

Л.Г.Тубольцев\*, Г.Н.Голубых\*, С.П.Сушев\*\*, В.В.Блинные\*\*\*

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ  
АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ИНЦИДЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ  
ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*\*Институт черной металлургии НАН Украины,*

*\*\* ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций»,*

*\*\*\* Академия гражданской защиты МЧС РФ*

Целью работы является оценка риска возникновения инцидентов и аварийных ситуаций в доменном производстве с использованием теории массового обслуживания. В работе идентифицированы возникающие инциденты и аварийные ситуации, сопоставлены теоретические и эмпирические закономерности распределения инцидентов и времени их ликвидации на основе анализа статистических данных. Для определения вероятности возникновения инцидентов и аварийных ситуаций предложено использовать систему массового обслуживания, потоком требований в которой являются заявки на ликвидацию инцидентов, а временем обслуживания – время их ликвидации.

**доменное производство, опасные производственные объекты, идентификация опасности, инцидент, аварийная ситуация, оценка, риск**

**Состояние проблемы.** Обеспечение промышленной безопасности в доменном производстве является неотъемлемым требованием конкурентоспособности металлопродукции в современных условиях и во многом зависит от выбора системы управления рисками аварийных ситуаций. Используемые и получаемые в доменном производстве материалы и вещества, а также насыщенность доменного цеха различным технологическим оборудованием и агрегатами, обуславливают возникновение инцидентов и аварийных ситуаций, которые могут привести к значительному экономическому ущербу, травмированию обслуживающего персонала, а также негативному влиянию на окружающую среду. Продолжительность безопасной работы доменных печей определяется сырьевыми условиями доменной плавки; рациональностью технологии; эффективностью используемых систем охлаждения; качеством огнеупоров; техникой выпуска продуктов плавки; продолжительностью и частотой простоев печи; техническим состоянием технологического оборудования и агрегатов и др. Задача снижения аварийности оборудования в доменном производстве, с целью сохранения производственных фондов и обеспечения безопасности обслуживающего персонала, является актуальной для металлургических предприятий. Для решения этой задачи необходимо оценить риск возникновения инцидентов и аварийных ситуаций при эксплуатации оборудования и определить организационные, технические и технологические ме-

роприятия, обеспечивающие повышение безопасности доменного производства металлургического предприятия.

**Целью работы** является оценка риска возникновения инцидентов и аварийных ситуаций в доменном производстве с использованием теории массового обслуживания.

**Изложение материалов исследования.** Процесс управления риском (сочетание вероятности события и его последствий) включает: идентификацию и анализ риска, оценку его допустимости, определение потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий.

Оценка и анализ риска представляет собой процесс, целью которого является определение вероятности и размеров неблагоприятных последствий, возникающих в доменном производстве, а также обеспечивает базу для разработки мероприятий по снижению риска. В качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде. Посредством проведения анализа риска предпринимаются попытки ответить на три вопроса: что может выйти из строя (идентификация опасности); с какой вероятностью это может произойти (анализ частоты); каковы последствия этого события (анализ последствий). Общий процесс анализа и оценивания риска представлен на рис. 1.



Рис.1. Последовательность процесса анализа и оценивания риска.

Методы анализа риска (табл.1), используемые для оценки величины риска, обычно являются количественными. Однако

полный количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации об отказе оборудования, применяемого в доменном производстве, о влиянии человеческого фактора и т.п. При таких обстоятельствах может оказаться эффективным сравнительное количественное или качественное ранжирование риска специалистами в области технологии производства чугуна.

Таблица 1. Перечень наиболее распространенных методов, используемых при анализе риска.

Метод	Описание и применение
Анализ «дерева событий»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, в которых используется индуктивный подход с целью перевода различных иницирующих событий в возможные исходы.
Анализ видов и последствий отказов оборудования, а также анализ видов, последствий и критичности отказов	Совокупность приемов идентификации главных источников опасности и анализа частот, с помощью которых анализируются все аварийные состояния данной единицы оборудования на предмет их влияния, как на другие компоненты, так и на все производство в целом.
Анализ «дерева неисправностей»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот нежелательного события, с помощью которых определяются все пути его реализации.
Анализ влияния человеческого фактора	Совокупность приемов анализа частот в области воздействия персонала на показатели работы производства, при помощи которых определяется влияние ошибок человека на надежность.
Предварительный анализ опасности	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, используемых на ранней стадии проектирования с целью идентификации опасностей и оценки их критичности.
Структурная схема надежности	Совокупность приемов анализа частот, на основе которых создается модель производства и его резервов для оценки надежности системы.

