

УДК 669.014.8

ОЦЕНКА МЕРЫ ОПАСНОСТИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Блинников В.В.

ФГОУ ВПО «Академия гражданской защиты МЧС России», Новогорск, e-mail: agz@mchs.gov.ru

Приводится оценка опасности на объектах доменного производства. Используемые в технологическом процессе доменного производства материалы и вещества, а также техническая насыщенность оборудования доменного цеха обуславливают возникновение аварийных ситуаций, которые могут привести к нежелательным экстремальным ситуациям. Рассматривать произошедшие аварийные ситуации предлагается по обстоятельствам и объектам их происхождения. Представлен математический аппарат для подтверждения закона распределения инцидентов в доменном производстве.

Ключевые слова: опасность, опасный производственный объект, доменное производство, техническая система, промышленная безопасность

EVALUATION OF SAFETY DANGER BF PRODUCTION

Blinnikov V.V.

Civil Defence Academy of Emergency Situations Ministry, Novogorsk, Khimki, e-mail: agz@mchs.gov.ru

Provides an assessment of risk at the sites domain proceedings. Used in the process blast furnace materials and substances, as well as technical equipment saturation blast furnace gives rise to emergency situations that may lead to undesirable extreme situations. Considered emergencies occurred in the circumstances and the proposed sites of origin. The mathematical apparatus for the confirmation of the distribution of incidents in the blast furnace.

Keywords: danger, dangerous production facilities, blast furnaces, and technical systems, industrial security

На устойчивость работы доменного производства влияют: качество сырья, технологические режимы работы доменных печей, проведение своевременных профилактических ремонтов технических систем и оборудования, надежность машин, степень автоматизации производственного процесса и другие факторы.

В работах [1–9] приводится некоторая информация о комплексной безопасности сложных технических систем.

Несмотря на предпринимаемые меры, современное доменное производство теряет устойчивость работы из-за возникновения инцидентов и аварий с разной долей вероятности, по различным причинам и с определенными последствиями (ущербами).

При этом специфика возникновения негативных ситуаций на производственных объектах доменного производства заключается в объективной и полной неустраняемости опасностей, а также в неопределенности и недостаточности информации о возможной их реализации.

При рациональном управлении промышленной безопасностью доменного производства существенным является рассмотрение рисков, вероятность которых высока и они повторяются (с потерей времени, исчисляемой десятками и сотнями часов), и рисков, вероятность которых низка (они единичны), но они по ущербу не уступают повторяющимся инцидентам и аварийным ситуациям.

Анализ возможных проявлений негативных ситуаций осуществляется на осно-

вании использования статистических данных по произошедшим в доменных цехах инцидентам и аварийным ситуациям.

Выбор приоритетных технологических, организационных, технических и экономических решений необходимо осуществлять на основе количественной оценки риска в доменном производстве и его прогнозирования.

В данной работе для оценки меры опасности доменного производства и расчета величины риска предлагается применить выражение:

$$R = \sum_i^n P_i Y_i, \quad (1)$$

где P_i – вероятность возникновения инцидента (аварийной ситуации) на i -м оборудовании; Y_i – ущерб от возникновения инцидента (аварийной ситуации) на i -м оборудовании; n – количество оборудования производственного процесса.

Для определения вероятности возникновения аварийных ситуаций, зная время ликвидации аварийных ситуаций, количество технических устройств доменного производства, количество аварийных ситуаций за рассматриваемый период работы, фактическое время работы оборудования и ущерб от простоев оборудования, предлагается в формуле (1) использовать теорию массового обслуживания.

Для этого процесс возникновения и ликвидации аварийных ситуаций можно представить как систему массового обслужива-

ния, требованиями в которой будут являться заявки на ликвидацию инцидентов, а временем обслуживания – время их ликвидации.

С целью применения этой теории необходимо провести проверку соответствия эмпирических и теоретических распределений инцидентов и времени их ликвидации в доменном цехе (возникновение инцидентов должно подчиняться закону Пуассона, а время их ликвидации – показательному закону).

О методе исследования

В качестве объекта исследования выбран технологический процесс выплавки чугуна в доменном цехе открытого акционерного общества «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЗСМК»), в котором рассматриваются процессы, попадающие в перечень опасным производственным объектам.

