным резервом для регулирования концентрации метана в атмосфере рабочего пространства подземных выработок является газоотсос из выработанного пространства. Однако чем интенсивнее отсос, тем больше воздуха засасывается в дегазационную систему и тем больше требуется чистого метана для получения оптимальной концентрации на входе когенерационной установки. Практика доказала, что при увеличении нагрузки на очистной забой выше 3500-4000 тонн в сутки для обеспечения оптимальной концентрации метана в газоздушной смеси необходимо тратить весь газ, поступающий с наземной дегазационной системы, обслуживающей один очистной забой. При дальнейшем увеличении нагрузки на очистной забой выше 4000 тонн в сутки повышается концентрация метана в атмосфере рабочего пространства подземных выработок, что опасно. С другой стороны снижается рентабельность когенерационной установки, потому что концентрация метана в каптированной газоздушной смеси падает и эту смесь необходимо обогащать, тратя дополнительные средства и материальные ресурсы.

Исследованиями доказано, что метан можно условно разделить на так называемый «быстрый» газ и «медленный» газ [6]. «Быстрый» газ накапливается в выработанном пространстве, а «медленный газ» залегают в спутниках и пористых песчаниках и требуется в среднем несколько суток, чтобы профильтроваться по трещинам в выработанное пространство. Добыча угля современными высоконагруженными очистными забоями осуществляется, как правило, на пределе по фактору проветривания. Поэтому безопасное увеличение добычи возможно только благодаря комплексной дегазации. Оперативно опасную концентрацию метана в очистном забое можно снизить, только увеличив 1,3-1,5 раза интенсивность отсоса газоздушной смеси из выработанного пространства. К сожалению, отсос газоздушной смеси из выработанного пространства сопровождается засасыванием большого количества воздуха, что снижает оптимальную концентрацию метана в газоздушной смеси, подаваемой на когенерацию. Авторами разработан способ оперативного управления проектом дегазации, основанный на использовании раннего сигнала, который детектируют по темпам изменения скорости дегазации [7].

Способ ориентирован на одновременное управление технологическими и экономическими параметрами проекта. Для поддержания концентрации метана в газоздушной смеси одновременно с увеличением скорости газоотсоса повышают в 1,15-1,2 раза скорость дегазации через подземные скважины, а через определенный промежуток времени (например, через час) начинают уменьшать согласно экспоненте интенсивность отсоса газоздушной смеси из выработанного пространства [7]. Благодаря этому реализуется синхронная компенсация замедленной реакции «медленного» газа мгновенной реакцией «быстрого» газа с одновременным уменьшением засасывания избыточного количества воздуха в газоздушной смеси. Реализация такого газодинамического механизма позволяет поддерживать безопасность подземных работ с одновременным обеспечением рентабельности когенерации.