Независимо от применяемых приемов важно, чтобы в общем процессе идентификации опасностей доменного производства должное внимание было уделено тому, что человеческие и организационные ошибки являются существенными факторами во многих инцидентах и аварийных ситуациях, поэтому сценарии аварийных ситуаций, предусматривающие человеческую и организационную ошибку, также должны быть включены в процесс идентификации опасностей, который не должен быть направлен исключительно на технические и технологические аспекты.

Инцидент – это отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от режима

технологического процесса, нарушение требований нормативно-правовых документов; авария – это разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Из множества существующих методов оценки риска опасных производственных объектов [1], диапазон которых простирается от упрощенных аналитических подходов до очень сложных систем, для оценки риска доменного производства, на котором используются, образуются, транспортируются газы и горючие вещества, применяются грузоподъемные механизмы, конвейеры, эстакады, получают расплавы черных металлов, более приемлемо использование такого метода моделирования, который бы максимально соответствовал технологии доменного процесса. Таким методом является анализ диаграммы возможных последствий нежелательного инициирующего события (анализ «дерева событий»). Данный метод представляет собой совокупность количественных и качественных приемов, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события и, если это требуется, их вероятностей. Применение такого метода способствует снижению аварийности оборудования в доменном производстве, позволяет выявлять последовательности и взаимосвязь событий, которые, в свою очередь, приводят к появлению определенных последствий инициирующего события. Данный метод очень полезен при выявлении событий, которые требуют дальнейшего анализа. Для того чтобы сделать исчерпывающую оценку риска, требуется идентифицировать все потенциальные инициирующие события. В доменном производстве возможно возникновение следующих аварийных ситуаций: прогары горна и лещади с выходом чугуна; прогары рам и холодильников чугуновых леток; неполадки на выпусках, заливка путей; прогары и вынос шлаковых приборов; вынос фурменных устройств с выбросом материалов; заливка фурменных устройств и их расчистка; прогары фурм и неисправности элементов фурменных устройств; прогары и разрывы кожухов в шахте и заплечиках с выбросом материалов; разрывы и трещины кожухов печей; выход из строя холодильников, их ремонт и замена; сход и неисправности скипов, разрушение наклонного моста; неисправности загрузочных устройств (обрывы конусов, штанг и др.); неисправности оборудования подбункерных помещений; неисправности на тракте грязного газа; неисправности на трактах холодного и горячего дутья; выход из строя и замена клапанов горячего дутья; неисправности в системах энерго- паро- водо- снабжения; прочие.

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 основании 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 при эксплуатации оборудования в доменном производстве. Для оценки меры опасности доменного производства и расчета величины риска предлагается применить выражение:

$$R_{инц.} = \sum_i^n P_{инц.i} \cdot Y_{инц.i}, \quad (1)$$

где  $P_{инц.i}$  – вероятность возникновения инцидента (аварийной ситуации) на  $i$ -том оборудовании;  $Y_{инц.i}$  – ущерб от возникновения инцидента (аварийной ситуации) на  $i$ -том оборудовании;  $n$  – количество оборудования производственного процесса [1].

Для оценки вероятности возникновения инцидентов технологический процесс выплавки чугуна разбит на шесть самостоятельных блоков (подсистем) структурной схемы доменного производства (рис. 2).



Рис.2. Структурная схема доменного производства металлургического предприятия

При количественном анализе опасностей сложные технические системы (к которым относится и доменное производство) разбивают на множество подсистем  $E_1, E_2, \dots, E_m$ , каждая из которых рассматривается как самостоятельная система, состоящая из отдельных компонентов [2]. Определение вероятности аварийной ситуации всей системы и логический анализ внутренней структуры системы [3] позволяют разбить объект на четыре группы:

*И*-подсистема – компоненты соединены последовательно (логическое произведение событий):  $E = E_1 E_2 \dots E_m = \prod_{j=1}^m E_j$ ;

вероятность аварийной ситуации  $I$ -подсистемы:  $P(E) = \prod_{j=1}^m P\{E_j\}$ .

