

УДК 669.013:658.382.3:303.43

Л.Г.Тубольцев, Н.И.Падун, Г.Н.Голубых, А.М.Шевченко

СТРАТЕГИЯ СИСТЕМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены аспекты обеспечения промышленной безопасности с применением теории вероятности. Показано, что безаварийная работа металлургических агрегатов может быть обеспечена при помощи использования комплексного учета технических, технологических и организационных факторов производства.

Масштабы металлургических предприятий и непрерывность технологического процесса, протекающего при высоких температурах, являются отличительными особенностями производства черных металлов. Так, например, предприятие с полным металлургическим циклом (рис.1), с годовой производительностью 5 млн. т металла ежедневно потребляет и перерабатывает свыше 60 тыс. т сырых материалов: руды, угля, известняка и др.

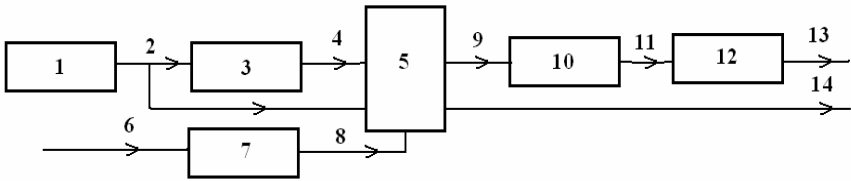


Рис. 1. Схема технологического потока крупного предприятия с полным металлургическим циклом: 1 – рудники; 2 – руда; 3 – аглофабрика (окомковательная фабрика); 4 – агломерат (окатыши); 5 – доменное производство; 6 – уголь; 7 – коксохимический завод; 8 – кокс; 9 – чугун; 10 – сталеплавильное производство; 11 – сталь; 12 – прокатное производство; 13 – прокат; 14 – литейный чугун

Бесперебойный выпуск качественной продукции таких гигантов, как металлургический комбинат, требует слаженной, четкой и безопасной работы всех его подразделений. Не менее сложной системой является и каждый цех предприятия с его инфраструктурой. Все они могут быть квалифицированы как сложные технические системы, бесперебойность и безопасность работы которых является залогом стабильности выпуска продукции запланированных объемов и качества.

Процессы функционирования сложных технических систем и обеспечения их безопасности во многом принципиально различны. Первые ориентированы на достижение цели с помощью сложной технической системы, поэтому им уделяется основное внимание на всех стадиях жизненного цикла изделия. Вторые представляются определенной категорией специалистов второстепенными, поскольку создается мнение, что все основные

проблемы работоспособности и надежности, а следовательно, и безопасности изделия решены на этапах его разработки, доработки, доводки, испытаний. В результате появляются прецеденты, когда разработка целей, задач, требований к системе безопасности и, прежде всего, к системе технического диагностирования (СТД) не получает должного обоснования. И, как следствие, оказывается, что показатели и свойства разработанной системы безопасности не соответствуют реально необходимыми потребностям сложных объектов, для которых они разрабатывались.

Анализ причин аварий, произошедших в последние годы на ряде металлургических агрегатов Украины, показывает, что они происходят не только по техническим или технологическим причинам, но и вследствие недостаточно профессиональных действий обслуживающего персонала [1]. Многофакторность причин возникновения аварий требует системного подхода к рассмотрению возможности их предотвращения, т.е. к проблеме промышленной безопасности.

Все звенья технологической цепи металлургического предприятия рассчитываются на вполне определенную производительность, поэтому остановка или выход из строя какого-либо агрегата (агломерационной ленты, доменной печи или прокатного стана) отражается на работе всего производственного комплекса в целом. Остановка отдельных механизмов может привести не только к сокращению выпуска продукции, но в ряде случаев и к повреждению основного оборудования. Например, даже кратковременное прекращение подачи охлаждающей воды к доменным или сталеплавильным печам вызывает пережог охладительных устройств; вынужденный перерыв в прокатке при наличии горячего металла в клетях может привести к образованию трещин в валках и т.д.

