

УДК 622. 67



Н. А. ЧЕЛАТЫЙ,
канд. техн. наук
(ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)



А. Ю. ГРИЦЕНКО,
инж.
(ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)

Факторы повышения эффективности шахтных стационарных установок

Проанализированы основные факторы, влияющие на эффективность эксплуатации ШСУ. Предложена модель на основе аппарата нечеткой логики, которая позволяет указать и спрогнозировать область эффективного использования ШСУ.

Проблемы обеспечения эффективности и безопасности в угледобыче напрямую связаны с крайне неудовлетворительным состоянием основных производственных фондов. На протяжении последних 20 лет в угольной отрасли масштабная реконструкция шахтного фонда и плановая замена устаревшего оборудования не проводились. В настоящее время темпы старения горношахтного оборудования опережают его обновление и модернизацию. В целом степень износа основных производственных фондов составляет более 60 %, а по отдельным компаниям она достигла 70 %. Использование устаревшего оборудования, которое отработало несколько сроков службы, вызывает постоянное увеличение доли затрат на его содержание в себестоимости добычи угля и может привести к аварийной ситуации. Зафиксированные отказы по характеру возникновения разделены на внезапные (77 %) и постепенные (23 %). Основные причины их возникновения – конструктивные недоработки (12 %), некачественное изготовление (20 %) и неудовлетворительная эксплуатация, т. е. несоблюдение

сроков и объемов профилактики, нарушение требований инструкций и др. (45 %).

Анализ травматизма на угольных шахтах [1] показал, что четверть всех несчастных случаев произошла по причинам, в которых преобладают факторы несовершенства техники и технологии, а остальные – по организационным. Модернизация техники требует значительных капитальных вложений, следовательно, направлением уменьшения количества несчастных случаев является совершенствование технологии производства и организации проведения работ.

В условиях низкой рентабельности предприятий, отсутствия средств на приобретение нового оборудования и модернизацию существующего важно достичь максимальной эффективности эксплуатируемых шахтных стационарных установок (ШСУ) – вентиляторных, водоотливных, компрессорных и подъемных. В первую очередь следует обратить внимание на режимы работы оборудования, что не требует значительных материальных затрат и может оказаться достаточно весомым.

Решению вопроса повышения эффективности и безопасности эксплуатации ШСУ уделяется достаточно внимания [2, 3]. Так, известные системы контроля и управления для горной промышленности фирм «Trans-

mitten», «Trolex», «ABB» и «FHF» обеспечивают непрерывный контроль параметров безопасности горных машин и общее состояние промышленной безопасности, анализ и организацию управления технологическими процессами (ТП), накопление, обработку и отображение оперативной производственной информации.

Одна из главных задач повышения эффективности эксплуатации ШСУ – формирование оптимального режима работы оборудования, а также его оперативная корректировка с учетом изменения производственной ситуации. При этом необходимо наличие модели управления ШСУ, которая достаточно точно отразит процесс функционирования объекта, обеспечит анализ производственной ситуации, прогнозирование и оптимизацию режимов работы оборудования.

Цель работы – совершенствование методов управления, направленных на повышение эффективности эксплуатации ШСУ.

Анализ факторов, влияющих на эффективность эксплуатационной ШСУ, позволил классифицировать их показатели по группам (рис. 1):

первая – характеризуют этапы внедрения: разработка проекта, поставка составных частей и их монтаж;

вторая – характеризуют производственный процесс: технический и организационный уровень производства, техническое обслуживание и ремонт, эффективность использования ШСУ;

третья – дают представление об уровне эффективности управления производственным процессом: информационное обеспечение и автоматизация процесса управления, безопасность эксплуатации, управляющие воздействия, характер технологического процесса;

четвертая – определяют возможность адаптации технологической схемы производства: изменения условий производства и функционирования, а также взаимодействие с другими ШСУ.

Объединение в группы выполнено в соответствии с особенностями содержания мероприятий. Поэтому каждой группе присущи свои методы реализации эксплуатационной эффективности ШСУ.