$ИЛИ$ -подсистема – компоненты соединены параллельно (логическая сумма событий):  $E = E_1 + E_2 + \dots + E_m = \sum_{j=1}^m E_j$ ; вероятность аварийной ситуации  $ИЛИ$ -подсистемы:  $P(E) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P\{E_j\})$ .

$И-ИЛИ$ -подсистема – последовательно соединенные компоненты  $E_i$  образуют  $I$ -подсистему и представляют собой  $ИЛИ$ -подсистемы, состоящие из параллельно соединенных компонентов  $E_{ij}$ ; вероятность аварийной ситуации:  $P(E) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - P\{E_{ij}\}) \right]$ .

$ИЛИ-И$ -подсистема – параллельно соединенные компоненты  $E_i$  образуют  $ИЛИ$ -подсистему и представляют собой  $I$ -подсистемы, состоящие из последовательно соединенных компонентов  $E_{ij}$ ; вероятность равна:

$$P(E) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} P\{E_{ij}\} \right].$$

Каждый из шести блоков в схеме доменного производства (ДП) (рис. 2) состоит из подсистем технических устройств и технологического оборудования, обеспечивающих бесперебойное функционирование всего цикла доменного процесса, которые в свою очередь представляют собой самостоятельные системы (здесь рассматривается типовой проект доменного цеха, включающий три доменные печи, каждая из которых оборудована тремя чугунными летками и четыре разливочные машины). В целом доменное производство можно рассматривать как  $I$ -систему:

$E = E_1 E_2 E_3 E_4 E_5 E_6 = \prod_{j=1}^6 E_j$ . Вероятность аварийной ситуации:

$$P(E_{ДП}) = \prod_{j=1}^6 P\{E_j\} = P\{E_1\} \cdot P\{E_2\} \cdot P\{E_3\} \cdot P\{E_4\} \cdot P\{E_5\} \cdot P\{E_6\}.$$

Процесс транспортировки сырья и топлива к скиповому подъемнику доменной печи состоит из трех подсистем: тракта подачи агломерата, тракта подачи кокса, тракта подачи флюса и представляют собой  $ИЛИ$ -подсистему:

$E_1 = E_{1,1} + E_{1,2} + E_{1,3} = \sum_{j=1}^3 E_{1,j}$ . Вероятность аварийной ситуации:

$$P(E_1) = 1 - \prod_{j=1}^3 (1 - P\{E_{1,j}\}) = 1 - \left( (1 - P\{E_{1,1}\}) \cdot (1 - P\{E_{1,2}\}) \cdot (1 - P\{E_{1,3}\}) \right).$$

Подача сырья и топлива к загрузочному устройству доменной печи осуществляется скиповыми подъемниками. Эту линию будем рассматривать состоящей из одной компоненты, которая может привести к сбою в данной подсистеме с вероятностью аварийной ситуации  $P(E_2)$ .

Загрузка сырья и топлива в доменную печь осуществляется с помощью загрузочного аппарата. Процесс загрузки доменной печи можно рассматривать состоящим из одной компоненты, которая приводит к сбою данной подсистемы с вероятностью аварийной ситуации  $P(E_3)$ .

Процесс выплавки чугуна, осуществляемый, например, на трех доменных печах, представляет собой *ИЛИ*-подсистему:

$$E_4 = E_{4,1} + E_{4,2} + E_{4,3} = \sum_{j=1}^3 E_{4,j}. \text{ Вероятность аварийной ситуации}$$

при выплавке чугуна:

$$P(E_4) = 1 - \prod_{j=1}^3 (1 - P\{E_{4,j}\}) = 1 - \left( (1 - P\{E_{4,1}\}) \cdot (1 - P\{E_{4,2}\}) \cdot (1 - P\{E_{4,3}\}) \right)$$

Процесс выпуска продуктов доменной плавки для трех доменных печей производится через три летки и представляет собой *ИЛИ*-подсистему:

$$E_5 = E_{5,1} + E_{5,2} + E_{5,3} = \sum_{j=1}^3 E_{5,j}. \text{ Вероятность аварийной ситуации при}$$

выпуске чугуна и шлака:

$$P(E_5) = 1 - \prod_{j=1}^3 (1 - P\{E_{5,j}\}) = 1 - \left( (1 - P\{E_{5,1}\}) \cdot (1 - P\{E_{5,2}\}) \cdot (1 - P\{E_{5,3}\}) \right)$$