В качестве статистики об инцидентах в доменном производстве выбран период работы доменного цеха с 1981 по 2009 годы. Для оценки вероятности возникновения инцидентов технологический процесс выплавки чугуна разбит на шесть самостоятельных блоков (подсистем) структурной схемы доменного производства.

Вероятность возникновения инцидентов в каждой подсистеме предлагается оценивать

с помощью теории массового обслуживания. Для применения данной теории проводилось сопоставление эмпирического распределения числа инцидентов в доменном цехе с теоретическим распределением Пуассона (оценивались следующие параметры: выборочные средние, дисперсия, асимметрия, эксцесс, мода и медиана, однородность совокупности и вариация признака), а также проводилась проверка распределения времени ликвидации инцидентов на соответствие показательному закону распределения.

В качестве количественной оценки параметра x принималось число инцидентов, произошедших на агрегатах и оборудовании доменного цеха или время их ликвидации (t). Данные величины имеют отдельные значения с определенными вероятностями и представляют собой дискретное распределение. Дискретное распределение считается теоретически заданным, если известны все возможные значения x_1, x_2, \dots, x_n и вероятности $p(x_i)$ для каждого события $X = x_i$. Так как эти события образуют полную группу, то будем иметь:

$$\sum p(x_i) = 1. \quad (2)$$

Статистические данные представлялись в виде вариационного ряда распределения равноотстоящих вариантов и соответствующих им частот (табл. 1).

Таблица 1

Вариационный ряд распределения равноотстоящих вариантов и соответствующих им частот

Число инцидентов в год, x (время простоя – t)	x_1	x_2	x_3	x_4	...	x_i
Количество случаев, в которых наблюдалось x инцидентов, n_i (t часов простоя – n_i)	n_1	n_2	n_3	n_4	...	n_i

Для определения эмпирического распределения подсчитывались значения от-

носительных частот, то есть вероятностей количественного признака x_i (табл. 2).

Таблица 2

Совокупность выборочного признака x

Число инцидентов в год x, t)	Количество случаев, в которых наблюдалось x инцидентов (абсолютная частота), n_i ; (t часов простоя – n_i)	Относительная частота, $p_i = n_i/n$	Накопленная частота, $N_i = n_{i-1} + N_{i-1}$
x_1	n_1	p_1	N_1
x_2	n_2	p_2	N_2
...
x_k	n_k	p_k	N_k

Для определения характера распределения определяли его параметры (выборочные средние, дисперсию, асимметрию, эксцесс, моду и медиану).

Выборочное среднее или математическое ожидание (ожидаемое значение):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^r x_i n_i}{n} = \sum_{i=1}^r x_i p_i. \quad (3)$$

Для того, чтобы оценить рассеивание возможных значений случайной величины вокруг ее среднего значения, определяли дисперсию. Выборочная дисперсия – среднее арифметическое квадратов отклонения наблюдаемых значений признака от среднего значения:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^r (x_i - \bar{X})^2 n_i}{n} = \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{X})^2 p_i. \quad (4)$$

Выборочное среднеквадратическое отклонение имеет вид:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{D}}. \quad (5)$$

Выборочная асимметрия и выборочный эксцесс соответственно описываются следующими формулами:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^r (x_i - \bar{X})^3 p_i}{\bar{\sigma}^3}; \quad (6)$$

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^r (x_i - \bar{X})^4 p_i}{\bar{\sigma}^4} - 3. \quad (7)$$

Выборочная асимметрия и выборочный эксцесс служат для количественной оценки отличия от симметричного распределения (у симметричного распределения асимметрия равна нулю). Асимметрия распределения с длинным правым «хвостом» положительна. Если распределение имеет длинный левый «хвост», то его асимметрия отрицательна. Если эксцесс, показывающий «остроту пика» распределения, существенно отличен от нуля, то распределение имеет или более закругленный «пик», чем нормальное, или, напротив, имеет более «острый пик». Если эксцесс положителен, то «пик» заострен, если отрицателен, то «пик» закруглен.

Мода – это значение, наиболее часто встречающееся в выборке. Медиана – это значение, которое разбивает выборку на две равные части. Половина наблюдений находится выше медианы, и половина наблюдений – ниже медианы. Чтобы определить медиану, необходимо найти один из центральных вариантов рассматриваемой совокупности. Центральный вариант будет находиться в центре совокупности, состоящей из n наблюдений, то есть $n/2$. Затем по накопленным частотам определяется интервал нахождения величины $n/2$ члена ряда. Нижнее значение интервала и будет равно медиане выборки.

