

УДК 669.014.8

## О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

<sup>1</sup>Блинников В.В., <sup>2</sup>Сущев С.П., <sup>3</sup>Чайка А.Л.

<sup>1</sup>ФГОУ ВПО «Академия гражданской защиты МЧС России», Новогорск, Химки,  
e-mail: agz@mchs.gov.ru;

<sup>2</sup>Центр исследований экстремальных ситуаций, Москва, e-mail: esrc@online.ru;

<sup>3</sup>Институт черной металлургии им. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск,  
e-mail: office.isi@nas.gov.ua

В работе рассмотрены вопросы промышленной безопасности доменного производства металлургического предприятия на примере доменного цеха ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат». Рассмотрена энерготехнологическая связка коксохимическое производство – доменный цех, во многом определяющая экономичность, производство и качество металлопродукции, в том числе и промышленную безопасность. Предложены технологические и организационные направления в разработке мероприятий, способствующих снижению уровня риска возникновения аварийных ситуаций с учетом передового зарубежного опыта.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, выплавка чугуна, оценка риска, металлургическое предприятие, авария, инцидент, опасный производственный объект

## ON SOME PROBLEMS TECHNO SECURITY BLAST FURNACE PRODUCTION

<sup>1</sup>Blinnikov V.V., <sup>2</sup>Sushchev S.P., <sup>3</sup>Chayka A.L.

<sup>1</sup>Civil Defence Academy of Emergency Situations Ministry, Khimki, e-mail: agz@mchs.gov.ru;

<sup>2</sup>Extreme Situations Research Center, Moscow, e-mail: esrc@online.ru;

<sup>3</sup>Ferrous metallurgy Institute of National Academy of sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk,  
e-mail: office.isi@nas.gov.ua

The paper discusses the issues of industrial safety of blast furnace steel plant on the example of the blast furnace shop of the West Siberian Metallurgical Plant. Considered energotechnological ligament coke production – blast-furnace shop, largely determines the efficiency of production and quality of metal products, including industrial safety. Proposed technological and organizational trends in the development of activities that contribute to reducing the risk of emergency situations, taking into account best international practices.

**Keywords:** industrial safety, pig iron, risk assessment, metallurgical plant, accident, incident, dangerous industrial objects

Несмотря на совершенствование металлургических агрегатов, оборудования и технологий, процессов управления и организации производства металла, положение в сфере промышленной безопасности в отрасли не улучшается, число аварий, инцидентов, уровень травматизма остаются высокими. К наиболее тяжелым последствиям, приносящим значительный материальный ущерб и групповые несчастные случаи, приводят аварии на взрывопожароопасных производствах, к которым относится доменное производство металлургических предприятий.

В работах [1–10] приводятся теоретические и практические вопросы в области техногенной безопасности сложных систем.

**Состояние вопроса.** При производстве чугуна используют и получают токсичные горючие газы, большое количество агрегатов работает под давлением порядка 0,07 МПа, температура выплавляемого чугуна превышает 1400 °С, а доменного газа в фурменном очаге порядка 2000 °С и выше, используются мощные стационарно установленные грузоподъемные механизмы и тягодутьевые средства.

Согласно данным отдела по надзору в металлургическом комплексе Ростехнадзора России ситуация с аварийностью в металлургии достаточно стабильна и находится на уровне примерно 4–6 аварий в год.

Доменное производство металлургических предприятий в соответствии с Федеральным законом от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» относится к числу опасных производственных объектов.

**Постановка задачи.** Исходя из этого, актуальной является задача снижения риска аварийности данного производства с целью сохранения основных производственных фондов, снижения уровня травматизма обслуживающего персонала и недопущения загрязнения окружающей среды. Для решения поставленной задачи необходимо проведение оценки риска возникновения аварий и инцидентов с последующим выбором мероприятий по снижению их уровня.

Актуальность рассматриваемых вопросов для МЧС России возросла в связи с подписанием Указа Президента РФ от 6 мая 2010 года № 554 «О совершенствовании

единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», в соответствии с которым на МЧС России возложена функция по руководству деятельностью военизированных горноспасательных частей в сфере металлургии, ранее подчинявшихся Ростехнадзору.

**Методика исследования.** Для опасных производственных объектов, принципы анализа риска сформулированы в нормативном документе РФ РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов». Данные методические указания устанавливают методические принципы, термины и понятия анализа риска, общие требования к процедуре и оформлению результатов. Также в них представлены основные методы анализа опасностей и риска аварий на опасных производственных объектах.

На стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска в методических указаниях рекомендуется применять методы качественного анализа и оценки риска, опирающиеся на продуманную процедуру, специальные вспомогательные средства (анкеты, бланки, опросные листы, инструкции) и практический опыт исполнителей.

Количественный анализ риска позволяет оценивать и сравнивать различные опасности по единым показателям.

Методические указания не определяют необходимость, периодичность проведения анализа риска, а также конкретные уровни и критерии приемлемого риска. Конкретные требования к анализу риска уточняются нормативными документами, отражающими специфику отдельных опасных производственных объектов.

**Изложение материалов исследования.** Объектом исследования для разработки технологии оценки риска аварий и инцидентов было выбрано доменное производство ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЗСМК»).

Предварительная оценка произошедших инцидентов в подразделениях комбината выявила, что доменный цех является одним из наиболее аварийно-опасных, а возникающие инциденты влекут за собой значительный материальный ущерб.

На начальном этапе научного исследования рассмотрена энерготехнологическая связка коксохимическое производство – доменный цех, во многом определяющая экономичность, производство и качество металлопродукции, в том числе и промышленную безопасность.

В период 1990–1993 гг. уменьшение производства кокса оказывало на энергетический баланс значительно большее влия-

ние, чем в период 1994–1995 г. В первый период наряду с увеличением расхода топлива на отопление коксовых батарей со 108 до 124 кг у.т./т шихты сократился и отпуск газа иным потребителям. В период 1994–1995 г. с уменьшением производства по загруженной шихте с 310 до 230 тыс. т/мес. удельный расход условного топлива на отопление увеличился с 112 кг у.т. на 4 кг, а удельный отпуск газа иным потребителям составил 89 кг у.т. при производстве 230 тыс. т по сравнению с 76 кг у.т. при производстве 310 тыс. т кокса.

Как показал анализ полных энергетических балансов ОАО «ЗСМК», в нестабильных, конъюнктурно-кризисных условиях 1990–1993 гг. эффективность использования энергии по сравнению с 1988, 1990 и 2003 годами, снизилась в среднем на 35%, а коэффициент полезного использования энергии на 21%.

Анализ показал, что главной причиной высоких энергетических затрат являются не отсутствие технических мероприятий, а трудности в управлении, отсутствии достоверной информации, определении приоритетов и эффективно работающего механизма управления в сложной финансово-экономической обстановке.

Доменные печи являются крупнейшими энерготехнологическими агрегатами не только черной металлургии (табл. 1), где сконцентрированы при давлении до 5 атм. огромные энерготехнологические потоки высокотемпературных и высокотоксичных материалов в твердом, жидком, газообразном состоянии, но и современной индустрии и требуют особого внимания к промышленной безопасности при производстве чугуна.

Выполнен анализ материалов по исследованию состояния доменных печей после их останова на капитальный ремонт первого разряда.

Колошниковая защита деформирована, нижние защитные плиты сохранились практически полностью. Характер износа огнеупорной кладки неохлаждаемой зоны шахты неровный и составляет 130–640 мм. В распоре и заплечиках толщина гарнисажа неравномерная и колеблется в пределах 120–410 мм. Наибольшая толщина гарнисажа отмечена в районе чугунной летки № 3 и достигала 1100 мм.

Величина сохранившейся огнеупорной кладки в районе воздушных фурм достигала 270–300 мм, в районе чугунных леток – 240–360 мм, в горне – 280–810 мм. Линия разгара пришлась посередине второго снизу горизонтального ряда углеродистых блоков, а со стороны наклонного моста по верху

второго ряда углеродистых блоков. Зазоры между блоками заполнены включениями чугуна и шлака.

ОАО «ЗСМК» постоянно работал на цинксодержащих рудах, содержание цинка доходило до 81–89% в пробах ограждения печей, а в шихте доменных печей присутствовал бой электросталеплавильных и электролизных печей, содержащий повышенное количество щелочей, что приводило к разрушению ограждения печей, включая огнеупорную футеровку, холодильники

и кожух печи. Отметим еще одну из сторон тепловой работы шахты доменных печей, с которой доменщики встретились в переходной период. Проблемы со стойкостью кладки, на стыке охлаждаемой и неохлаждаемой зон шахты, проявляются при нестабильной работе комбинатов, когда печи вынуждены простаивать, «перешихтовываться», а доменное сырье желало лучшего. И в настоящее время, когда шихтовые условия несколько стабилизировались, эти негативные явления имеют место.

