

С точки зрения потеря энергии при работе, как уже было сказано, за счет меньших потерь энергии в стали в установившихся режимах работы, рассмотренная система управления скоростью более эффективна.

Представленный анализ доказывает, что рассмотренная система управления скоростью более эффективна с энергетической точки зрения по сравнению с выпускаемыми промышленностью преобразователями частоты с векторным управлением. Результаты сравнительного анализа, подтверждающие сделанные выводы, приведены в таблице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялов В.М., Неверов А.А., Семыкина И.Ю. Многокритериальное управление асинхронным электроприводом // Вестн. КузГТУ, 2005. №1. С.81-84.
2. Мирошник И.В. Нелинейное адаптивное управление сложными динамическими системами / Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. – Спб.: Наука, 2000 г. 549с.
3. Панкратов В.В. Векторное управление асинхронными электроприводами: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999 г. 66с.

Авторы статьи:

Завьялов
Валерий Михайлович
- канд. техн. наук, доц. каф. электропривода и автоматизации

Семыкина
Ирина Юрьевна
- студентка

УДК 622.817.47.002.8

Г.И. Разгильдеев, Г.А. Казунина

МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИНЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНОГО МЕТАНА

В [1] приведены основные характеристики газомоторной установки (ГМУ) для производства электроэнергии, работающей на остаточном метане, извлекаемом с помощью специально пробуренной скважины из выработанного пространства закрытой шахты "Кольчугинская" в г. Ленинске – Кузнецком Кемеровской области. Отметим, что это первая в России установка такого рода. В процессе пуско – наладочных работ и последующей эксплуатации ГМУ стало ясно, что на стабильность ее работы в существенной мере влияет неравномерность поступление метана из скважины как по концентрации, так и по дебиту. Такие явления ранее были известны и при извлечении метана из дегазационных скважин.

Известны обширные исследования ВостНИИ, проведенные в 1987 – 1990 гг. на всех дегазационных скважинах шахт Кузбасса (была проанализирована работа 52 дегазационных скважин на протяжении трех лет), где установлено, что дебит и концентрация метана меняются во времени спонтанно и практически не поддаются описаниям какими - либо известными закономерностями. Для примера на рис. 1 приведены результаты измерения дебита и концентрации метана из дегазационной скважины передвижной установки (ПДУ) № 2 на шахте "Октябрьская", а на рис. 2 – из

скважины на закрытой шахте "Кольчугинская" при работе ГМУ.

Эти же неравномерности в процессе работы ГМУ были отмечены и при опытной эксплуатации газомоторного комплекса G3516 "Caterpillar" на шахте "Чертинская" [2]. Здесь было установлено, что в процессе ее работы в течение времени T_P концентрация метана, измеряемая инфракрасным газоанализатором, снижалась с первоначального значения K_0 до критического $K_K = 30 \%$, при которой защита отключала газовый двигатель. Через некоторое время T_B концентрация поднималась до некоторого значения K_B , при которой ГМУ вновь включалась в работу.

Наработку T_P ГМУ на критическую концентрацию K_K , как случайную величину, можно охарактеризовать некоторой плотностью распределения $f(T)$ со средним значением $T_{P,CP}$. В условиях шахты "Чертинская" эта наработка составляла 16 ч, а на шахте "Кольчугинская" – 8 ч. Разница объясняется тем, что на шахте "Чертинская" дегазационные скважины были пробурены в выработанное пространство одновременно с ведением горных работ не более 5 – 7 лет назад, а на закрытой шахте "Кольчугинская" – в пространство, где выемка угля велась 20 – 23 года назад и в зоне ее

влияния произошло уплотнение обрушенных горных пород, то есть ухудшилась газопроницаемость горного массива.

Процесс изменения концентрации метана можно разделить на локальный и глобальный.

Оба процесса являются нисходящими, поскольку со временем снижается общий объем метана, заключенного в выработанном пространстве. При этом нельзя не учитывать возможность поступление метана из подработанных и надработанных пропластков и из оставленных целиков угля уже после прекращения горных работ и закрытия шахты.

Если допустить, что выделение метана из этих источников находится в некотором соотношении с его потреблением работающей ГМУ, а процессы снижения концентрации и ее восстановления подчиняются экспоненциальному закону, как одному из общих законов природы, то процесс можно представить в виде, приведенном на рис. 3. Здесь показано, что первоначальная концентрация K_0 через промежуток времени T_{Pl} работы ГМУ снизится и станет равной

$$K_{KP} = K_0 \exp(-\lambda T_{Pl})$$

После включения ГМУ она будет остановлена через некоторый промежуток времени T_{Pl} (точка K_1) из-за низкой концентрации метана.