В табл. 3 приводится расчетное представление параметров распределения.

Рассчитывался коэффициент вариации:

$$V = \frac{\bar{\sigma}_x - 100}{\bar{X}} \%. \quad (8)$$

Таблица 3

Расчетное представление параметров распределения

x_i	$x p_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2 p_i$	$(x_i - \bar{X})^3 p_i$	$(x_i - \bar{X})^4 p_i$
	\bar{X}		\bar{D}		
Σ					

Закон Пуассона выражается формулой:

$$P_n(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (x = 0, 1, \dots) \quad (9)$$

где λ – некоторая положительная величина (интенсивность появления события), называемая параметром закона Пуассона.

Проверка гипотезы о том, что случайная величина x (количество инцидентов, произошедших на агрегатах и оборудовании доменного цеха) распределена по закону Пуассона, проводилась по следующим схемам.

В качестве параметра λ распределения Пуассона принимали выборочную среднюю \bar{X} :

$$P_n(x_i) = \frac{\bar{X}^{x_i} e^{-\bar{X}}}{x_i!}. \quad (10)$$

В таблице 4 представлены сводные данные по всем 162 инцидентам, произошедшим в доменном цехе в период с 1981 по 2009 годы.

Находили теоретические частоты по формуле:

$$n'_i = n P_{i(\text{теор})}. \quad (11)$$

Таблица 4

Сводная таблица инцидентов, произошедших в доменном цехе
ОАО «ЗСМК» с 1981 по 2009 годы

Годы	Прием, обработка и транспорт сырья и топлива 1-2	Загрузка сырья и топлива в доменную печь 3	Выплавка чугуна в доменной печи 4	Выпуск продуктов плавки (чугуна, шлака) 5	Разливка чугуна (предельного, чушкового) 6	Подача холодного, горячего дутья и газа 9*	Прочее 10*
1981	0	1	3	0	0		
1982	1	1	3	1	0		
1983	3	0	2	1	3		
1984	1	1	3	1	1		
1985	1	0	2	1	0		
1986	2	1	1	0	3	1	
1987	0	0	3	1	0	1	
1988	0	1	1	1	1		
1989	0	1	1	0	1		
1990	2	0	1	2	1		
1991	5	1	5	5	2	1	
1992	1	2	3	1	2		
1993	2	3	6	2	3		1
1994	1	1	1	0	0		
1995	0	1	3	2	0		
1996	1	2	4	1	0	1	
1997	0	0	2	1	0		
1998	1	1	0	0	0		1
1999	0	0	0	0	1		
2000	2	1	0	0	0		
2001	1	2	1	0	0	1	
2002	1	1	2	3	1		
2003	0	0	2	0	1		
2004	0	0	3	0	1	2	
2005	0	0	2	0	0		
2006	0	1	0	0	0		
2007	1	2	2	0	0		
2008	0	0	0	0	1		
2009	1	0	0	0	0		1
Σ	27	24	56	23	22	7	3

Примечание. *) – в связи с редкими случаями возникновения инцидентов на воздухонагревателях, трактах подачи холодного и горячего дутья, а также глубоких технологических расстройств хода доменных печей, эти инциденты выделены в 9-й и 10-й блоки.

Сравнивали эмпирические и теоретические частоты с помощью критерия Пирсона. Для этого в таблице критических точек распределения χ^2 при уровне значимости $\alpha = 0,2$, $p = 1 - \alpha$ и числу степеней свободы $k = s - 2$, находили критическую точку χ_{kr}^2 критической области и рассчитывали χ_{nab}^2 по формуле:

$$\chi_{nab}^2 = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}. \quad (12)$$

Гипотеза о распределении по закону Пуассона (эмпирические и теоретические частоты различаются незначительно) принималась, если $\chi_{nab}^2 < \chi_{kr}^2$ или отвергалась, если $\chi_{nab}^2 > \chi_{kr}^2$.

Показательное распределение, которому в результате проверки должно соответствовать эмпирическое и теоретическое распределение времени ликвидации инцидентов в доменном цехе, описывается формулой:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu_{tik} \cdot t}, \quad (13)$$

где $\mu_{lik.i} = \frac{1}{t_{lik.i}}$ – величина обратная математическому ожиданию времени ликвидации инцидента на i-том оборудовании.