Так, реализация показателей *первой группы* зависит от качества выполнения работ, необходимых для обеспечения предъявляемых требований и позволяющих получить полное представление о конструкции ШСУ, оценить ее соответствие требованиям технического задания, степень сложности, удобство монтажа, целесообразность и возможность ремонта.

При разработке технического проекта:

- разрабатывают необходимые схемы и обосновывают технические решения, обеспечивающие показатели надежности;

- оценивают эксплуатационные данные устройства (взаимозаменяемость, удобство обслуживания, ремонтпригодность, устойчивость к воздействию факторов внешней среды, возможность быстрого устранения отказов);

- проверяют соответствие принимаемых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

- составляют уточненный перечень работ, которые следует выполнить на стадии разработки рабочей документации, в дополнение (или уточнение) к работам, предусмотренным техническим заданием.

Реализация показателей *второй группы* зависит от достигнутого уровня развития средств производства, методов организации и управления. Совершенствование организационно-технического уровня производства – комплексный непрерывный процесс, охватывающий научно-технический прогресс и научно-технический уровень производства продукции, структуру хозяйственной системы и методы хозяйствования. Методика анализа организационно-технического уровня основывается на использовании двух групп аналитических показателей: организационно-технического уровня производства (характеризует качество продукции, уровень техники и технологии, организацию производства, труда и управления) и экономической эффективности его совершенствования (дает комплексную экономическую характеристику производства и эффективности повышения его организационно-технического уровня).

Информация о затратах дает представление о влиянии работы ШСУ на прибыльность или убыточность деятельности предприятия, позволяет анализировать и сравнивать показатели эффективности отдельных установок.

Задача технического обслуживания и ремонта включает в себя следующие функции:

- учет времени наработки оборудования;
- учет времени и причин простоя оборудования;
- анализ состояния оборудования и выявление предаварийных ситуаций по косвенным признакам;
- передачу исходных данных для расчета плана ремонтов.

Решение этой задачи помогает приблизиться к проведению ремонтов и технического обслуживания

