

УДК 004.272.2:519.63

Н.А. Астафьев, аспирант,
О.А. Дмитриева, д-р техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет, г. Красноармейск, Украина
dmitrieva.donntu@gmail.com

Анализ проблемы прогнозирования аварий при эксплуатации объектов повышенной опасности

Работа посвящена вопросам анализа факторов, влияющих на сроки безаварийной эксплуатации объектов повышенной опасности различных производств. На основе анализа существующих методик предложен вариант, основанный на исследовании зависимости срока эксплуатации объекта от различных факторов изготовления, эксплуатации и ремонтов. Показано, что данный метод дополняет уже известные методики. На основе предложенного метода в дальнейшем планируется разработка математической модели, использующей полученные зависимости для прогнозирования срока, по окончании которого возможен отказ объекта повышенной опасности с вероятностью, не превышающей заданную.

Ключевые слова: математическая модель, объект повышенной опасности, безаварийная эксплуатация, прогнозирование, регрессионный анализ.

Введение

Важнейшей задачей любого производственного процесса является обеспечение безопасности как для работников предприятия, так и для окружающей среды [1]. Данную задачу решает промышленная безопасность, которая опирается на государственную и межгосударственную нормативную базу. Для этого научно-исследовательские институты в сфере охраны труда и промышленной безопасности различных государств мира применяют теоретические и практические наработки для оценки рисков и определения сроков безопасной эксплуатации того или иного объекта повышенной опасности (ОПО) [2].

Количество производственных травм в Украине за 2014 год составило 6318 человек (548 из них со смертельным исходом) [3]. Большая часть из них в угольной промышленности и в социальной сфере. Это обусловлено тем, что аварийность в угольной промышленности стихийная, а в социальной сфере сильно зависит от человеческого фактора. На непрерывных производствах (металлургия и нефтехимия) уровень травматизма в 5-6 раз ниже. Причина этого - применение множества методик по оценке рисков и прогнозированию аварийных ситуаций, а также серьезное отношение к охране труда и промышленной безопасности. Однако количество травм остается еще высоким (472 человека, из них 40 со смертельным

исходом). Что касается суммарного ущерба от аварий такого типа, то он, как правило, носит случайный характер и превышает финансовые возможности предприятия [4]. Поэтому анализ и оценка рисков при возможных аварийных ситуациях, в том числе, вызванных человеческим фактором, является одной из ключевых проблем промышленной безопасности.

Целью данной работы является обзор и анализ существующих методов определения срока безаварийной эксплуатации ОПО, а также разработка математической регрессионной модели, направленной на прогнозирование аварийной ситуации, что позволит сократить затраты и минимизировать время простоя объекта при ликвидации возможных опасностей.

Трудностью в определении срока до отказа ОПО является то, что процесс моделирования режима отказа характеризуется наличием нелинейных зависимостей, случайных компонент, субъективностью экспертных оценок.

Задачи и инструменты экспертного обследования объектов повышенной опасности.

Работы по локализации аварий и катастроф и минимизации их последствий (особенно крупных) не всегда были достаточно эффективными. В этих условиях необходимо пересмотреть приоритеты в решении проблем промышленной безопасности: главное внимание уделить мерам по предупреждению аварий и

катастроф, а не методам реагування на аварії і катастрофи. Указані обставини обґрунтовують актуальність розробки науково-методических основ прогнозування і попередження аварійності і травматизма в промисловості [1]. На сьогоднішній день в Україні на державному рівні діє система промислової безпеки по попередженню аварійності і травматизма в промисловості. Органом виконавчої влади в нашій країні, уповноваженим в сфері охорони праці і промислової безпеки, є Госгорпромнадзор України, який, використовуючи прогнозування аварійних ситуацій, здійснює нормативне регулювання діяльності підприємств.