Были проанализированы инциденты, произошедшие в доменном цехе ОАО «ЗСМК» металлургического предприятия с 1981 по 2009 годы, простой оборудования, затраты на его восстановление и материальный ущерб.

Инциденты и аварийные ситуации в доменном цехе предлагается систематизировать и классифицировать по указанным в схеме осуществления доменного процесса ОАО «ЗСМК» шести блокам.

Анализ возникновения инцидентов и аварийных ситуаций позволил классифицировать их по обстоятельствам и объектам их происхождения (табл. 5).

Таблица 5

Классификация инцидентов, произошедших в доменном цехе ОАО «ЗСМК» в 1981–2009 гг.

№ п/п	Обстоятельства инцидента	Кол-во инцидентов	Процент от общего кол-ва
1–2	Неисправности механизмов и электрооборудования системы шихтоподачи	27	17
3	Повреждение или отказ узлов загрузочного аппарата	24	15
4	Прогары и неисправности элементов воздушных фурм. Разрывы, трещины, прогары кожуха доменной печи	56	35
5	Прогары элементов чугунных леток. Повреждения электропушек и бурмашин	23	14
6	Неполадки механизмов при разливке чугуна и шлака	22	13
9	Неисправности воздухонагревателей, трактов холодного и горячего дутья	7	4
10	Прочие	3	2
ИТОГО:		162	100

Идентификация аварийных ситуаций показывает, что на каждом из перечисленных шести этапов технологического процесса могут произойти различные по степени тяжести отказы и поломки технологического оборудования и агрегатов, оказывающие определенное влияние на состояние безопасности доменного производства в целом.

Заключение

Основными причинами возникновения инцидентов в доменном цехе являются: неудовлетворительный контроль технологического процесса, нарушение режима работы оборудования, агрегатов, технологических инструкций, нарушение сроков ремонта и регламента ревизии технических устройств, некачественный ремонт и наладка оборудования. Важнейшим резервом повышения уровня промышленной безопасности при производстве чугуна является активное развитие современных контрольно измерительных систем, использующих методы инфракрасного излучения, технологию «Сканлайнер», радиолокационный контроль в составе человека – машинных систем управления доменным производством.

Список литературы

1. Айзатулов Р.С., Рехтин Н.Е., Степанов В.С., Янковский А.С. Программа модернизации и технического перевооружения Западно-Сибирского металлургического комбината // Сталь. – 1992. – № 6. – С. 1–7.

2. Акимов В.А., Махутов Н.А. Математические основы управления риском: теория и практика // Партнерство во имя жизни – снижение риска чрезвычайных ситуаций, смягчение последствий аварий и катастроф: пленарные доклады и тезисы выступлений Международного симпозиума. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1998. – С. 206.

3. Бородулин А.В. Горбунов А.Д., Романенко В.И., Сушев С.П. Домна в энергетическом измерении. – Днепропетровский: Днепропетровский государственный технический университет, 2006. – 450 с.

4. Головкин В.И., Кукушкин О.Н., Михайловский Н.В., Потапов А.В., Смоктий В.В., Хаянов А.Ф. Радиолокационный контроль металлургических процессов. – Днепропетровск: Журфонд, 2010. – 428 с.

5. Мусаев В.К. Анализ надежности сооружений при природных и техногенных экстремальных ситуациях // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций: сборник тезисов научно-практической конференции. – М.: ИИЦ ВНИИ ГО ЧС, 2001. – С. 36–37.

6. Мусаев В.К., Сушев С.П., Шиянов М.И., Акатьев В.А., Федоров А.Л., Сушев Т.С. О концепции системы мониторинга и прогнозирования в задачах безопасности территории // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2005. – № 1. – С. 30–35.

7. Мусаев В.К., Сушев С.П., Шиянов М.И., Акатьев В.А., Попов А.А. О перспективах развития наук в области безопасности жизнедеятельности // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: ТЗ8: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Вып. VII. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2005. – С. 55–59.

8. Мусаев В.К., Сушев С.П., Ситник В.Г., Сушев Т.С., Ситник С.В. О защите технических объектов от аварий и катастроф // Тезисы докладов XLIV Всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии. Секция физики. – М.: РУДН, 2008. – С. 58–59.

9. Мусаев В.К., Сушев С.П., Шиянов М.И., Попов А.А. Системный анализ фундаментальных проблем природной, техногенной и экологической безопасности // Вестник Ростовского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 1. – С. 20–26.