Рассмотрим металлургическое производство как единый производственный объект, т.е. как многокомпонентную систему. В этом случае необходимо использовать постулат системности [2], который является одним из основополагающих в теории гиперкомплексных динамических систем (ГДС). В рамках методологии теории ГДС любой исследуемый объект можно рассматривать как систему, под которой в наиболее общем случае понимают гиперкомплексную динамическую систему S , определяемую символически в виде:

$$S = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} S_i^j \quad (1)$$

где S_i^j – системные инварианты; i – индекс, определяющий вид системной инварианты, j – индекс качества, определяющий способ представления системных инвариантов, например $j=1$ соответствует математическому описанию инвариантов, $j=2$ – физическому и т. д.

Исходя из метатеоретического характера понятий теории ГДС, знак суммы, в (1) не следует понимать в общепринятом в математике смысле.

В частности, гиперкомплексное суммирование может трансформироваться в обычное (алгебраическое) сложение, в логическую операцию конъюнкции (операция «и») и т. д. Аналогичное замечание может быть сделано относительно всех терминов, символов и знаков, используемых в теории ГДС.

Любая ГДС или системная модель, построенная в соответствии с закономерностями теории ГДС, подчиняется основному закону: каждая ГДС стремится реализовать в своем поведении функцию идеального гиперкомплексного гиратора [3]. Символическое отображение основного закона ГДС в наиболее общей форме имеет вид:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_r \quad (2)$$

где t – время; S_r – гираторная компонента системы S .

Отметим, что любую ГДС можно разложить на составляющие S_a (разомкнутая составляющая, отображающая явления гиперкомплексной дивергенции) и S_r (замкнутая составляющая, отображающая явления гиперкомплексной ротации, гиперкомплексной циркуляции):

$$S = S_a \oplus S_r, \quad (3)$$

где \oplus – символ гиперкомплексного взаимодействия системных компонент S_a и S_r .

В соответствии с теорией гиперкомплексных динамических систем [2] промышленное производство представим как сложную систему, управление которой осуществляется путем реализации организационных мероприятий. Таким образом управление системой осуществляется путем принятия и реализации соответствующего управленческого решения (R), определяемого на основании информационного сигнала (I), который поступает из материальной составляющей системы (Q) на основе анализа технического (Q_r) и технологического ($Q_{\text{тех}}$) состояния системы.

Состояние системы в каждый момент времени определяется тремя взаимосвязанными элементами: материальной (Q), информационной (I) и управленческой (R) базами (рис.2). Эти три элемента промышленной системы взаимосвязаны между собой и отсутствие любого из них означает невозможность осуществления процесса производства продукции.



Рис.2. Графическое представление промышленного производства как системы, состоящей из 3-х взаимосвязанных элементов.

Исходя из этих представлений, конечный результат работы системы в состоянии E_k в виде продукции A_k представим в виде некоторой функции 3-х составляющих: материальной Q_k , информационной I_k и управленческой R_k .

$$A_k = F(Q_k, I_k, R_k) \quad (4)$$

Состояние E_k системы характеризуется определенными показателями (X_k, Y_k, U_k) процессов функционирования системы и определенными показателями θ_k воздействия внешней среды и факторов риска [4]:

$$E_k = \{(X_k \in X); (Y_k \in Y); (U_k \in U); (\theta_k \in \theta)\} \quad (5)$$

Здесь X – множество технических параметров (конструкционные, проектные параметры оборудования, параметры изготовления оборудования, и других показателей технического уровня и качества системы; Y – множество технологических параметров (технологические, экономические и другие показатели функционирования); U – множество организационных и управляющих параметров; θ – множество параметров внешней среды и риска. При этом каждый из параметров соответствует множеству иных параметров в определенный момент времени t_k – $X_k = X[t_k]$, $Y_k = Y[t_k]$, $U_k = U[t_k]$, $\theta_k = \theta[t_k]$, который находится в границах заданного или прогнозируемого времени T функционирования сложной технической системы.