Статтею 21 [2] регламентується діяльність підприємств, в тому числі, експлуатуючих ОПО або шкідливі технологічні процеси. Для отримання дозволів на експлуатацію ОПО підприємство за свій рахунок проводить експертизу проекту і експертне обстеження обладнання на відповідність їх вимогам нормативно-правових актів об охороні праці, діючих на території України.

Порядок експертного обстеження ОПО, навчання технічних експертів і видачі дозволів підприємствам, виконуючим даний вид робіт на території України, регламентується [3]. Даним документом також даються визначення «експертне обстеження» (технічне діагностування), «технічний огляд», «пределний термін експлуатації», «остаточний ресурс обладнання» і «пределне технічне стан обладнання», необхідні для подальшої роботи.

Пределний термін експлуатації обладнання – установлені експлуатаційними документами термін експлуатації або величина ресурсу, після закінчення (вичерпання) яких експлуатація обладнання припиняється.

Остаточний ресурс обладнання – термін експлуатації або величина ресурсу обладнання з моменту його експертного обстеження до переходу в пределне технічне стан.

Пределне технічне стан обладнання – стан обладнання, при якому подальша експлуатація або відновлення його придатного стану неможливі або нецелесообразні.

Після настання пределного терміна ОПО, проводиться експертне обстеження з метою визначення остаточного ресурсу обладнання і визначення наступного пределного терміна експлуатації об'єкта. В цьому

випадку термін визначається згідно методикам, прийнятими органами Госгорпромнадзора України. Пределний термін може бути зменшений по усмотренню технічного експерта і на основі математических розрахунків.

В зв'язі з тим, що кожний ОПО має індивідуальність (виготовлення, умов експлуатації і ремонтів), реальні пределні терміни двох однакових установок можуть сильно відрізнятися. В випадку, якщо аварійна ситуація настане до закінчення призначеного терміна технічного огляду або планового ремонту, власнику, крім ремонту (відновлення) обладнання, необхідно буде за свій рахунок ліквідувати наслідки аварії і відшкодувати шкоду потерпілим. Правильно визначив фактори, впливаючі на результат розрахунку пределного терміна експлуатації ОПО, можна знизити витрати від супутнього шкоди.

Во многих отраслях промисловості дані по аварійним ситуаціям збираються, але дуже мало перетворюються в корисну інформацію. Для отримання знань з цих об'ємів даних необхідно застосувати інтелектуальний аналіз даних (ІАД). ІАД автоматизує аналіз великих об'ємів даних для отримання корисної інформації, т.е. є додатком статистики і технології моделювання, займаючої вторинним аналізом даних для прогнозування поведінки ОПО. В даний час для цього використовуються два типи моделей: прогностическі і описательні [5]. Прогностическа модель робить прогнози на основі отриманих раніше даних. Описательна модель накопичує, обробляє і зв'язує дані, представляючи підгрупи (статистика, кластеризація, дерева, нейронні мережі, навчальні системи і т. д.).

Серед різноманітності математических методів, використовуваних для рішення поведінческих завдань, особливе місце займають методи прогнозування. Під прогнозуванням розуміють наукове (т.е. ґрунтоване на системі фактів і доказательств, установленних причинно-наслідкових зв'язках) виявлення вірогідних шляхів і результатів майбутнього розвитку явищ і процесів, оцінку показувачів, характеризуючих ці явища і процеси. Прогнозування – це дослідницький процес, в результаті якого отримують прогноз про стан об'єкта. Прогноз є вірогідним висловом про стан об'єкта або про альтернативні шляхи його досягнення [6].

В даній роботі в основу прогнозування покладені наступні взаємодоповнюючі джерела інформації:

- оцінка перспектив розвитку майбутнього

состояния прогнозируемого явления на основе опыта, чаще всего при помощи аналогии с достаточно хорошо известными сходными явлениями и процессами;

– условное продолжение в будущее (экстраполяция) тенденций, закономерности, развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны;

– модель будущего состояния того или иного явления, процесса, построенная сообразно ожидаемым или желательным изменениям ряда условий, перспективы развития которых достаточно хорошо известны.