Процесс разливки продуктов доменной плавки (чугуна и шлака), в котором участвуют четыре разливные машины, чугуновоз и шлаковоз, представляет собой *И-ИЛИ*-подсистему. Вероятность аварийной ситуации:

$$P(E_6) = \prod_{i=1}^6 \left[ 1 - \prod_{j=1}^4 (1 - P\{E_{ij}\}) \right] =$$

$$= 1 - \left( (1 - P\{E_{6,1}\}) \cdot (1 - P\{E_{6,2}\}) \cdot (1 - P\{E_{6,3}\}) \cdot (1 - P\{E_{6,4}\}) \right) \cdot P\{E_{6,5}\} \cdot P\{E_{6,6}\}$$

Для определения вероятности аварийной ситуации  $P(E_{ij})$  оборудования на каждом этапе доменного производства (имея статистические данные о времени ликвидации аварийных ситуаций, количестве технических устройств доменного цеха, количестве аварийных ситуаций за рассматриваемый период, фактическом времени работы оборудования и ущербе от его простоев) процесс возникновения и ликвидации аварийных ситуаций при выплавке чугуна можно представить как систему массового обслужи-

вания. Потоком требований в ней являются заявки на ликвидацию аварийных ситуаций –  $\lambda_{инц,i}$  или интенсивность инцидентов, а временем обслуживания  $t_{ликв,i}$  – время их ликвидации, причем распределение инцидентов должно соответствовать закону Пуассона, а время их ликвидации – показательному закону [3].

Таким образом, вероятность аварийной ситуации в доменном производстве описывается выражением:

$$\begin{aligned}
 P(E_{ДП}) &= \prod_{j=1}^6 P\{E_j\} = P\{E_1\} \cdot P\{E_2\} \cdot P\{E_3\} \cdot P\{E_4\} \cdot P\{E_5\} \cdot P\{E_6\} = \\
 &= \left(1 - \left(\left(1 - P\{E_{1,1}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{1,2}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{1,3}\}\right)\right)\right) \cdot P\{E_2\} \cdot P\{E_3\} \cdot \\
 &\cdot \left(1 - \left(\left(1 - P\{E_{4,1}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{4,2}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{4,3}\}\right)\right)\right) \cdot \\
 &\cdot \left(1 - \left(\left(1 - P\{E_{5,1}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{5,2}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{5,3}\}\right)\right)\right) \cdot \\
 &\cdot \left(1 - \left(\left(1 - P\{E_{6,1}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{6,2}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{6,3}\}\right) \cdot \left(1 - P\{E_{6,4}\}\right)\right)\right) \cdot P\{E_{6,5}\} \cdot P\{E_{6,6}\}
 \end{aligned}$$

В подавляющем большинстве работ по теории массового обслуживания, особенно прикладного характера, рассматривается пуассоновский поток, в котором вероятность поступления в промежуток времени  $t$  ровно  $x$  требований задается формулой Пуассона. Для применения теории массового обслуживания при исследовании возникновения аварийных ситуаций в доменном производстве необходимо, чтобы поток инцидентов удовлетворял следующим требованиям: стационарность, ординарность, отсутствие последствия [4].

Интенсивность инцидентов является стационарным потоком. Случайный поток называется стационарным, если вероятность поступления определенного количества требований в течение определенного отрезка времени зависит от его величины и не зависит от расположения требований на оси времени. Так, анализ инцидентов показывает, что в доменном производстве длительных промежутков времени, на протяжении которых все оборудование работало бы безотказно, не было. Отсутствие последствия в нашей задаче состоит в том, что вероятность наступления инцидента в течение определенного отрезка времени не зависит от того, сколько инцидентов возникло до этого времени, поскольку вышедшее из строя оборудование полностью восстанавливается. Ординарность потока аварийных ситуаций означает практическую невозможность появления двух и более инцидентов в один и тот же момент времени на одном и том же технологическом оборудовании, т.к. возникновение любого отказа оборудования приводит к остановке его на ремонт.

Для подтверждения того, что возникновение аварийных ситуаций и инцидентов в доменном производстве подчиняется закону распределения Пуассона, необходимо сопоставить эмпирическое распределение инци-



дентов с теоретическим пуассоновским распределением, а также эмпирическое распределение времени ликвидации с показательным законом распределения.