Для того, чтобы поддерживать систему в определенном требуемом состоянии E_k необходимо принимать и реализовывать соответствующие управленческие решения (R), которые определяются поступающими от системы информационными сигналами (I), т.е. (R) является некоторой функцией от (I):

$$R = F(I) \quad (6)$$

Иными словами – нормальное функционирование любой ГДС, какой является и металлургическое предприятие, требует создания и четкой работы системы промышленной безопасности на этом предприятии.

Для всестороннего исследования поведения системы, в частности промышленной безопасности, должны быть составлены ее концептуальная и математическая модели.

Концептуальная модель отображает основные составные части системы, взаимосвязи между ними, входы и выходы системы. Концептуальная модель строится на нескольких уровнях, которые последовательно детализируются. Матрицы первого уровня называются крупноблочными матрицами. В качестве таких матриц обычно выделяют основные подсистемы или большие агрегаты. На втором уровне разрабатываются блочно-координатные матрицы. Здесь выделяют блоки основных координат вектора состояния системы, которые будут описывать основные группы изменяющихся факторов. Блочно-координатные матрицы в зависимости от объема блоков могут быть изображены также в нескольких промежуточных блоках. Третий уровень концептуальной модели изображается в виде координатных матриц. На этих матрицах должны быть указаны все координаты, которые имеют существенное значение для описания поведения

исследуемой системы и формирования вектора ее состояния. Такие матрицы называют *нормальными*.

Элементы концептуальной матрицы записываются в операторной форме через $a_{ji}(s)$ или в индексной форме через ji .

Математические модели создаются для конкретного исследования систем, определения значений их параметров, характера переходных процессов и значимых координат. Для математических исследований необходимо иметь числовые значения коэффициентов матрицы.

Созданием числовых матриц заканчивается разработка математической модели системы [2].

Для возможности последующего математического описания системы с целью построения ее математической модели и последующего компьютерного моделирования перейдем к математической форме расширенной матрицы системы [5]. Ядро системы представляется в виде квадратной части матрицы. На ее главной диагонали расположены все элементы ядра, а выше и ниже главной диагонали в виде угловых стрелок расположены все элементы связей (рис.3). Связки, которые образуют основной контур, изображены двойными стрелками, а вспомогательные – одинарными.

Входы системы $\bar{X}_{вх}$ изображены в правой части расширенной матрицы в виде вектора. При этом X_6 – обозначение координаты полезного входа, а X_7 – координаты помехи. Кроме того, имеем вектор составляющих системы $\bar{X}_{скл}$ и вектор выхода $\bar{X}_{вых}$.

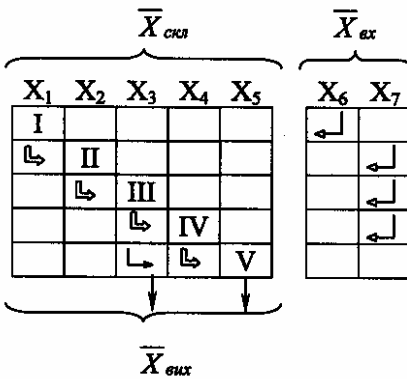


Рис.3. Матричный вид системы

В дальнейшем вместо каждого диагонального элемента матрицы должна быть записана формула, которая определяет процесс, проходящий в этом элементе, а вместо каждой угловой стрелки – формула, определяющая влияние одного элемента на другой [6].

При рассмотрении системы промышленной безопасности оперируют несколькими понятиями их функционального состояния.

Технологический режим $J_{ст}$ – такой режим функционирования объекта, для которого все показатели X_K, Y_K, U_K, θ_K находятся в заранее заданных интервалах.

Нестабильный режим $J_{нс}$ – такой режим функционирования объекта, для которого отдельные показатели, или некоторые сочетания показате-

лей, или все показатели X_K, Y_K, U_K, θ_K не находятся в заранее заданных интервалах.

Неуправляемый переходный режим $J_{н\text{у}}$. – такой режим функционирования, который обусловлен одним или несколькими факторами риска и который в течение периода T^{\pm} приводит к преобразованию технологического режима $J_{\text{ст}}$ в нестабильный режим $J_{\text{нс}}$.