Таблица 1

Энергетическая характеристика металлургических печей различного технологического назначения

Металлургический агрегат	Параметр	$M_{\text{общ}}$ , МВт	$(M_{\text{х.х}}/M_{\text{общ}})$ %	$t_{\text{печь}}$ , °С
Доменные печи объемом, м <sup>3</sup>	5500...1000	1000...200	5...20	1450...1550
Воздухонагреватели доменных печей объемом, м <sup>3</sup>	5500...1000	300...60	10...15	1400
Мартеновские печи емкостью, т	600...200	150...40	25...30	1750
Методические печи производительностью в час, т	340...75	230...65	20...25	1300
Нагревательные колодцы емкостью, т	40...140	4...10	10...15	1300
Вращающиеся печи для обжига доломита длиной, м	75...90	30...40	20...30	1650...1750

Примечание:  $M_{\text{общ}}$  – общая тепловая мощность печи, МВт;  $M_{\text{х.х}}$  – мощность холостого хода печи, МВт;  $t_{\text{печь}}$  – температура рабочего тела, °С чугуна, стали, обожженного доломита.

В 2005 году для контроля технического состояния ограждения доменной печи во время капитального ремонта первого разряда был использован диагностический комплекс «Сканлайнер», разработанный ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций», (ООО «ЦИЭКС», г. Москва) для диагностирования футеровки промышленных дымовых труб без останова технологического процесса.

Полученные изображения показали, что сильному износу подвержен низ шахты печи, а кладка неохлаждаемой части шахты сохранилась удовлетворительно.

Данные количественные оценки состояния рабочего пространства печей весьма эффективны и их необходимо ввести в практику проведения технических экспертиз доменных печей и других мероприятий.

Просматривается и развитие научно-технического направления «системная надежность производства чугуна», как одно из составляющих теоретических основ промышленной безопасности доменного производства. Это позволит формализованными методами увязать проблемы промышленной безопасности выплавки чугуна и, прежде всего, профилактику и предупреждение аварий с производственной програм-

мой по получению требуемого количества металла заданного качества при минимизации энергетических и иных затрат и допустимом воздействии на конструкции агрегатов и окружающую среду.

Развитие концепции системной надежности производства чугуна на базе высокотехнологичных информационных технологий представляет важную задачу, без решения которой нельзя говорить об экономичности и эффективности промышленной безопасности ни в доменном производстве, ни на металлургическом предприятии полного цикла, где показатели работы и техническое состояние доменных печей играют доминирующую роль.

На следующем этапе анализа риска проведена идентификация источников опасностей доменного производства, рассмотрены возможные аварийные ситуации, разработаны сценарии их развития.

В результате анализа статистических данных установлено, что инциденты в доменном цехе целесообразно разбить на пять групп в соответствии с этапами функционирования доменного производства.

Для определения величины вероятности возникновения аварийных ситуаций в доменном цехе предложено использовать

теорию массового обслуживания. Выдвинута гипотеза о том, что поток инцидентов подчиняется закону Пуассона. Простейшим или пуассоновским называется поток событий, который обладает тремя свойствами: стационарностью, «отсутствием последствий», ординарностью.

Вероятностные методы анализа возникновения аварий и инцидентов базируются на исходных статистических данных. Чем обширнее которые, тем более достоверны полученные выводы. Достоверность получаемых результатов в нашем случае основывается на обработке статистических данных за последние двадцать девять лет функционирования доменного цеха ОАО «ЗСМК».

В результате расчетов подтверждена гипотеза о том, что распределение инцидентов на каждом из участков подчиняется закону Пуассона.

Следовательно, предложенная теория применима в рамках настоящего исследования для определения вероятности возникновения инцидентов в доменном производстве металлургического предприятия полного цикла.