Обзор современных методик определения срока эксплуатации

Предельные сроки продления эксплуатации ОПО регламентируются инструкциями и другой нормативной документацией для каждого конкретного типа объектов. Расчетами этих сроков занимаются научно-исследовательские институты по каждому направлению (металлургия, энергетика, химия и т.д.). Расчеты проводятся по худшему из показателей предельных нагрузений металла и узлов ОПО.

На постсоветском пространстве предусмотрены инструменты продления срока эксплуатации сверх предельного срока, определенного производителем оборудования. Причиной этого служит, во-первых, большой запас прочности, заложенный еще при проектировании, во-вторых, попытка сэкономить, несмотря на моральный и физический износ.

В настоящее время экспертными организациями и научно-исследовательскими институтами, в зависимости от типа и опасности ОПО, используются различные подходы, которые можно условно разделить на логико-вероятностные и детерминированные модели [7]. Первая группа моделей использует такие показатели, как сроки эксплуатации аналогичных объектов (основная масса экспертиз используют этот метод), уровень промышленного риска (рассчитывается периодически в рамках планирования ликвидаций аварийных ситуаций), вероятностный отказ объекта и распределение категорий технического состояния конструкций. Разработка моделей второго типа основывается на накопленном опыте и возможности классификации оборудования по степени физического износа (методики расписаны в нормативных документах и являются обязательными к применению при экспертном обследовании), по нормативам сроков капитальных ремонтов (сроки расписаны в нормативах для каждого типа ОПО), по

деградации несущей способности или изменению параметров технического состояния (рассчитываются на основе физического износа или изменения геометрии объекта), определению коэффициента запаса прочности по видам предельных состояний. Исходя из известных подходов, можно предположить, что математический расчет безаварийного срока эксплуатации и практическая его проверка на малых сроках даст возможность обосновать и построить математическую модель, способную с момента монтажа более точно рассчитывать предельный срок эксплуатации ОПО. Так, в [4] изложены методики прогнозирования сроков безаварийной эксплуатации на различных объектах (от электронных схем до зданий и сооружений) и в различных отраслях промышленности (от нефтегазового оборудования до сельскохозяйственных механизмов). В [8] рассматривался вопрос применения этих методик для ОПО энергетического и металлургического комплекса.

В то же время, подходы, основанные на получении априорных оценок средней наработки на отказ на основе различных законов распределений для сложных объектов [2], применимы только в случаях, когда необходимо определить предельный срок эксплуатации на основе известных данных о скорости накопления дефектов в металле под влиянием различных факторов (усталость металла, цикловые нагрузки, коррозионное и эрозионное разрушение и т.п.). Этот метод не может учесть влияние восстановительных работ (ремонт) и влияние «человеческого фактора» на систему.

Использование методик, основанных на структурах типа «k из n» для объектов повышенной опасности металлургического, энергетического и химического производств имеет некоторые ограничения. Это связано с тем, что отказ любого узла объекта влечет за собой аварийную остановку (частный случай, когда $k = n$), все узлы имеют различную надежность (эксплуатируются с различными параметрами среды) и восстановление поврежденного элемента, что усложняет прогноз. Данный метод можно применить для выборочных узлов, собранных из одинаковых элементов и работающих в одних и тех же условиях (горелки летки доменной печи, горелочные устройства котла, трубы поверхностей нагрева котла в одном пакете и т.п.). Остальные узлы либо неделимы на элементы, либо на каждый элемент узла влияет своя рабочая атмосфера (камеры пароперегревателя котла имеют различные температуру и давление рабочей среды, а также состоят из различных марок стали). Для расчета узлов, собранных из однотипных элементов и

работающих в одинаковых условиях, можно применить метод порядковой статистики (ПС-метод), когда отказом системы считают момент, соответствующий появлению j -того отказа из g элементов, находящихся в нагруженном резерве [9]. В нормативной документации четко указано число вышедших из строя труб поверхностей нагрева, когда КПД котла считается неприемлемым для эксплуатации. То же касается и других систем, состоящих из n -ого количества однотипных элементов, если эти системы являются частью ОПО.