Управляемый переходный режим $J_{\text{упр}}$. – такой режим функционирования, который обусловлен управляющим воздействием U_i системы управления безопасностью и который в течение периода T^{\pm} приводит к преобразованию нестабильного режима $J_{\text{нс}}$ в технологический режим $J_{\text{ст}}$.

Нестабильная ситуация $S_{\text{нс}}$ – такой нестабильный режим функционирования в момент $T_{\text{нс}}$ в котором отдельные показатели функционирования системы находятся вне интервалов технологического режима в таких пределах, при которых не существует угрозы аварии или катастрофы.

Критическая ситуация $S_{\text{кр}}$ – такой нестабильный режим функционирования в момент $T_{\text{кр}}$, в котором показатели функционирования системы находятся вне интервалов технологического режима в пределах, при которых появляется реальная угроза аварии или катастрофы.

Чрезвычайная ситуация $S_{\text{чр}}$ – такой нестабильный режим функционирования в момент $T_{\text{чр}}$, в котором показатели качества системы или показатели внешней среды находятся вне интервалов технологического режима в пределах, при которых практически неизбежно происходит авария или катастрофа.

Аварийная ситуация $S_{\text{ав}}$ – такой нестабильный режим функционирования, в течение которого техническая система переходит из работоспособного состояния в такое неработоспособное (аварийное) состояние, при котором для перехода в исходное состояние необходимо выполнить противоаварийные мероприятия или ремонт оборудования системы.

Авария – конечный результат аварийной ситуации.

Изменение управленческого решения $\Delta R = f(\Delta I)$ необходимо в случае, когда изменения информационного сигнала ΔI превысит допустимую для конкретного случая величину $\Delta I = I_{\text{к}} - I_{\text{т}} \geq a_{\text{доп}}$.

На практике информационный сигнал (I) о состоянии системы поступает дискретно, через определенные промежутки времени, или в виде вербального сообщения, получаемого за счет визуального осмотра и прослушивания оборудования, или в виде количественного измерения параметров работы оборудования и технологических режимов, получаемого путем снятия показаний с контрольно–измерительных приборов, или данных систем диагностирования и автоматизированного управления технологическими процессами.

Системы диагностирования, которые предназначены для выявления нестандартных и аварийных ситуаций на ранней стадии их развития, как правило, ориентированы на выявления отказов и неисправностей оборудования. Такой подход исключает возможность предотвращения неустой-

чивого режима, и, как следствие, появляется вероятность его последующего перехода в аварию или катастрофу. Для устранения этого недостатка, прежде всего, следует обратить внимание на принципиальные отличия задачи обеспечения безопасности от типовых задач управления. Важнейшее отличие состоит в том, что исходная информация о сложном объекте содержит лишь незначительную часть сведений о его состоянии, свойствах, процессах функционирования, характеристиках работоспособности. Кроме того, эти сведения отображают только состояние и характеристики работы металлургических объектов в технологическом режиме. Безусловно, этих сведений может быть достаточно для принятия решений при управлении работой металлургических объектов и системой обеспечения их безопасности, если технологический режим сохраняется продолжительное время.

В реальных объектах при существующих системах технического диагностирования, ориентированных на обнаружение отказов и неисправностей, нельзя гарантировать, что отказ или неисправность не произойдет в течение ближайших 5–10 мин. И заранее неизвестно, сколько времени потребуется на устранение неисправности – несколько минут, несколько часов или несколько месяцев. Следовательно, неизвестен и возможный ущерб, а система безопасности является, по существу, регистратором информации о свершившихся фактах и накопителем сведений об ущербах.

Для согласования, оценивания и корректирования работоспособности и безопасности функционирования сложных объектов, а также управления их безопасностью в условиях неполной и нечеткой информации о состоянии функционирования объекта, необходимо принятие управленческого решения на основе системного анализа с учетом технических, технологических и организационных факторов производства.