За время ее простоя в течение времени T_{Pl} концентрация газа за счет поступления его из отдаленных коллекторов увеличится по показательному закону:

$$\begin{aligned} K_2 &= K_K [2 - \exp(-\mu T_m)] = \\ &= K_0 \exp(-\lambda T_{Pl}) [2 - \exp(-\mu T_m)], \end{aligned}$$

где λ и μ – параметры.

Возрастающий показательный закон в данном случае отражает процессы диффузии, по которым метан перемещается из областей с большой его концентрацией в область с низкой концентрацией вокруг скважины.

Длительности периодов работы ГМУ T_{Pl} и простоя T_{Pi} являются случайными величинами, которые полностью определяются законами распределения.

Закон распределения длительностей работы ГМУ удобно представить в виде:

$$f(T_P) = \gamma \exp(-\gamma T_{Pcp}),$$

а простоя –

$$f(T_{Pi}) = \beta \exp(-\beta T_{Pcp}).$$

Основаниями для представления приведенных выше законов распределения в виде экспоненциальных зависимостей являются опытные данные, полученные при эксплуатации ГМУ на шахте "Чертинская" и на закрытой шахте "Кольчугинская".

Глобальное достижение значения концентрации в точке K_2 произойдет через $2K$ циклов снижения и повышения концентрации метана. Значение K_{KP} в точке K_3 означает, что концентрация

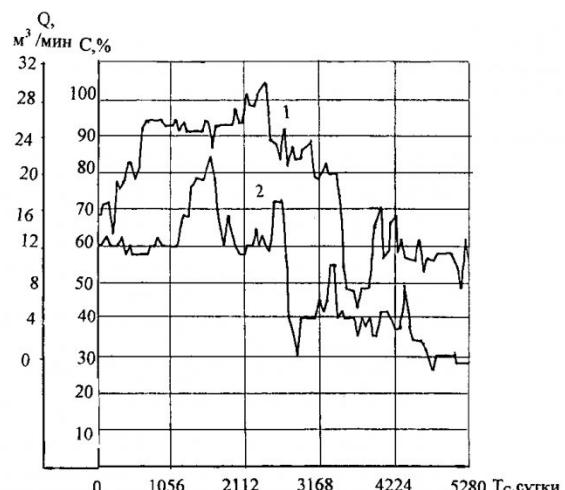


Рис. 1. Изменения дебита (1) и концентрации метана (2) при работе дегазационной скважины на шахте «Октябрьская» ОАО «Ленинскоголь»

метана в коллекторе снизилась ниже 30 % и пуск газового двигателя в работу невозможен, то есть скважина полностью отдала свой газовый ресурс.

Время течения процесса снижения концентрации

$$T = \sum_{i=1}^{2K} T_{Pi},$$

а значение параметра вычисляется по формуле:

$$K_{KP} = K_0 \exp \left(-\lambda \sum_{i=1}^K T_{Pi} - 1 \prod_{i=1}^K [2 - \exp(-\mu T_{Pi})] \right) \quad (1)$$

Периоды работы и простоя ГМУ являются независимыми случайными величинами. Математи-

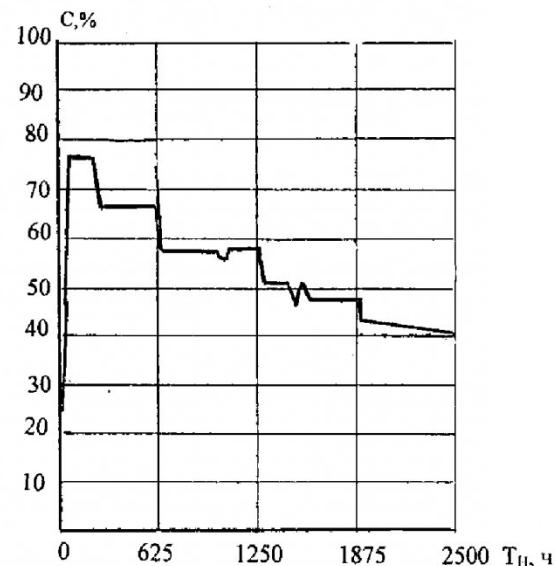


Рис. 2. Изменение концентрации метана из скважины на закрытой шахте «Кольчугинская» ОАО «Ленинскоголь» при работе ГМУ