Также можно применить для этих целей и метод функций случайных аргументов (ФСА-метод). Основными задачами этой теории в прикладном плане является нахождение распределения ФСА и его числовых характеристик по заданным распределениям аргументов [10]. Некоторое применение ФСА-метода для расчета надежности систем было осуществлено в более ранних научных трудах [10–11]. Однако для успешного применения этого метода необходимо использовать двухпараметрические распределения, в частности, DN-распределение, на основании которого разработаны методики расчета надежности самых разнообразных систем (неизбыточных и избыточных, невосстанавливаемых и восстанавливаемых) [10]. На основании полученной функции распределения наработки до отказа системы можно получать оценки ее показателей надежности (гамма-процентной и средней наработок до отказа, остаточного ресурса, вероятности безотказной работы на заданный срок и т. д.).

Еще один из методов прогнозирования - логистическая регрессия - это разновидность регрессии, предназначенная для анализа связей между несколькими независимыми переменными (предикторами) и зависимой переменной. Регрессия, по сути, является математическим ожиданием одной переменной относительно другой. Обработываемые данные, полученные при обследовании ОПО, могут быть как непрерывными (нагрузки, напряжения в материале), так и дискретными (толщина металла, предельные величины эксплуатации). При наличии вероятностной модели для дискретных данных можно предсказывать распределение вероятностей результатов, а для непрерывных данных - только сам результат без оценки уверенности в нем. Несостоятельность обработки непрерывных данных была показана в [5], где для разработки прогноза пришлось разделить данные на интервалы, тем самым приведя непрерывность к дискретности. Это помогло увеличить достоверность прогноза, снизив точность.

Если есть возможность усреднения данных (например, при дискретизации непрерывных данных), возможно применение метода ближайшего соседа. При этом, если ближайший сосед один ($k = 1$), то при предъявлении модели неизвестных признаков, прогноз будет неточен, а обучающий набор определяться будет безошибочно. Если число соседей будет больше ($k > 1$), то обучающий набор не обязательно точно будет распознан, зато меньше ошибок возникнет на неизвестных выборках. Недостатком метода является тривиальность обучения, которая сводится к запоминанию обучающего набора, а также его трудоемкость, которая растет пропорционально произведению объема обучающего набора.

Еще один метод - распознающего дерева (дерева решений) - можно использовать для прогнозирования аварийных ситуаций. Дерево представляет собой конечную последовательность сравнений полученных признаков с известными величинами (равенства и неравенства). При этом от результата каждого сравнения зависят дальнейшие действия: либо продолжение сравнения, либо выдача результата. Обучение дерева сравнения - это выбор его структуры, сравниваемых признаков, признаков вершин решений и ответов в каждом листе. Очевидными достоинствами данного метода являются его простота, независимость, масштабируемость признаков и возможность интерпретировать признаки. Однако данный метод не используют как самостоятельный метод прогнозирования, так как прогноз привязан к известным величинам. При появлении неизвестных признаков в логической структуре может произойти сбой.

Из-за трудности прогноза срока безаварийной эксплуатации сложных систем, которые состоят из множества элементов, в последнее время разрабатывается больше гибридных методов моделирования. В гибридной архитектуре неэффективность одного подхода компенсируется преимуществами другого [13]. Микширование различных методов позволяет решать прогностические задачи на сложных системах, которые нельзя решить на основе отдельных методов. И если интегрировать в прогностическую систему разнородные методики, то можно ожидать прогнозы более высокого порядка, чем при объединении различных моделей в рамках одной технологии. Например, проблему высокой размерности задачи в алгоритме нелинейной системы можно решить с помощью итерационных и индуктивных переборных методов, основанных на принципах «селекция-эволюция - адаптация», т.е. методами эвристической самоорганизации. Это различные эволюционные алгоритмы,

индуктивные методы, нейронные сети, генетические, иммунные и роевые алгоритмы.