В качестве примера представим результаты расчета вероятности возникновения одного инцидента в год на различных этапах функционирования доменного производства ОАО «ЗСМК». Результаты расчетов сведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Результаты расчетов вероятности возникновения одного инцидента в год на различных этапах функционирования доменного производства ОАО «ЗСМК»

Доменная печь	Этапы функционирования доменного производства	Плотность потока	Вероятность
ДП-1	1-2	0,2759	0,5058
	3	0,4138	0,2736
	4	0,6552	0,3403
	5	0,2759	0,6093
	6	0,2414	0,4678
ДП-2	1-2	0,3103	0,5390
	3	0,1034	0,0932
	4	0,4483	0,2863
	5	0,2069	0,3082
	6	0,1034	0,2545
ДП-3	1-2	0,3448	0,5683
	3	0,3103	0,2275
	4	0,8276	0,3617
	5	0,3103	0,5390
	6	0,4138	0,6167

Используя статистические данные о материальном ущербе при возникновении инцидентов в доменном производстве ОАО «ЗСМК», можно перейти к количественным показателям риска возникновения инцидентов на соответствующем оборудовании.

Под риск аварии (инцидента) подразумевается мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии (инцидента) на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий. Понятие риска связывают с возможностью наступления сравнительно редких событий. При этом риск часто отождествляют с вероятностью наступления этих событий за интервал времени. Вероятность выступает как мера (показатель) риска, удобная для сравнения рисков для одного объекта от различных событий или для различных объектов в типовых для них условиях функционирования. Риск также определяется размером ущерба от опасного события, как правило, в натуральном или стоимостном выражении. Наиболее общим показателем риска считается математическое ожидание (среднее значение) ущерба от опасного явления.

Таким образом, для расчета риска на различных этапах функционирования доменного производства ОАО «ЗСМК» используют две составляющие – вероятностную оценку возникновения неблагоприятного события и ущерб от его возникновения.

Расчет количественных показателей риска выявил, что наибольшее значение ожидаемого ущерба приходится на этапы выплавки чугуна в доменной печи и выпуск продуктов доменной плавки. Полученные результаты позволяют определить приоритетные направления в разработке организационных, технических и технологических мероприятий по снижению уровня риска.

Проведенные исследования соответствуют направлению деятельности на ОАО «ЗСМК» в области промышленной безопасности в последние годы.

В настоящее время ситуация с возникновением инцидентов в доменном производстве ЗАО «ЗСМК» достаточно стабильна и имеет тенденцию к снижению.

Время простоев при ликвидации инцидентов сократилось со 195 ч 20 мин в 2001 году до 48 ч 50 мин в 2009 году.

С 1998 года на базе ОАО «ЗСМК» работает Новокузнецкий региональный Центр института экономики и управления в промышленности, в состав которого входит Центр охраны труда. Ежегодно в Центре охраны труда проходят обучение более 1000 специалистов комбината. Около 700 работников комбината ежегодно прохо-

дят подготовку и аттестацию в области промышленной безопасности.

На комбинате функционируют приборы и системы контроля за производственными процессами в соответствии с установленными требованиями, а также системы наблюдения, оповещения, связи и поддержки принятия решений в случае аварии.

Разработаны и утверждены планы ликвидации аварий с учетом последствий возможных в регионе землетрясений и предотвращения террористической деятельности. Для отработки действий персонала в случае аварии или инцидента по утвержденным графикам проводятся учебные тренировочные занятия.

ОАО «ЗСМК» является одним из первых металлургических комбинатов, на котором начали проводиться работы по сооружению высокотемпературных воздухонагревателей фирмы «Калугин» для нагрева доменного дутья до температур 1200 °С и более для доменных печей объемом 3000 м<sup>3</sup>.

На комбинате проводятся работы по повышению продолжительности кампании работы воздухонагревателей до 30 лет при высоких температурах дутья и с использованием теплоты обходящей воды из системы охлаждения доменной печи для подогрева воздуха горения, поступающего в воздухонагреватели до температур порядка 60–80 °С. Этим достигается экономия доменного газа, идущего на обогрев насадки воздухонагревателя.

Выполнение в комплексе вышеуказанных мероприятий дало существенные результаты по снижению аварийности и травматизма на опасных производственных объектах комбината, и в доменном производстве в частности.

Перспективным направлением в производстве чугуна является переход от вдувания природного газа в домну к совместной подаче пылеугольного топлива (ПУТ) с применением специально сконструированных топливосжигательных устройств, позволяющих подавать и варьировать расходы природного газа и ПУТ в различных соотношениях. Расчеты и опыт внедрения ПУТ на доменных печах большого объема показывает, что это необходимая задача достижения высоких показателей при применении ПУТ и повышения надежности работы доменной печи в переменных и нестабильных шихтовых и дутьевых условиях.