Общая стратегия такого подхода схематично представлена на рис.4.

В данной стратегии управления в блоках 1–3 реализуются процедуры диагностирования и анализа режима функционирования металлургического объекта. В блоке 4 на основе результатов, полученных при выполнении процедур блоков 2 и 3, происходит распознавание состояния технологического режима функционирования. При этом анализируются три возможных варианта состояния объекта: сохраняется технологический режим функционирования (переход управления на блок 5.0); выявляются признаки нарушений технологического режима, на основе которых можно обнаружить, что в момент $T_k \in T^+$ ситуация является нестабильной (переход управления на блок 5.1) или в момент $T_k \in T^+$ ситуация становится неопределенной (переход управления на блок 5.2).

В первом варианте система функционирует в технологическом режиме и выполняется контроль качества функционирования.

Во втором варианте на основе последовательности нестабильных ситуаций реализуются следующие действия. Анализируется степень и уровень риска последовательности нестабильных ситуаций, оценивается

безопасность и работоспособность сложного объекта (блоки 5.1–9.1) и формируется решение о технологической остановке его функционирования или решение о продолжении функционирования объекта при допустимых значениях степени и уровня риска.

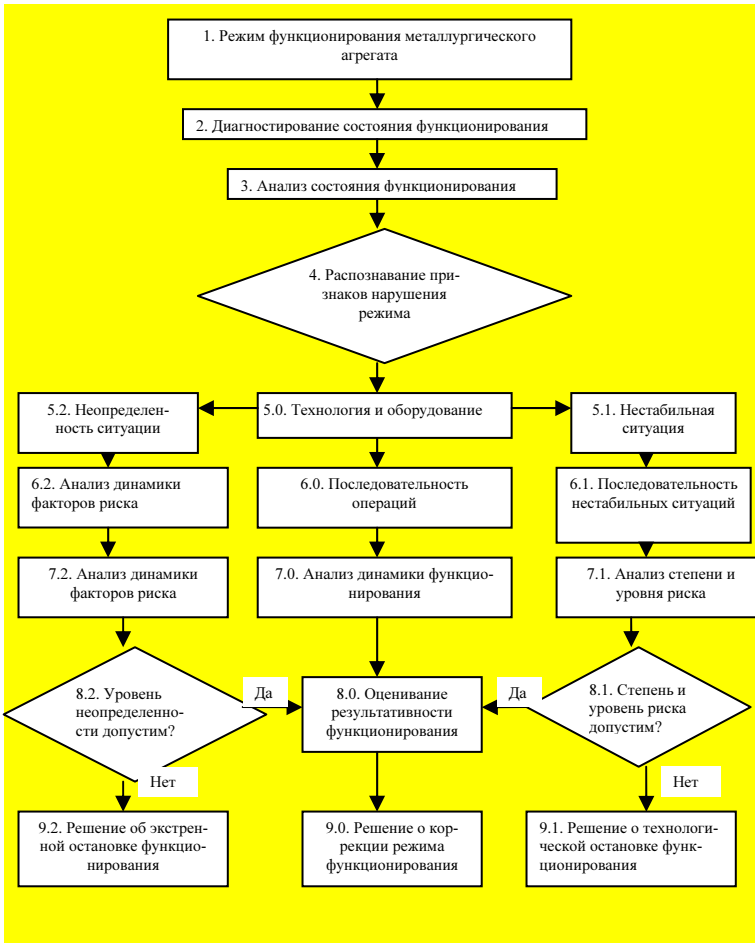


Рис.4. Системная стратегия управления промышленной безопасностью металлургических объектов.

В третьем варианте оценивается безопасность функционирования системы в условиях неопределенности информации. Для этого реализуется следующая последовательность действий. Анализируются факторы риска в последовательности нестабильных ситуаций, на основе чего оценивается безопасность объекта. Если уровни неопределенности и неполноты

информации допустимы, то принимается решение о продолжении его функционирования. В противном случае принимается решение об экстренной остановке функционирования объекта. Последующие действия системы управления в условиях нестабильных ситуаций ориентированы на исключение возможности аварии или катастрофы. Все варианты ориентированы на предотвращение аварии до момента $T_{ав}$.