На практике пока нельзя создать под различные ОПО универсальную систему с определенной точностью прогноза. С целью повышения точности и расширения горизонтов применения многими специалистами были исследованы некоторые аспекты метода группового учета аргументов (МГУА) и предложены и разработаны на их основе гибридные алгоритмы [13]. Авторами [13] рассмотрены различные методики и выведены их достоинства и недостатки с ограничениями для применения в гибридных моделях. Нейронные сети, например, обладая высокой точностью, обучаемостью и адаптационной составляющей, не могут дать объяснительную компоненту, используют большое время для обучения, требуют большую обучающую выборку. Алгоритм клонального отбора использует вероятностные модели решения, количественную и качественную информацию, имеет высокие адаптационные свойства, но при этом не гарантирует оптимального решения, производительность алгоритмов сильно зависит от стратегии поиска решений, отсутствуют возможности объяснения полученных результатов. МГУА имеет высокую точность прогноза, использует небольшой объем эмпирической информации, имеет возможность корректировки прогноза при получении новых факторов. При этом недостатками МГУА являются также отсутствие объяснительной функции, отсутствие доверительного интервала, характеризующего точность прогноза, и невозможность построения модели для случайного поведения объекта. Таким образом, для использования методов эвристической самоорганизации необходимо провести сравнительный анализ полученных результатов и выбрать наилучший для того или иного ОПО.

Применение математического аппарата для прогнозирования и предупреждения аварий ОПО

Для проведения оценочного прогноза срока безаварийной эксплуатации необходимо выбирать самые напряженные конечные системы (элементы) ОПО, параметры (температура, давление, марка стали, толщина металла и т.д.) которых будут одинаковыми. После этого срок безаварийной эксплуатации всего ОПО будет определяться по минимальному сроку эксплуатации элементов на основе полученного прогноза.

Для того чтобы спрогнозировать ситуацию Y (аварийная ситуация), необходимо определить точку отсчета. Это может быть

момент изготовления (пуск в эксплуатацию) ОПО, момент окончания последнего капитального ремонта, момент последней аварийной ситуации. Этот фактор влияет на прогноз, так как зависит от множества параметров. Например, изменение технологических параметров после очередной аварии, модернизация процесса во время капремонта, замена дефектного участка ОПО, который в обычных условиях закономерно оказывал бы влияние на срок до точки Y . Также необходимо использовать сведения об эксплуатации аналогичного оборудования. Этот фактор не всегда возможно применить по причине того, что некоторые ОПО уникальны. Чем больше распространен тот или иной тип ОПО, тем выше вероятность успеха в прогнозе.

Если рассмотреть параметры, влияющие на исследуемую систему, каждый в отдельности, то можно найти больше факторов аналогичного оборудования для уникальных объектов. Например, влияние температуры на металл марки 09Г2С, применяемой в кожухе доменных печей, можно попытаться изучить с некоторыми оговорками на примере влияния температуры на металл той же марки, применяемый в сталеразливочных ковшах. На основании перечня причин аварийных ситуаций в ОПО можно сделать вывод, что на безотказный срок действует две основные категории параметров: скорость накопления дефектов и «человеческий фактор».

Скорость накопления дефектов ($\sum X_1$) - это группа факторов, которые зависят от качества материалов, из которых изготовлены элементы, параметров эксплуатации ОПО, качества среды рабочей и скорости ухудшения эксплуатационных характеристик. «Человеческий фактор» ($\sum X_2$) - это группа факторов, которые зависят от производственной культуры на предприятии, величины вложений в модернизацию и ремонт ОПО, а также трудовой дисциплины (беспрекословное соблюдение всех норм в области охраны труда и промышленной безопасности). Схематически математическая модель исследуемой подсистемы представлена на рис. 1.