Проверка эмпирических распределений количества (параметр  $x$ ) инцидентов и аварийных ситуаций в доменном производстве производилась на основе анализа статистических данных об отказах оборудования доменных цехов металлургических предприятий. Идентификация аварийных ситуаций показала, что на каждом из перечисленных шести этапов технологического процесса (рис 2) могут произойти различные по степени тяжести отказы и поломки технологического оборудования и агрегатов, оказывающие определенное влияние на состояние безопасности доменного производства в целом. Анализ возникновения инцидентов и аварийных ситуаций позволил систематизировать их по обстоятельствам и объектам их происхождения. Частота распределения количества аварийных ситуаций ( $x$ ) в доменном производстве по шести позициям, приведена в табл.2.

Таблица 2. Частота распределения инцидентов в доменных цехах.

Обстоятельства инцидента	Число инцидентов, %
Неисправности механизмов и электрооборудования системы шихтоподачи	17
Повреждение или отказ узлов загрузочного аппарата	15
Прогары и неисправности элементов воздушных фурм; разрывы, трещины, прогары кожуха доменной печи	34
Прогары элементов чугунных леток; повреждения электропушек и бурмашин	14
Неполадки оборудования при разливке чугуна и шлака	14
Неисправности воздухонагревателей, трактов холодного, горячего дутья и прочие	6

В качестве количественной оценки частоты распределения инцидентов в доменных цехах могут использоваться количество инцидентов, произошедших на агрегатах и оборудовании доменного цеха (параметр  $x$ ), или время их ликвидации  $t$ . Данные величины имеют отдельные значения с определенными вероятностями и представляют собой дискретное распределение.

В частности, дискретное распределение теоретически определимо, если известны все возможные значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и их вероятности  $p(x_i)$  [5,6]. Известные статистические данные могут быть представлены в виде вариационного ряда распределения равноотстоящих вариантов и соответствующих им частот, а для их оценки могут быть использованы следующие параметры распределения: относительные и накопленные частоты,

выборочные средние, дисперсия, асимметрия, эксцесс, мода, медиана [7]. Для этого используется закон Пуассона в виде следующего выражения:

$$P_n(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (x = 0, 1, 2, \dots), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – некоторая положительная величина (интенсивность появления инцидента), называемая параметром закона Пуассона.

Проверка того, что случайная величина  $x$  (количество инцидентов, произошедших на агрегатах и оборудовании доменного цеха) распределена по закону Пуассона, проводилась по следующей схеме: в качестве параметра  $\lambda$  распределения Пуассона принимали выборочную среднюю  $X$ :

$$P_n(x_i) = \frac{X^{x_i} e^{-X}}{x_i!}; \text{ находили теоретические частоты: } n'_i = nP_{i(\text{теор})};$$

сравнивали эмпирические  $n_i$  и теоретические  $n'_i$  частоты с помощью кри-

$$\text{терия Пирсона [8]: } \chi^2_{\text{набл}} = \sum \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}.$$

Предположение о распределении аварийных ситуаций в доменном цеху по закону Пуассона (т.е. незначительное различие эмпирических и теоретических частоты) принималось на том основании, что из полученных результатов следовало:  $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{кр}}$  [3]. Расчеты показали, что эмпирические и теоретические частоты времени ликвидации аварийных ситуаций в доменном производстве описываются показательным законом распределения:

$$P_{\text{теор}} = e^{-\mu_{\text{ликв.}i} t}, \quad (3)$$

где  $\mu_{\text{ликв.}i} = \frac{1}{t_{\text{ликв.}i}}$  – величина обратная математическому ожида-

нию времени ликвидации инцидента на  $i$ -том оборудовании.

Обобщенные результаты оценки параметров распределения инцидентов и аварийных ситуаций, произошедших на: механизмах и электрооборудовании системы шихтоподачи; механизмах загрузочного устройства; воздушных фурмах и кожухе доменной печи; чугунных летках, электропушках, бурмашинах; механизмах для разлива чугуна и шлака, представлены в табл.3.