Промышленная безопасность металлургического производства предполагает, что критические и аварийные ситуации должны быть исключены, в связи с чем, определить вероятность возникновения аварийных ситуаций методами статистики невозможно. Для определения возможных вариантов отказов оборудования, нарушений технологии или недостатков в организационной работе предприятия рассмотрим эти события с точки зрения теории вероятностей.

В связи с тем, что для математического описания системы матрицы необходимо представлять в числовой форме, применим вероятностный подход для описания элементов системы. Числовое значение каждого элемента системы представим как вероятность события с положительным исходом. Числовое значение вероятности равное 1 означает, что данное событие произойдет со 100% вероятностью. Вероятностные методы исследования позволяют обратиться непосредственно к законам, которые управляют массами случайных явлений, минуя сложное и зачастую практически невозможное изучение отдельных аварийных ситуаций, которые обусловлены слишком большим количеством факторов.

Анализ аварий, которые имеют место при работе, например доменных печей, показывает, что они возникают практически на всех участках печи и указывают на необходимость комплексного системного подхода к проблеме обеспечения промышленной безопасности доменного производства (рис.5).

При этом, аварии возникают не одномоментно. Проведенный анализ показывает, что любой аварийной ситуации предшествуют нестандартные ситуации, развитие которых приводит через определенное время к аварии с различными последствиями. Пример возникновения таких последствий в виде дерева развития аварийной ситуации на рис.6.

Причем, необходимо учитывать тот момент, что появление одного из событий не отменяет вероятности появления другого. Теория вероятности такие события называет независимыми. Например, на одном из металлургических заводов в течение 2-х дней произошли аналогичные аварии с прорывом горна на двух доменных печах (рис.7) [1]. И хотя вероятность такого случая практически равна нулю, однако последующий анализ показал, что аварии произошли по одной и той же причине – неудовлетворительное качество ремонта горна доменных печей.

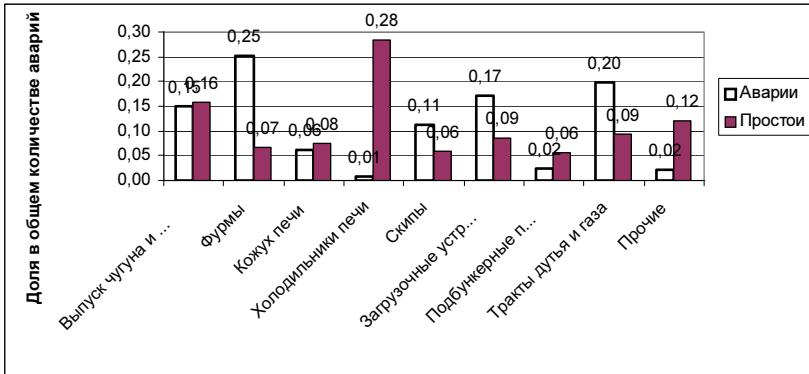


Рис.5. Доля аварий и простоев на различных участках доменных печей

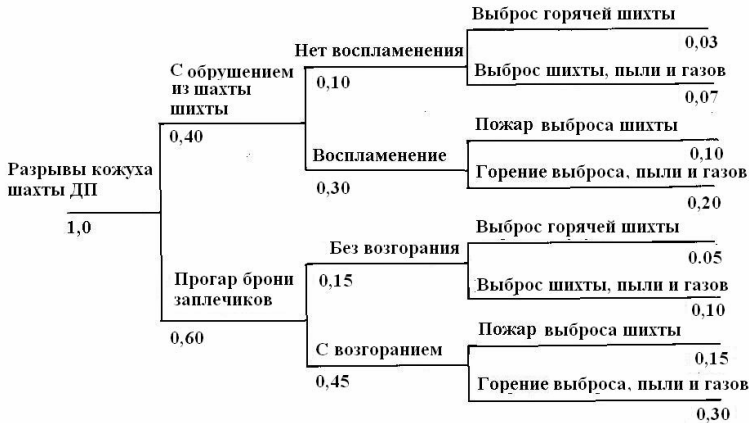


Рис.6. Дерево возможного сценария развития аварийной ситуации на ДП при разрыве кожуха шахты (цифры обозначают частоту реализации аварийной ситуации).