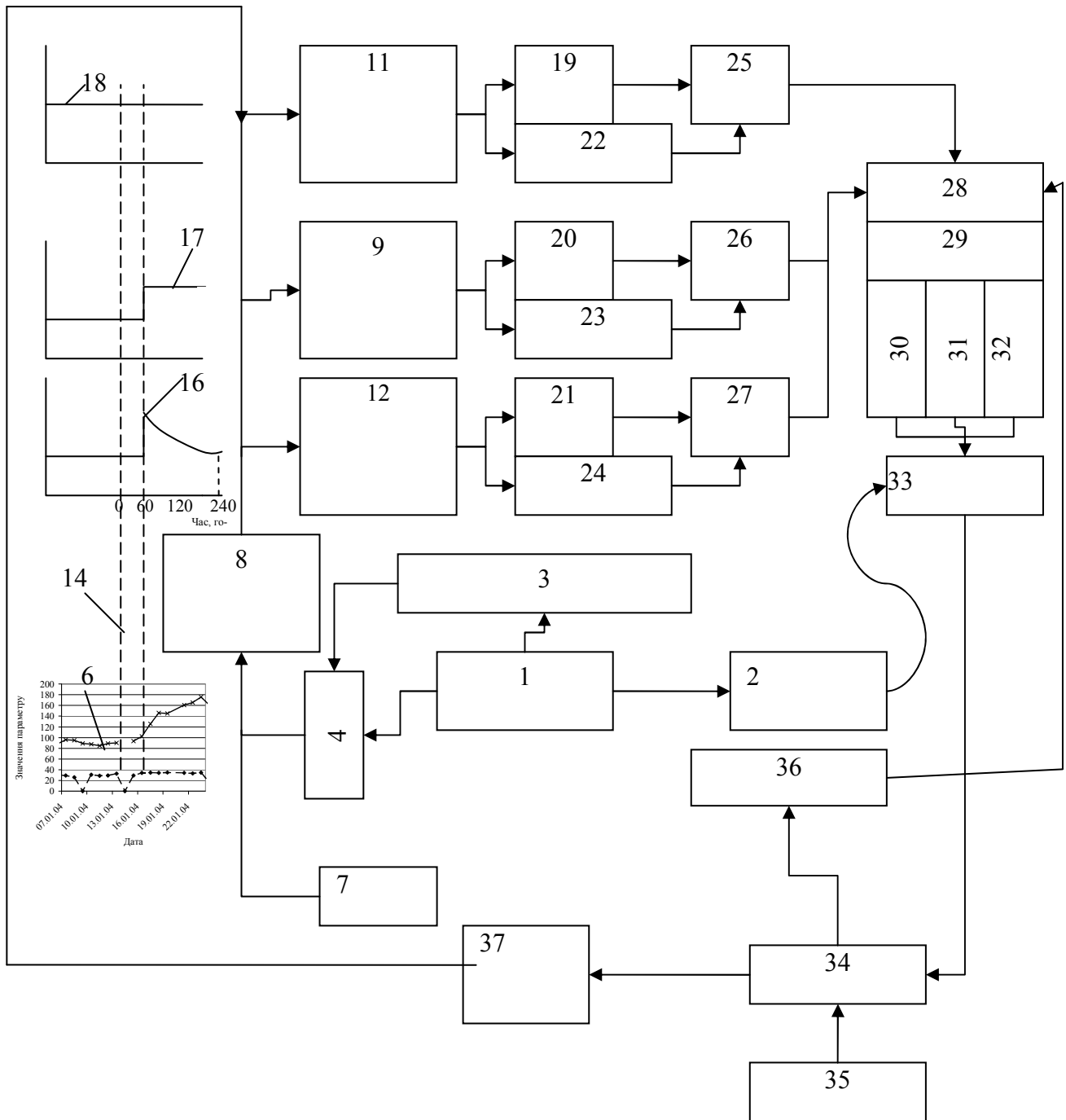


Рис. 1. Схема взаимодействия компонент проекта

Сущность способа поясняется рисунками, где на рис. 1 изображена взаимная связь компонент проекта дегазации, а на рис. 2 и 3 приведены графики динамики фактических показателей дегазации и угледобычи.

На рис. 1 представлены: очистной забой 1, уголь 2, выработанное пространство 3, метан - 4, средняя скорость 6, воздуха 7, газоздушная смесь - 8, дегазация подземными скважинами 9, дегазация скважинами с поверхности 11, дегазация отсосом из выработанного пространства - 12, момент, времени, когда ускорение газовыделения стало положительным - 14, интенсивность газоотсоса из выработанного пространства 16 интенсивность дегазации подземными скважинами - 17, интенсивность дегазации скважинами с поверхности - 18 дебиты

брутто газовоздушных смесей скважинами с поверхности, подземными и газоотсоса из выработанного пространства соответственно - 19, 20, 21, их концентрации - 22, 23, 24, чистая добыча метана (дебит нетто) для дегазации скважинами с поверхности, подземными скважинами и газоотсосом из выработанного пространства указаны соответственно позициями 25, 26, 27, когенерация - 28 качество газовоздушной смеси, подаваемой на когенерации – 29. Метан высокой концентрации, который остался от дегазации скважинами с поверхности указанный позицией 30, произведенная электроэнергия и тепло - соответственно позициями 31 и 32. Потребители энергоресурсов -33, бюджет проекта - 34, инвестиции - 35, природный газ – 36, ресурсы проекта - 37.