Характеристики, представленные в табл.3, позволяют оценить ожидаемое количество инцидентов в год на оборудовании и агрегатах доменного производства (при существующих сырьевых условиях, технологии доменного процесса, качестве сырья и топлива, технического состояния оборудования, наличия ремонтной базы и др.): для механизмов и электрооборудования системы шихтоподачи, загрузочного устройства, чугунных

леток, электропушек, бурмаши, механизмов разлики продуктов плавки – 1 инцидент в год, а для кожуха доменной печи – 2 инцидента в год. Определение характеристик распределения времени ликвидации инцидентов показало, что ожидаемое время ликвидации инцидентов в доменном производстве составляет примерно 12 часов.

Таблица 3. Параметры распределения количества инцидентов, произошедших на оборудовании доменного цеха.

Параметры	Механизмы и электрооборудование шихтоподачи	Механизмы загрузочного устройства	Кожух печи	Чугунные летки, электропушки и бурмашины	Механизмы для разлики чугуна и шлака
Выборочное среднее	0,935	0,829	2,001	0,796	0,759
Дисперсия	1,247	0,627	2,292	1,279	0,941
Среднеквадратичное отклонение	1,117	0,792	1,514	1,131	0,970
Асимметрия	1,442	0,737	0,529	2,003	1,173
Экссесс	6,865	3,091	3,066	7,446	3,318
Мода	0	1	3	0	0
Медиана	1	1	2	1	1

Основными причинами возникновения инцидентов в доменном цехе являются: недостаточный уровень профессиональных знаний персонала и организации производства, нарушение технологического режима работы оборудования и агрегатов, нарушение технологических инструкций, неудовлетворительный контроль технологического процесса, нарушение регламента ревизии технических устройств, некачественный ремонт и наладка оборудования и др.

**Заключение.** Анализ риска возникновения возможных аварийных ситуаций в доменном производстве осуществляется на основании статистических данных об аварийности оборудования. Для определения вероятности возникновения инцидентов и аварийных ситуаций предложено использовать систему массового обслуживания, потоком требований в которой являются заявки на ликвидацию инцидентов, а временем обслуживания – время их ликвидации.

Оценка вероятностных характеристик распределения аварийных ситуаций и времени их ликвидации в доменном производстве выявила, что наибольшее ожидаемое количество инцидентов в год приходится на воздушные фурмы и кожух доменной печи (2 инцидента в год); для механизмов и электрооборудования системы шихтоподачи, загрузочного устрой-

ства, чугунних леток, електропушек, бурмашин, механізмів разливки продуктів плавки доменної печі – 1 інцидент в год; очікуване время ліквідації інцидентів і аварійних ситуацій складає приблизно 12 годин.

1. *Тэйман Л.Н.* Ризики в экономике / Под ред. Швандера В.А. – М.: Юнити-Дана. – 2002. – 380 с.
2. *Безопасность жизнедеятельности* / Под ред. Белова С.В. – М.: Высшая школа. – 1999. – 448 с.
3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука. – 1969. – 576 с.
4. *Новиков О.А., Петухов С.И.* Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М.: Советское радио. – 1969. – 400 с.
5. *Гребеник В.М., Цапко В.К.* Надежность металлургического оборудования. Справочник. – М.: Металлургия. – 1989. – 592 с.
6. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности. – М.: Наука. – 1965. – 524 с.
7. *Гмурман В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа. – 1970. – 239 с.
8. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения (Приложение 3 «Значения  $\chi^2$  в зависимости от  $k$  и  $p$ »). Учебное пособие. – 5-е изд. – М.: Кнорус. – 2010. – 480 с.

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук, проф. Д.Н.Тогобицкой*

***Л.Г.Тубольцев, Г.М.Голубих, С.П.Суцев, В.В.Блинников***

### **Імовірна оцінка ризику виникнення аварійних ситуацій та інцидентів на прикладі доменного виробництва**

Метою роботи є оцінка ризику виникнення інцидентів та аварійних ситуацій у доменному виробництві з використанням теорії масового обслуговування. У роботі ідентифіковано інциденти та аварійні ситуації, порівняно теоретичні та емпіричні закономірності розподілу інцидентів та годині їх ліквідації на основі аналізу статистичних даних. Для визначення вірогідності виникнення інцидентів і аварійних ситуацій запропоновано використовувати систему масового обслуговування, потоком вимог в якій є заявки на ліквідацію інцидентів, а часом обслуговування – час їх ліквідації.