ческое ожидание случайной величины $X_i = \exp(-\lambda T_{Pi-1})$, $i=1,2,\dots,k$, где величина T_{Pi-1} полностью определяется плотностью распределения $f(T_{Pi})=\beta \exp(-\beta T_{Pi-1})$ и вычисляется по формуле:

$$M(X_i) = \int_0^\infty \exp(-\lambda T_{Pi-1}) \beta \exp(-\beta T_{Pi-1}) dT_{Pi-1} = \\ = \beta \int_0^\infty \exp[-(\lambda + \beta)T_{Pi-1}] dT_{Pi-1} = \frac{\beta}{\beta + \lambda}.$$

Опуская промежуточные преобразования, приведем формулы для определения математического ожидания времени наработки скважины на критическую концентрацию (математическое ожидание срока службы скважины)

$$M(T) = \frac{\beta + \gamma}{\beta \gamma} \log t \left(\frac{K_0}{K_{kp}} \right),$$

где

$$t = \frac{(1+a)}{b}, a = \frac{\lambda}{\beta}; b = \frac{\mu}{\gamma}; \gamma \\ 1 + \frac{b}{1+b}$$

– параметр закона распределения времени работы ГМУ; β – параметр закона распределения продолжительности простоя.

В связи с изменчивым характером поступления метана в скважину можно дать оценки для времени наработки скважины на критическую концентрацию метана. Левая оценка для T_L находится с помощью дополнительного условия, которое состоит в том, что траектория изменения концентрации не имеет изломов. Это условие представим в виде $K_0 \exp(-\lambda T_L) = K_{kp}$ откуда левая оценка срока службы скважины

$$T_L = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{K_0}{K_{kp}} \right). \quad (3)$$

Левая оценка представляет, по сути, среднее время работы ГМУ на первое снижение концентрации ниже критического уровня ($K_{kp} = 30\%$).

Оценку длительности работы (срок службы) скважины можно получить из предположения о том, что огибающая семейства траекторий изменения параметра $K_2(T)$ (пунктирная прямая $K_2(T)$ на рис. 3) не имеет изломов и проходит через начальную точку этого семейства и второй излом траектории. Уравнение огибающей можно представить в виде:

$$K = K_0 \exp(-CT).$$

При $K = K_0$ и $T = 0$

$$K_0 \exp(-\lambda T_{Pcp}) / [2 - \exp(-\mu T_{Pcp})] = \\ = K_0 \exp[-C(T_{Pcp} + T_{Pcp})]. \quad (4)$$

Из (2) можно получить соотношения, содер-

жащие случайные величины T_{Pi} и T_P :

$$2 - \exp(-\mu T_{Pi}) = \exp[(\lambda - C)T_P] \exp(-CT_{Pi}). \quad (5)$$

Переход к математическим ожиданиям, вытекающим из (5), и дальнейшие преобразования позволяют получить

$$C = \beta \left[\frac{a+1-m}{2} + \sqrt{\left(\frac{a+1-m}{2} \right)^2 + \frac{m(a+2ab+b)}{1+2b}} \right],$$

где $m = \frac{\gamma}{\beta}$; $a = \frac{\lambda}{\beta}$; $b = \frac{\mu}{\gamma}$; β – параметр распределения времени простоя; γ – параметр закона распределения времени работы ГМУ; λ и μ – параметры локальных законов снижения и повышения концентраций.

Поскольку уравнение огибающей известно, то оценка длительности жизни скважины (срока ее службы) можно получить из соотношения:

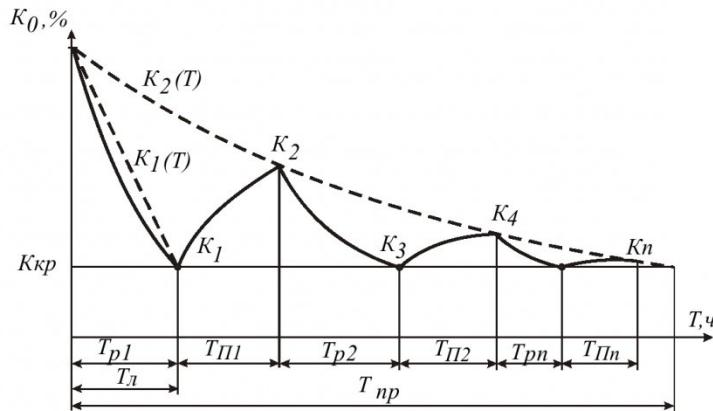


Рис. 3. Процессы локального и глобального изменения концентрации метана, поступающего в скважину из выработанного пространства

$$K_0 \exp(-CT_{np}) = K_0,$$

откуда имеем

$$T_{np} = \frac{1}{C} \ln \left(\frac{K_0}{K_{kp}} \right). \quad (6)$$

Формулам (2), (3) и (6) можно придать унифицированный вид:

$$M(T) = B \cdot \exp \left[-\ln \left(\frac{m\beta}{m+1} \right) \ln t \right]; \\ T_L = B \cdot \exp(-\ln \lambda); \\ T_{np} = B \cdot \exp(-\ln C), \quad (7)$$

где $B = \ln(K_0/K_{kp})$ – величина, зависящая от свойств газопроницаемости выработанного пространства, служащего коллектором метана в закрытой шахте.