На рис. 2 показано момент 14 когда ускорение 13 газовой выделения стало положительным, и интервал времени 15, в течение которого ускорение держалось положительным. На рис. 3

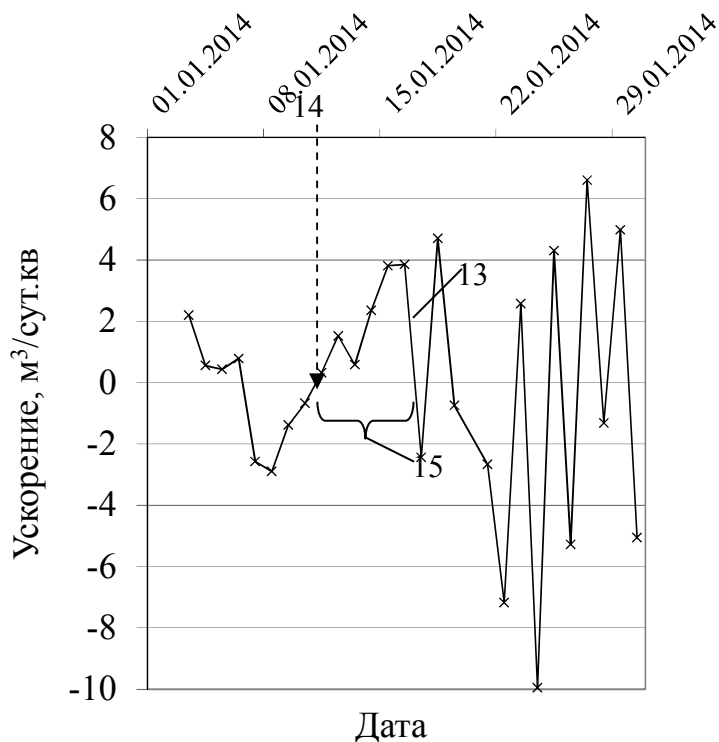


Рис. 2. Динамика ускорения газовой выделенности

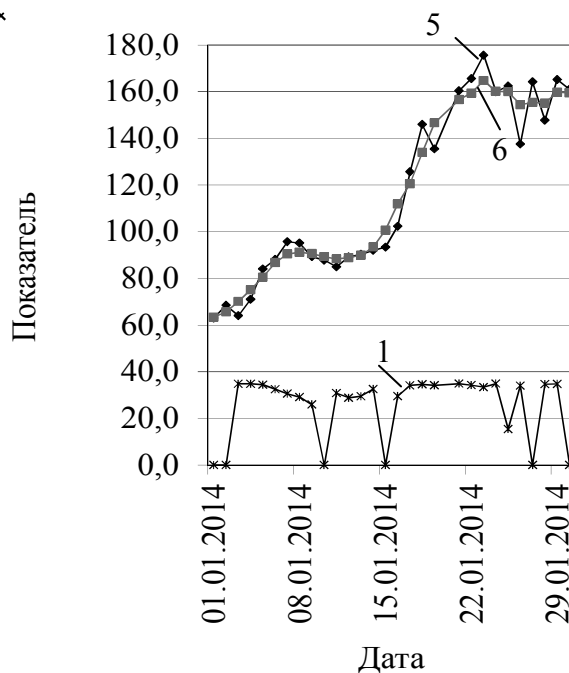


Рис. 3. Динамика скорости газовоздушной смеси 5, ее средняя скорость 6 (м³/мин.) и уровень добычи угля 10 (тонн / сут)

представлена скорость газовоздушной смеси 5, средняя скорость 6 (м³/мин.) и уровень добычи угля 10 (тонн / сут).

Реализация способа показана на примере для следующих условий: глубина разработки равнялась 1200м, мощность пласта 1,5 м, метаносность пласта составляла 25м³/т. Очистным забоем 1 добывали уголь 2 и создавали выработанное пространство 3. С очистного забоя 1 и выработанного пространства 3 выделялся метан 4, скорость 5 которого периодически измеряли. Скорость метановыделения 5 усредняли скользящим окном продолжительностью 120 часов и получили среднюю скорость 6 (рис.3). Для этого брали пять последовательных суточных значений скорости, усредняли их и заменяли третье значение на среднее. Например пять суток подряд с 6.01.2014 до 10.04.2014 скорости газовой выделенности имели следующие значения: 88,1; 95,7; 95,2; 89,3; 87,8 м³/мин. Среднее из пяти значений равно 91,2 м³/мин. И так усредненное значение скорости 8.04.2004 равно 91,2 м³/мин. После этого окно передвигали на сутки и следующая пятерка скоростей выглядела так: 95,7; 95,2; 89,3; 87,8; 84,9 м³/мин. Среднее из значений равно 90,6 м³/мин. Таким образом среднее значение скорости газовой выделенности на 9.04.2014 составляет 90,6 м³/мин. и так далее.