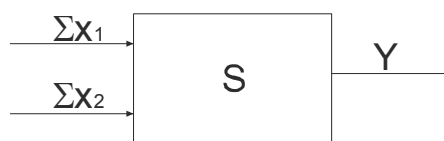


Рисунок 1 – Архитектура системы прогноза

При этом подсистема S принимает два потока аргументов ($\sum X_1$) и ($\sum X_2$), соответствующих влиянию факторов на систему,

на выходе формируется результат расчета (Y), указывающий на предельный срок эксплуатации.

Для расчета принимается не абсолютное значение этих факторов, а процент выполнения всех норм, гарантирующих безопасную эксплуатацию ОПО ($\varphi \sum X_1$) и ($\varphi \sum X_2$). При этом срок безотказной работы (Y) исследуемой подсистемы определяется во временных единицах. За момент начала отсчета M_i для очередного периода принимается начало эксплуатации после последней аварийной остановки ОПО из-за нарушений в исследуемой подсистеме. За начальную точку $M_{нач}$ принимается момент последней полной замены исследуемой подсистемы.

$$\varphi \sum X_1 = \alpha_s v_k v_n \varphi_p \varphi_t, \quad (1)$$

где α_s - соответствие прочностных характеристик используемой в элементах стали проектным (из-за возможности использования более качественной стали может принимать значения, превышающие 1);

v_k - соответствие скорости коррозионного износа расчетным данным, заложенным в нормах расчета на прочность (из-за возможности снижения скорости коррозии за счет защитных покрытий и т.п. может принимать значения, превышающие 1);

v_n - соответствие скорости изменения эксплуатационных характеристик (зависит от влияния используемых материалов и может принимать значения, превышающие 1);

φ_p - отношение номинального значения параметра, установленного проектом, к среднему значению за исследуемый период;

φ_t - отношение номинального значения внешней среды, установленного проектом, к среднему значению за исследуемый период.

$$\varphi \sum X_2 = \delta_0 \delta_c \prod_{i=1}^n \delta_i, \quad (2)$$

$$\delta_0 = \frac{R_0}{1000 T_0}, \quad (3)$$

$$\delta_c = \frac{R_c}{1000 T_c}, \quad (4)$$

$$\delta_i = \frac{R_i}{1000 T_i}, \quad (5)$$

где δ_0 - коэффициент травматизма на предприятии;

R_0 - среднесписочное число работающих на предприятии;

T_0 - общее количество травм на предприятии;

δ_c - коэффициент травматизма в цехе;

R_c - среднесписочное число работающих в цехе;

T_c - общее количество травм в цехе;

δ_i - коэффициент травматизма на предприятиях-подрядчиках (выполняющих ремонт оборудования ОПО);

R_i - среднесписочное число работающих на предприятиях-подрядчиках;

T_i - общее количество травм на предприятиях-подрядчиках;

Сбор информации производится по агрегатным журналам, ремонтной документации и протоколам неразрушающего контроля элементов ОПО. Также информация о травматизме на предприятии берется из актов и отчетности по производственному травматизму.

Выводы

Обзор и анализ существующих методов определения срока безаварийной эксплуатации ОПО показал, что однозначности в выборе методики не существует. Под каждый конкретный объект исследования авторы выбирают определенную модель либо на основе экспериментальных данных, либо на основе положительных результатов эксплуатации подобного оборудования. Это показатель того, что процесс моделирования режима отказа характеризуется наличием нелинейных зависимостей, случайных компонент, субъективностью экспертных оценок.

Разработка более точной математической регрессионной модели, направленной на прогнозирование рисков, возможна при правильном подборе факторов, влияющих на безаварийную эксплуатацию ОПО. Это позволит сократить затраты и минимизировать время простоя объекта при ликвидации возможных опасностей, а также даст возможность предприятиям, эксплуатирующим такие объекты, планировать ремонты заранее.

Список использованной литературы

1. Про охорону праці [Електронний ресурс] / Закон України // – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
2. Мартынюк В.Ф. Научно-методические основы прогнозирования и предупреждения аварийности в промышленности / В.Ф. Мартынюк // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: НТЦ «Пром. безопасность». – 1998. – 48 с.