Важнейшим направлением в повышении промышленной безопасности является оснащение комплекса доменных печей (включая синхронную работу печи, воздухонагревателей, воздуходувных машин и газоочистки) современными системами

контроля и управления. Так только фирма «Пауль Вюрт» рекламирует более 20 референций поставки комплексных пакетов автоматизации для повышения надежности доменных печей, увеличения продолжительности службы и улучшения безопасности производства чугуна. Здесь огромный фронт работы.

Авторы благодарны д-ру техн. наук России и Украины А.В. Бородулину за полезные дискуссии и внимание к работе.

### Заключение

В современных условиях актуальность и необходимость повышения уровня промышленной безопасности на металлургических предприятиях не вызывает сомнений. Эксперты констатируют рост рисков техногенного характера. Проектируемые и существующие опасные производственные объекты в металлургии нуждаются в проведении комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации. Своевременная экспертиза и планирование в области промышленной безопасности позволяют производству избежать аварийных ситуаций (а в случае их возникновения – подготовиться к локализации), а также добиться максимального уровня безопасности для окружающих территорий и населения.

Проведенные авторами исследования и проводимая на примере ОАО «ЗСМК» в последние годы работа говорят о важности рассматриваемых вопросов в области промышленной безопасности.

Применение диагностического комплекса «Сканлайнер» для контроля ограждения доменных печей позволяет оперативно отслеживать техническое состояние ограждения без остановки технологического процесса, что значительно сокращает сроки принятия решений по определению сроков и объемов ремонтных работ, повышает уровень промышленной безопасности.

В развитии единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций огромное значение имеют системные аналитики, специалисты, выполняющие конструктивную, системную роль в решении проблем промышленной безопасности. При возникновении аварийной ситуации они могут профессионально рассмотреть эту комплексную проблему и выработать конкретные управленческие решения. Таких специалистов немного и целесообразно в ближайшее время организовать их подготовку и переподготовку с учетом мирового опыта, высоконаучных информационных технологий и современных технических разработок.

**Список литературы**

1. Программа модернизации и технического перевооружения Западно-Сибирского металлургического комбината / Р.С. Айзатулов, В.С. Рехтин, В.С. Степанов, А.С. Янковский // Сталь. – 1992. – № 6. – С. 1–7.
2. О развитии научного направления в металлургии – системной надежности доменного производства / А.В. Бородулин, В.С. Листопадов, С.П. Суцев, И.А. Султангузин, А.Л. Чайка // Теория и практика производства чугуна. Сб. трудов междунар. научно-технической конференции. – Кривой Рог: КГТМК «Криворожсталь», 2004. – С. 324–328.
3. Большаков В.И. Динамичное развитие технологии и оборудования доменного производства Японии // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 10–13.
4. Жеребин Б.Н., Пареньков А.Е. Неполадки и аварии в работе доменных печей. Новокузнецк, 2001. – 275 с.
5. О проблемах построения теории безопасности / В.К. Мусаев, С.П. Суцев, В.А. Акатьев, М.И. Шиянов, А.Н. Ивлев // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: Т38. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск IX. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2007. – С. 59–64.
6. О системах мониторинга чрезвычайных ситуаций / В.К. Мусаев, С.П. Суцев, В.А. Куранцов, В.Г. Ситник, К.Б. Сазонов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 3. – С. 23–32.
7. Анализ риска в задачах безопасности территорий / В.К. Мусаев, М.И. Шиянов, С.П. Суцев, В.Г. Ситник, Т.С. Суцев // Вестник Российского университета дружбы наро-

дов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 4. – С. 23–31.

8. О приоритетах опасности при оценке безопасности сложных технических объектов / В.К. Мусаев, Р.Ф. Ганиев, Р.И. Нигматулин, А.А. Соловьев, С.П. Суцев // Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XVII Международной конференции. – М.: РГГУ, 2009. – С. 240–244.

9. О фундаментальных приоритетах при оценке безопасности потенциально опасных объектов / В.К. Мусаев, С.П. Суцев, М.И. Шиянов, В.А. Куранцов // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 10–14.

10. Анализ риска в задачах моделирования опасностей / В.К. Мусаев, С.П. Суцев, М.И. Шиянов, В.А. Куранцов // Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XV Международной конференции. – М.: РГГУ, 2007. – С. 111–114.

**Рецензенты:**

Пачурин Г.В., д.т.н., профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Ларионов В.И., д.т.н., зам. директора НОЦ НЭС МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва;

Мусаев В.К., д.т.н., профессор, директор научно-производственной фирмы «Интерсейсм», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 15.02.2011.