Чтобы гарантировать безопасность подземных работ очистной забой 1 проветривали свежим воздухом 7, в результате чего образовывалась газовоздушная смесь 8. После увеличения добычи

из очистного забоя 1 более 600т/сут начали извлекать газоздушную смесь 8 из выработанного пространства 3 с помощью дегазации подземными скважинами 9. Затем последовательно повысили нагрузки 10 до 3000т/сут и 3500т/сут. Такое повышение добычи угля существенно увеличило метановыделение из выработанного пространства. Поэтому для поддержания безопасных условий подземных горных работ [4] ввели в действие дегазацию скважинами с поверхности 11. Поддержку безопасности подземных работ при дальнейшем повышении нагрузки на очистной забой обеспечили вводом в действие газоотсоса 12 из выработанного пространства с помощью трубопровода (на рисунке не показан), который оставляют в выработанном пространстве 3.

11.01.2014 ускорение 13 метановыделения в момент 14 стало положительным и таким держалось в течение периода 15 или 6 суток, то есть более 60 часов. Поэтому через 60 часов интенсивность газоотсоса 16 из выработанного пространства 3 увеличили в 1,4 раза и в 1,2 раза повысили интенсивность 17 подземной дегазации 9, а через час после этого стали уменьшать по экспоненте интенсивность 16 отсоса газоздушной смеси из выработанного пространства. Уменьшение интенсивности и отсос газоздушной смеси осуществляли согласно зависимости $I = k \exp(-0,001 k)$, где k - коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности газоотсоса. Экспериментально установлено, что в условиях, когда $k = 1,3$ интенсивность уменьшается до начального уровня в течение 205 часов или 9 суток, а при $k = 1,5$ - в течение 265 часов или 11 суток. Значение $k = 1,3$ принимают в условиях, когда метаноносность угольного пласта не превышает $15\text{м}^3/\text{т}$, значение $k = 1,5$ используют, когда метаноносность превышает $25\text{м}^3/\text{т}$. Иначе используют промежуточное интерполированное значение k . Аналогично принимали значение коэффициента, который учитывает интенсивность подземной дегазации. Величину указанных коэффициентов регулировали глубиной вакуума в дегазационных трубопроводах (на чертеже не указаны): чем больше вакуум, тем выше значения коэффициентов.

Интенсивность 18 дегазации скважинами с поверхности оставляли неизменной. В дальнейшем осуществляли текущие измерения дебитов газоздушных смесей 19, 20, 21, их концентраций 22, 23, 24, и определяли чистую добычу метана (дебит нетто) 25 26 27. Газоздушные смеси 19, 20, 21 подавали на когенерацию 28 и подмешивали газовую смесь 19, полученную дегазацией скважинами с поверхности в такой пропорции, чтобы поддерживать оптимальную концентрацию метана в смеси 29, подаваемой на турбины газогенераторов (на рис не указаны). Избыток высококонцентрированной смеси 30 из поверхностных скважин поставляли на автозаправочную станцию (на рисунке указана как потребитель 33), а электроэнергию 31 передавали в общую электрическую сеть региона. Тепло 32 использовали для нужд шахты.

Потребители 33 платили за потребленные энергоресурсы 30, 31, 32 в бюджет 34 проекта, который начинался с инвестиций 35, а затем функционировал как самостоятельная составляющая проекта. Бюджет 34 тратился на поставку ресурсов 37, которые поддерживали системы дегазации 9, 11 и 12.

При увеличении добычи угля до 4300 т/сут расходовался весь метан, полученный от дегазации через скважины с поверхности, поэтому бюджет 34 проекта начали использовать для приобретения дополнительных энергетических ресурсов в виде природного газа 36, которым доводили качество газоздушной смеси 29 до оптимальной концентрации. После поднятия добычи до 5200т/сут проект дегазации достиг критического состояния, после которого он мог быть убыточным. Поэтому увеличение добычи угля прекратили, а нагрузка на очистной забой держали на достигнутом уровне.

Реализация способа в случае падения скорости газовыделения показана на следующем примере. На определенный момент времени было зафиксировано устойчивое падение скорости газовыделения, что отразилось в негативном ускорении 13 в течение 60 часов. Это означало, что производительность газоотсоса из выработанного пространства можно уменьшить в 1,3 раза. Причем меньшее значение коэффициента замедления газоотсоса (1,2) принимают в случае, когда метаноносность угольного пласта не превышает $25\text{м}^3/\text{т}$, а большее значение (1,4), - $15\text{м}^3/\text{т}$. Уменьшение интенсивности газоотсоса влечет за собой снижение втягивания воздуха в дегазационную систему и таким образом позволяет сохранить высокую концентрацию метана, способствует поддержанию рентабельной работе когенерации без потери необходимого уровня безопасности.