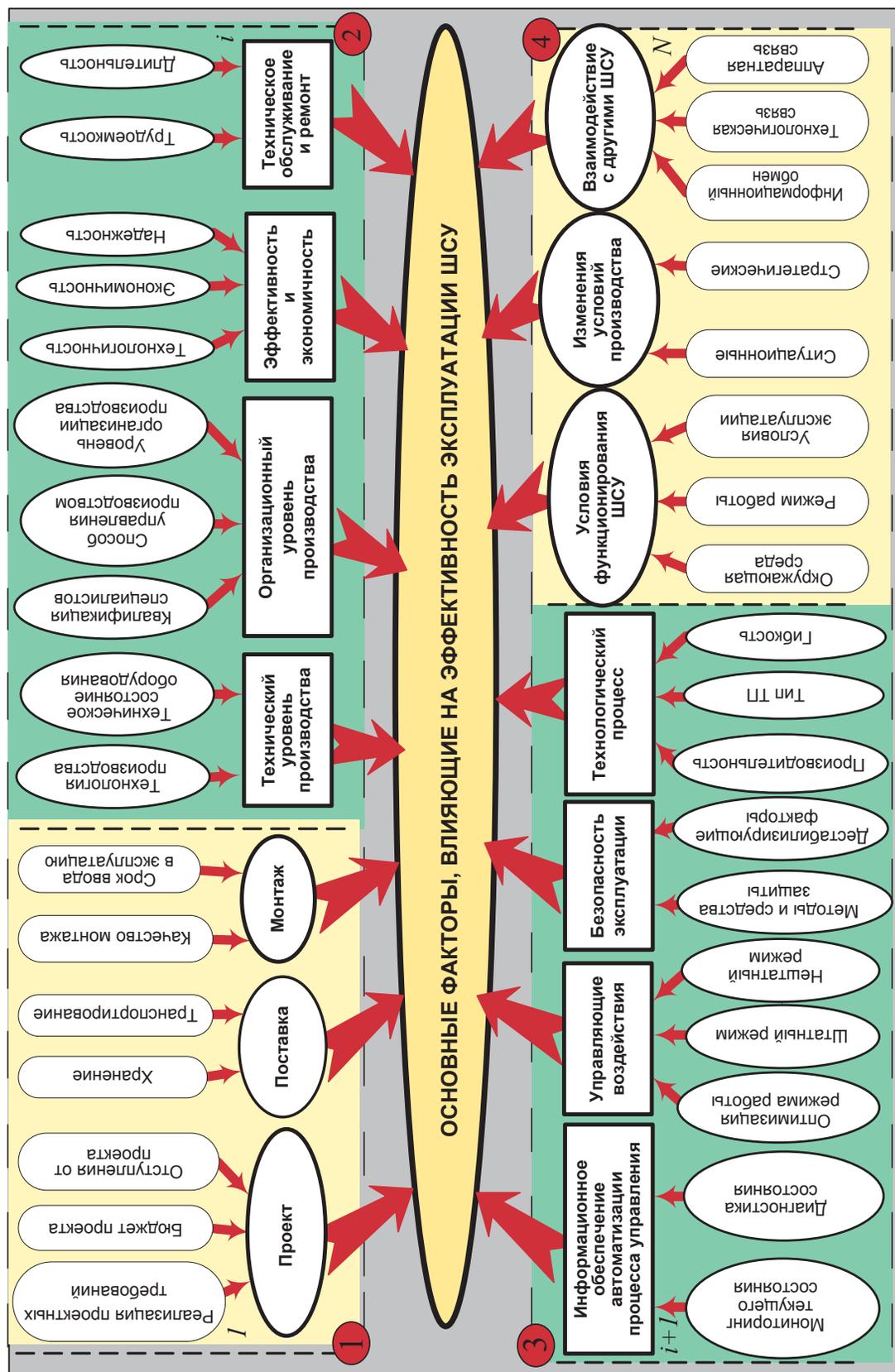


Рис. 1. Основные факторы эффективности эксплуатации шахтных стационарных установок.

ния оборудования «по состоянию», что также дает ощутимый экономический эффект.

Реализация показателей *третьей группы* заключается в снижении себестоимости продукции и повышении качества.

Успешного достижения конечного результата – значительного скачка эффективности производственного процесса – можно добиться за счет автоматизации процессов контроля, управления и анализа состояния ШСУ. Автоматизация процесса управления обеспечивает:

- мониторинг загрузки технологических мощностей, регистрацию и оповещение об отклонениях технологического процесса от заданных режимов и нормативов;
- расчет отклонений фактических показателей от производственного плана в реальном времени;
- формирование производственной отчетности.

Управляющие воздействия включают такие виды режимов:

штатный, ранее неоднократно имевший место; в этом случае следует выбрать один из уже имеющихся альтернативных вариантов;

нештатный, нестандартные управленческие решения; их выработка связана с поиском новых альтернативных вариантов;

оптимизационный, включающий применение параметров технологических процессов, связанных с износом ШСУ, и условий производства.

В современных технологиях разработки ШСУ, с позиции обеспечения их эксплуатационной надежности и безопасности, можно выделить методы и средства, позволяющие обнаруживать предаварийные ситуации и устранять отказы путем систематического тестирования состояния ШСУ; удостоверять достигнутые качество управления и безопасность применения ШСУ в процессе их сертификации перед сдачей в эксплуатацию.

Комплексное, скоординированное применение таких методов и средств в процессе эксплуатации ШСУ дает возможность исключить некоторые виды отказов или значительно ослабить их влияние. При этом уровень достигаемой безопасности эксплуатации ШСУ становится предсказуемым и управляемым, непосредственно зависящим от ресурсов, выделяемых на его достижение.