Поэтому, для определения вероятностей событий применяются не прямые методы, а косвенные, позволяющие по известным вероятностям одних событий определять вероятность с ними связанных других событий [7]. В соответствии с теорией вероятностей каждый акт, который происходит в процессе промышленного производства можно понимать как некое *событие*, которое может произойти или нет.

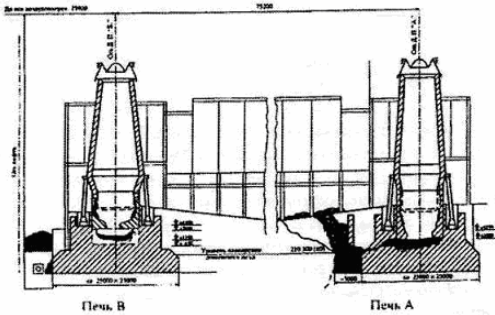


Рис.7. Разрез по блоку доменных печей, на которых практически одновременно произошел прорыв горна.

Аварийная остановка металлургического производства может

возникнуть при выходе из строя металлургических агрегатов, входящих в цепочку непрерывного производственного цикла. Такими уязвимыми агрегатами, например для доменного производства, являются: шихтовый двор (остановка агрегата – событие D_1), система шихтоподачи (D_2), конвейер (D_3), собственно доменная печь (D_4), литейный двор (D_5), подъездные пути (D_6), одновременный выход из строя всех воздухонагревателей D_7 и т.д. (D_N). Представим цепочку событий по возникновению аварийной ситуации в доменном производстве (Ав) в виде всевозможных комбинаций описанных выше событий:

$$Ав_{11} = D_1, Ав_{12} = D_2; \dots Ав_{1n} = D_n;$$

$Ав_{21} = D_1 * D_2, \dots, Ав_{2,1/2n(n-1)} = D_{n-1} * D_n$ – всевозможные попарные произведения;

$\{Ав_{3k}\}$ – множество всевозможных тройных произведений;...

$$Ав_{n1} = D_1 * D_2 * \dots * D_n$$

По теореме о сумме вероятностей вероятность (P) возникновения аварийной ситуации описывается следующим выражением::

$$P(Ав) = \sum \sum P(Aв_{nk}) \quad (7)$$

Заметим, что в данном случае приходится осуществлять довольно громоздкие расчеты. При этом следует учитывать, что в ряде случаев вероятность можно представить как частоту данного события, которая определяется на основе опытных или статистических данных [7]. Однако, определение вероятности аварий через частоту в металлургическом производстве не может быть использовано, поскольку проведение таких опытов невозможно. В этом случае теория вероятностей предлагает другой принцип подхода: если противоположное событие распадается на меньшее число вариантов, чем прямое событие, то имеет смысл при вычислении вероятностей переходить к противоположному событию. Событие, противоположное выходу системы из строя, является бесперебойная ее работа $\overline{Ав}$, либо, что то же самое, бесперебойная работа одновременно

всех агрегатов системы:

$$\overline{A\epsilon} = \overline{D_1} * \overline{D_2} * \dots * \overline{D_n},$$

$$P(\epsilon) = 1 - P(\overline{A\epsilon}).$$

По теореме об умножении вероятностей []:

$$P(\epsilon) = P(\overline{D_1}) \overline{D_2} \dots \overline{D_n} = P(\overline{D_1}) P(\overline{D_2}) \dots P(\overline{D_n}),$$

где $P(\overline{D_i}) = 1 - P(D_i)$, $i = \overline{1, n}$.