Итак, безопасность поддерживается путем согласованного увеличения интенсивности работы систем дегазации, что дает возможность поддерживать на безопасном уровне концентрацию взрывоопасного метана в рабочем пространстве очистного забоя и горных выработках. Одновременно согласованное регулирование интенсивности дегазации различными системами позволяет минимизировать разбавление газовой смеси в дегазационных трубопроводах, что способствует рентабельной работе когенерации.

Таким образом, поддерживалась безопасность подземных очистных работ при интенсивной добыче угля с нагрузкой очистного забоя 5200 тонн в сутки с одновременным рациональным использованием энергетических ресурсов угольного месторождения.

Стоит отметить, что рассматриваемый способ управления проектом комплексной дегазации метаноугольного месторождения вовлекает несколько методов оперативного управления проектом. Прежде всего, это оперативный прогноз параметров проекта на основе ранних сигналов, которые связаны с неопределенностью. Еще большая роль принадлежит оперативной перестройке структуры операций, которые привлекаются или временно выводятся из активного действия в зависимости от тенденций и случайной вариации турбулентного окружения проекта. Это касается не только технологических параметров, таких например, как интенсивность газовыделения, вариация которой достигает 100 процентов, но и экономических и финансовых параметров среды проекта. Например, в случае повышения цен на природный газ работы по доведению концентрации метана в газовой смеси могут стать нерентабельными и тогда становится целесообразным привлекать другие технологии, например активного воздействия на газонасыщенный массив [2].

Выводы. Разработана технология оперативного управления проектом комплексного освоения газоугольного месторождения в условиях турбулентного окружения, а также параметрической и структурной неопределенности, основанная на применении ранних сигналов и перестройке структуры операций, которые привлекаются или временно выводятся из активного действия в зависимости от тенденций и случайной вариации турбулентной среды проекта. Это обеспечивает поддержание безопасности подземных очистных работ при интенсивной рентабельной добыче угля с высокой нагрузкой очистного забоя и одновременным рациональным использованием энергетических ресурсов угольного месторождения.

Список литературы

1. Научное открытие № 275. Свойство пород угольных формаций в процессе своего разрушения проявлять дополнительную десорбцию связанных молекул метана / М.А. Ильяшов, С.И. Скипочка, Б.М. Усаченко, В.В. Назимко, А.В. Мухин. - М.: РАЕН, 2004.
2. Управление проектом комплекса пневмодинамического воздействия на угольные пласты и породные массивы/ В.Н.Павлыш, Ю.М.Штерн, Насер Аль-Халаса и др.// Збірник наукових праць Донецького державного університету управління „Проектно-орієнтована діяльність соціально-економічних систем: сучасний погляд”. Випуск 158.-2010.-С.18-23.
3. Звягильский Е.Л. Исследование процесса перераспределения метана вокруг движущегося очистного забоя / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, В.В. Назимко. – Донецк: Норл-Пресс, 2005. – 193 с.
4. Ильяшов М. А. Бурение скважин для освоения метаноугольных месторождений Донбасса/ М. А. Ильяшов, О. Д. Кожушок, В. А. Турчин и др.// Журнал: Буріння – №1 (9) – 2012. – С. 89 – 92.
5. Скоростное сооружение дегазационных скважин с поверхности / О.Д.Кожушок, М.А.Ильяшов, А.В.Агафонов и др.//Уголь Украины – №3 – 2013. – С. 35 – 37.
6. Фильтрационные параметры коллектора – углепородного массива, подработанного горными выработками / В. В. Лукинов, А. П. Клец, В. В. Бобрышев [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып. № 37. – С. 74 – 79.
7. Спосіб управління проектом дегазації високонавантаженого діючого очистного вибою/ Назимко В.В., Пілюшенко В.Л., Пономаренко О.В., та ін.// Патент України 102953. Заявка на винахід № а 2012 08881 від 18.07.2012, МПК(2013.01) E21F7/00. Опубл. 27.08.2013, бюл. №16.-6с.