Таким образом, методы математической статистики позволяют по результатам наработки ГМУ на критическую концентрацию K_{kp} определить срок службы скважины и на этой основе рассчитать их число для обеспечения беспрерывной работы газового двигателя путем его последовательного переключения с одной скважины на дру-

гую.

Расчеты по формулам (7) показывают – левая оценка длительности локальной газоотдачи скважины при $K_0/K_{KP} = 1.35$ и $\lambda=0,1$ не превышает 6 ч, что подтверждено на основе опыта эксплуатации ГМУ на закрытой шахте "Кольчугинская";

– правая оценка (предельный срок службы скважины до истощения запасов метана) составляет не более 1075 ч наработки, то есть работы ГМУ по извлечению метана.

Примем, что скорость снижения концентрации метана V , (%)/ч при работе ГМУ и скорость восстановления после отключения равны между собой, то есть

$$VC \approx VB = \frac{K_0 - K_{KP}}{tp} = \frac{\Delta K}{tp},$$

где K_0 – начальная концентрация CH_4 ; K_{KP} – критическая концентрация ($K_{KP}=30\%$); t_p – время, в течение которого концентрация снизится с K_0 до K_{KP} .

Поскольку оценка срока службы скважины слева T_L известна, то число скважин, обеспечивающих беспрерывную работу ГМУ, будет

$$n_{CKB} = T_{СУТ}/T_L = 24/6 = 4.$$

Это означает, что беспрерывную работу ГМУ на остаточном метане могут обеспечить 4 скважины, на которые необходимо последовательно переключать ГМУ по мере снижения концентрации в работающей скважине.

Срок службы скважины T_{KL} в качестве источника метана от начала эксплуатации до глобального снижения его концентрации можно также определить из соотношения

$$T_{KL} = B \exp(-\ln C),$$

где $B = \ln(K_0/K_K)$; C – постоянная газоотдачи

скважины, равная отношению времени T_{50} , в течение которого концентрация метана возрастет от критического $K_K = 30\%$ вдвое, то есть до 60 %, ко времени T_P .

Опытная эксплуатация газоотсасывающей ГМУ на закрытой шахте "Кольчугинская" подтвердила этот вывод.

Концентрации снижалась каждый раз после включения ГМУ до критического значения (из-за конструктивных особенностей газового двигателя она составляла 40 %), а затем после простоя в течение некоторого времени повышалась до 52 – 54 %, при которой ГМУ вновь включали в работу. Вместе с тем происходило глобальное (общее) снижение концентрации метана за счет сокращения его запасов в выработанном пространстве.

На основе этих выявленных закономерностей возможно сделать три вывода:

- для обеспечения бесперебойной работы ГМУ на остаточном метане закрытой шахты необходимо предусматривать бурение нескольких скважин, расстояния между которыми должны быть приняты с учетом газосодержания выработанного пространства, как коллектора газа;

- продолжительность эксплуатации скважины как источника метана в существенной мере определяется не только общими его запасами в выработанном пространстве, но и зависит от газопроницаемости горных пород, которая, в свою очередь, зависит от времени, прошедшего после их обрушения;

- газоотдача скважин меняется во времени по дебиту и концентрации метана.

Закономерности этих процессов пока не изучены и неизвестна их природа этих изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разгильдеев Г.И., Серов В.И., Шкабара Н.С. Газоотсасывающая и электрогенерирующая установка на закрытой шахте. – Энергосбережение и энергоэффективность экономики Кузбасса.- Приложение к журналу "ТЭК и ресурсы Кузбасса".- 2004, № 5.- с.39 – 43.
2. С. С. Золотых, Н. И. Ларин, А. Н. Жаров, Г. И. Разгильдеев "О рациональных параметрах газомоторных установок, работающих на шахтном метане". – В кн.: "Труды международной научно-практической конференции "Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности". – Кемерово, 1999. – с. 58.

□ Авторы статьи:

Разгильдеев

Геннадий Иннокентьевич

- докт. техн. наук, проф.

каф.электроснабжения горных и промышленных предприятий, директор научно-технического и экспертно-испытательного центра электрооборудования и систем электроснабжения (НТЭИцентр) КузГТУ

Казунина

Галина Алексеевна

- канд. физ.- мат. наук, доц. каф.

высшей математики