3. Оперативная информация: состояние травматизма [Электронный ресурс] / Госгорпромнадзор Украины. – Режим доступа: <http://dnop.gov.ua/index.php/uk/operativna-informatsiya/travmatizm>
4. Тляшева Р.Р. Методы прогнозирования аварийных ситуаций с образованием облаков топливоздушных смесей на предприятиях нефтепереработки / Р.Р. Тляшева, А.В. Солодовников // Нефтегазовое дело. – 2006. – №1. – С. 18-27.
5. Nakamura J. Predicting Time-to-Failure of Industrial Machines with Temporal Data Mining / J. Nakamura // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree. – University of Washington. – 2007. – 80 p.
6. Окубо Т. Техника безопасности и охрана труда в промышленных странах [Электронный ресурс] / Т. Окубо. – Режим доступа: <http://otipb.ucoz.ru/publ/2-1-0-59>
7. Самигуллин Г.Х. Определение остаточного ресурса производственных зданий и сооружений нефтеперерабатывающих предприятий / Г.Х. Самигуллин, М.М. Султанов // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 2. – С. 12-18.
8. Kaplan S. New Tools for Failure and Risk Analysis / S. Kaplan, S. Visnepolschi, B. Zlotin // Ideation International Inc. – 1999. – 86 p.
9. Стрельников В.П. Анализ методик расчета безотказности избыточных систем / В.П. Стрельников, Е.В. Барзик, Е.С. Пантелеева // Математичні машини і системи. – 2005 – № 2. – С. 168-173.
10. Стрельников В.П. Расчет надежности резервированных структур с использованием DN - распределения на основе аппарата функций случайных аргументов / В.П. Стрельников, Д. Касми // Математичні машини і системи. – 2006. – № 2. – С. 153-157.
11. Надежность и эффективность АСУ / Ю.Г. Заренин, М.Д. Збырко, Б.П. Креденцер и др. – К.: Техніка. – 1975. – 368 с.
12. Литтл Дж. Статистический анализ данных с пропусками / Дж. Литтл, Л. Рубин. – М.: Финансы и статистика. – 1990. – 336 с.
13. Литвиненко В.И. Метод индуктивного синтеза РБФ нейронных сетей с помощью алгоритма клонального отбора / В.И. Литвиненко // Індуктивне моделювання складних систем. – 2012. – № 4. – С. 114-127.

Надійшла до редколегії 15.05.2015

М.А. АСТАФ'ЄВ, О.А. ДМИТРИЄВА

Донецький національний технічний університет

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Робота присвячена питанням аналізу факторів, що впливають на терміни безаварійної експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки різних виробництв. На основі аналізу існуючих методик запропонований варіант, заснований на дослідженні терміну експлуатації об'єкта від різних факторів виготовлення, експлуатації та ремонтів. Показано, що даний метод доповнює вже відомі методики. На основі запропонованого методу надалі планується розробка математичної моделі, що використовує отримані залежності для прогнозування терміну, по закінченню якого можлива відмова об'єкта підвищеної небезпеки з імовірністю, що не перевищує задану.

Ключові слова: математична модель, об'єкт підвищеної небезпеки, безаварійна експлуатація, прогнозування, регресійний аналіз.

M.A. ASTAFIEV, O.A. DMITRIEVA

Donetsk National Technical University

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF FAILURES PREDICTION IN THE OPERATIONS OF HIGH-RISK OBJECTS

This work provides an analysis of the factors influencing the timing of trouble-free operations of high-risk objects in different industries. Based on the analysis of existing techniques a method based on the object's lifetime dependence on various factors of production, operation and repairs is proposed. It is shown that this method complements known methods. On the basis of the proposed method in the future we plan to develop a mathematical model using data about dependence to predict the lifetime, after which the failure of high-risk object is possible with a probability that does not exceed a given one.

Keywords: mathematical model, the high-risk object, trouble-free operation, forecasting, regression analysis.