Показатели *четвертой группы* влияют на уровень эффективности эксплуатации ШСУ и сигнализируют о необходимости применения адаптированного управления установками, вызванного изменениями условий производства.

Адаптивность может быть достигнута двумя способами:

заложить эксплуатационные параметры, которые будут гарантировать функционирование ШСУ в пределах изменяющихся неблагоприятных условий;

обеспечить гибкость организационной структуры и системы управления ШСУ.

Адаптивный механизм – составная часть системы управления ШСУ, способствующей целенаправленному воздействию на факторы, от состояния которых зависит результативность деятельности предприятия.

Поскольку добыча угля является конечным результатом работы цепочки взаимосвязанных технологических процессов, то при пуске и останове некоторых ШСУ требуется выполнение специфических точно синхронизированных операций. Из хронометража наблюдения следует [3], что простой одного звена в цепи угледобычи вызывает простои такой же длительности трех-четырех смежных звеньев. Это показывает, сколь важно поддерживать достаточную степень надежности горношахтного оборудования, его работоспособность. Решение указанной задачи позволит существенно повысить эффективность работы угольного предприятия по показателям себестоимости и качества конечного продукта.

Критерии эффективности управления тесно связаны с целями предприятия. Специфика управления состоит в том, что формирование целей является функцией самого управления, а их реализация осуществляется как в рамках функционирования предприятия, так и отдельного управляемого объекта.

Модель эффективности эксплуатации ШСУ может быть построена с использованием нечеткой логики [4]. В соответствии с рис. 1 в классификаторе на входе будет вектор значений лингвистических переменных $\{\varphi_i\}_1^N$ размерности N , а на выходе – в общем случае вектор классифицирующих выходных термов $\omega = \{\omega_j\}_1^M$ размерности M :

$$\{\varphi_i\} \Rightarrow \{\omega_j\}, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M},$$

где φ_i – i -й терм из совокупности значимых входных переменных (рис. 1), принимающих значения в соответствии с выбранными функциями принадлежности; ω_j – j -й терм из совокупности значимых выходных переменных вывода группы сформированных нечетких правил.

База знаний представляется следующим образом:

$$\begin{aligned} &\text{если } \left[(\varphi_1 = \xi_{1,j1}) \text{ и } (\varphi_2 = \xi_{2,j1}) \text{ и } \dots \text{ и } (\varphi_N = \xi_{N,j1}) \right]_{\alpha_{j1}}, \\ &\text{или } \left[(\varphi_1 = \xi_{1,j2}) \text{ и } (\varphi_2 = \xi_{2,j2}) \text{ и } \dots \text{ и } (\varphi_N = \xi_{N,j2}) \right]_{\alpha_{j2}}, \\ &\dots \\ &\text{или } \left[(\varphi_1 = \xi_{1,K^j}) \text{ и } (\varphi_2 = \xi_{2,K^j}) \text{ и } \dots \text{ и } (\varphi_N = \xi_{N,K^j}) \right]_{\alpha_{jK^j}}, \end{aligned} \quad (1)$$

то $\omega = \omega_j$,

где ξ_{i,jK^j} – нечеткий терм оценки переменной ω_j ;
 K^j – количество строк в матрице базы, где выход оценивается значением ω_j ;
 α_{jK^j} – коэффициент j -го правила, $\alpha_{jK^j} \in [0,1]$.

Суммарные степени принадлежности μ_{ω_i} объектов φ_i каждой строки базы знаний различным термам ω_i вычисляются из выражения

$$\mu_{\omega_j} = \max_{p=1, K^j} \left[\alpha_{jp} \min_{i=1, N} (\mu_{jp}(\varphi_i)) \right], \quad (2)$$

где $\mu_{jp}(\varphi_i)$ – степень принадлежности входа φ_i в терму $\xi_{i,jp}$.