Таким образом, мы получили упрощенный вариант расчета вероятности аварийной ситуации в системе по расчетам возможности обеспечения стабильной работы промышленного объекта.

Пример. Определим вероятность промышленного производства (A_1) продукции без брака, т.е. выход годного составляет 100%. Рассмотрим 3 гипотезы состояния системы, когда сбой (или случайные явления) могут произойти в любой из 3-х составляющих процесса $-Q, I, R$, а информационные и управленческие ресурсы мобилизованы в полной мере, частично и слабо. Для этого случая выражение (7) запишется в следующем виде:

$$P(A_1) = P(H_1) P(A_1 / H_1) + P(H_2) P(A_1 / H_2) + P(H_3) P(A_1 / H_3),$$

а принятые гипотезы будут выглядеть следующим образом:

H_1 – для случая, когда материальные, информационные и управленческие ресурсы мобилизованы в полной мере: $Q_1=1$; $I_1=1$; $R_1=1$;

H_2 – для случая, когда информационные и управленческие ресурсы мобилизованы частично: $Q_1=1$; $I_1=0,5$; $R_1=0,5$;

H_3 – для случая, когда информационные и управленческие ресурсы мобилизованы слабо: $Q_1=1$; $I_1=0,1$; $R_1=0,1$.

Из условия равновозможности рассматриваемых гипотез вероятность проявления всех состояний системы одинакова:

$$P(H_1) = P(H_2) = P(H_3) = 0,333.$$

Примем, что условные вероятности события A_1 при этих гипотезах соответственно составляют:

$$P(A_1/H_1) = 1; P(A_1/H_2) = 0,7; P(A_1/H_3) = 0,1.$$

Тогда по формуле полной вероятности:

$$P(A_1) = 0,333 \cdot 1 + 0,333 \cdot 0,7 + 0,333 \cdot 0,1 = 0,6.$$

В случае, когда информационные и управленческие ресурсы мобилизованы более полно (в частности $P(A_2/H_1) = 1$; $P(A_2/H_2) = 0,9$; $P(A_1/H_3) = 0,8$), полная вероятность $P(A_2) = 0,9$, т.е. существенно выше, чем в первом примере, где $P(A_1) = 0,6$.

Принципиально важное свойство данного подхода состоит в том, что анализ ситуации и принятие решения обеспечивается не только в типовых условиях четкого распознавания технологического или неустойчивого режима работы системы, но и в условиях, когда имеется только нечеткая,

неполная, информация о ситуации. Этот подход в условиях нечеткой информации о ситуации позволяет, в случае необходимости, своевременно принять решение об экстренной остановке функционирования системы в целях ее сохранения.

Заключение.

Показано, что безаварийная работа металлургических агрегатов может быть обеспечена при помощи использования комплексного учета технических, технологических и организационных факторов производства.

Для принятия управленческих решений предложена методика оценки ситуации в промышленной системе в условиях нечеткой или неполной информации.

Для реализации концептуального подхода в условиях неполной информации в стратегии промышленной безопасности необходимо дальнейшее развитие вероятностного подхода и его реализация в компьютерной программе системы промышленной безопасности металлургического производства.

1. *Жеребин Б.Н., Пареньков А.Е.* Неполадки и аварии в работе доменных печей. Новокузнецк. – 2001. – 275 с.
2. *Малюта А.Н.* Закономерности системного развития.–Киев: Наукова думка. – 1990. –136 с.
3. *Малюта А.Н.* Система деятельности. – К.: «Наукова думка», 1971. – 208 с.
4. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ Проблемы, методология, приложения. – К.:Наукова думка, 2005. –743 с.
5. *Лялько В.І., Попов М.О., Федоровський О.Д.* Багатоспектральні методи дистанційного зондування землі в задачах природокористування. – К.:«Наукова думка», 2006. – 357 с.
6. *Шатихин Л.Г.* Структурные матрицы и их применение для исследования систем. – М.: Машиностроение, 1991. – 256с.
7. *Вентцель. Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Госиздат физ.–мат.лит., 1953 г. – 364 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Д.Н.Тогобицкой