За решения принимаются правила с максимальной степенью принадлежности:

$$\omega = \max [\mu_{\omega_1}, \mu_{\omega_2}, \dots, \mu_{\omega_M}].$$

Нечеткий классификатор настраивают подбором весовых коэффициентов и функций принадлежности по R пар эмпирических данных, связывающих входы $\{\varphi_i\}_1^N$ с выходом ω :

$$[\bar{\varphi}_l, \omega_l], l = \overline{1, R},$$

где $\bar{\varphi}_l$ – входной вектор значений пары вида $\{\varphi_i\}_1^N$;
 ω_l – соответствующее значение на выходе классификатора.

В качестве критерия настройки можно применить расстояние между результатом классификатора в виде нечеткого множества

$$(\mu_{\omega_1}(\bar{\varphi})/\omega_1, \dots, \mu_{\omega_M}(\bar{\varphi})/\omega_M)$$

и значением выходной переменной в обучающей выборке $\bar{\omega}^*$. Выходную переменную ω_j в обучающей выборке преобразуют в лингвистические переменные использованием только единичных и нулевых функций принадлежности:

$$\bar{\omega}^* = \left(\frac{1}{\omega_1}, 0, \dots, 0 \right), \bar{\omega}^* = \left(0, \frac{1}{\omega_2}, \dots, 0 \right), \dots, \bar{\omega}^* = \left(0, \dots, 0, \frac{1}{\omega_M} \right). \quad (3)$$

Для настройки классификатора находится вектор \bar{M}, \bar{A} :

$$\frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^M \left[\mu_{\omega_j}(\bar{\omega}_r) - \mu_{\omega_j}(\bar{\varphi}_r, \bar{M}, \bar{A}) \right]^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где \bar{M} – вектор параметров функций принадлежности термов входных и выходной переменной;

\bar{A} – вектор весовых коэффициентов правил базы знаний;

$\mu_{\omega_j}(\bar{\omega}_r)$ – степень принадлежности значения выходной переменной в r -й паре обучающей выборки к решению ω_j ;

$\mu_{\omega_j}(\bar{\varphi}_r, \bar{M}, \bar{A})$ – степень принадлежности выхода модели с параметрами \bar{M}, \bar{A} к решению ω_j , определяемая функциями min/max уравнения (2);

R – количество обучающих выборок $\bar{\varphi}_r$ в базе.

Минимизация соотношения (4) может быть проведена любым существующим методом.

Как следует из изложенного, система показателей эффективности создает предпосылки для выявления резервов улучшения производства и обеспечивает информацией об эффективности эксплуатации ШСУ все звенья управленческой иерархии.

Выводы. Предложена стратегия оценки оптимального функционирования стационарных установок шахт, учитывающая критерии показателей эффективности оборудования и качество эксплуатации шахтных стационарных установок. Использование системы нечеткой логики позволяет классифицировать работу ШСУ, отразить процесс функционирования объекта, обеспечить анализ производственной ситуации, прогнозирование и оптимизацию режимов эксплуатируемого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Грядущий Б. А.* Предотвращение аварий и травматизма при эксплуатации горношахтного оборудования / Б. А. Грядущий, Н. Б. Левкин // Проблемы эксплуатации обладнання шахтних стаціонарних установок: зб. наук. праць. – Донецьк: НДІГМ, 2002. – Вип. 95. – С. 23–29.
2. *Брюм В. З.* Применение телекоммуникационной системы УТАС для обеспечения промышленной безопасности шахт / В. З. Брюм, Н. А. Чехлатый, В. Б. Грядущий // Проблемы эксплуатации обладнання шахтних стаціонарних установок, науч.-техн. конф., 25 дек. 2009 г.: материалы; под ред. Б. А. Грядущего. – Донецк: НИИГМ, 2009. – 268 с.
3. *Энергосбережение в угольной промышленности* / [В. И. Мялковский, Н. А. Чехлатый, Г. Н. Лисовой и др.]; под ред. Б. А. Грядущего. – Донецк: НИИГМ, 2006. – 336 с.
4. *Штовба С. Д.* Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.