

Математичні моделі й методи в системах автоматизованого управління, проектування та наукових дослідженнях

УДК 004.942:519.873

Н. А. Астафьев, аспирант,
О.А. Дмитриева, д-р техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет, г. Покровск, Украина
nik_a1975@i.ua, dmitrieva.donntu@gmail.com

Синтез математической модели оценивания сроков безаварийной эксплуатации

Работа описывает процесс синтеза модели прогнозирования сроков безаварийной эксплуатации объектов повышенной опасности на примере типового котлоагрегата. В основе разработки лежит факторный анализ, а модель относится к дискретно-стохастическому классу типовых математических схем. На основе предложенного подхода построена математическая модель, использующая функциональные и эксплуатационные параметры, а также временные характеристики, и определяющая область надежности для любого объекта повышенной опасности. Разработанная модель направлена на унификацию методики определения срока безаварийной эксплуатации с учетом множества факторов влияния.

Ключевые слова: синтез, математическая модель, объект повышенной опасности, безаварийная эксплуатация, прогнозирование, факторный анализ, надежность.

Введение

Анализ опыта использования объектов повышенной опасности (ОПО) показывает, что значительная их часть обладает еще достаточно большим запасом надежности на момент окончания нормативного срока эксплуатации [1], и при наличии обоснованных рекомендаций срок эксплуатации объектов повышенной опасности может быть значительно увеличен.

Целью данной статьи является синтез математической модели прогнозирования срока безаварийной эксплуатации ОПО на примере типового парового котла. Наиболее подходящим для разработки модели является котлоагрегат типа БКЗ-75/39ФБ. Он включает в себя все элементы типового котла, а его схема является одной из простейших. Немаловажным фактором является то, что данный ОПО широко распространен и это позволяет собрать более полную информацию по аварийным ситуациям за последние 50 лет.

Объем информации при прогнозировании подобного ОПО всегда значительный, и синтезируемая математическая модель получается весьма громоздкой для реализации. Трудности будут наблюдаться уже при 6 и более параметрах [2], а полученная модель не сможет дать простое и наглядное описание существующих связей между параметрами. Для

сжатия информации до минимальных размеров, при которых еще возможно установить связь между параметрами удобно использование факторного анализа, который подразумевает, что измеряемые параметры лишь косвенно характеризуют процесс перехода элементов ОПО в аварийное состояние. Рассматриваются не сами параметры, характеризующие состояние объекта прогноза, а факторы, объединяющие и группирующие вокруг себя некоторое количество параметров.

Чтобы синтезировать объективную модель прогноза срока безаварийной эксплуатации котла, определены его самые напряженные подсистемы (элементы), параметры (температурный режим, давление, марка стали и т.д.) которых одинаковы.

Факторный анализ модели

Надежность (N) любого объекта повышенной опасности является участком, ограниченным пересечением трех множеств [3]: функциональные параметры (V_f), эксплуатационные параметры (V_e) и временные границы (V_t). Эту зависимость можно выразить как:

$$N = \{V_f; V_e; V_t\}; \quad (1)$$

В исследуемом случае к функциональным можно отнести параметры пара (объем,

температура и давление), выдаваемые в сеть потребителя. Параметры эксплуатационные включают в себя многочисленные факторы (вид и калорийность топлива, давление и температура питательной воды, температура исходящих газов и многое другое), влияющие на параметры пара. Временные границы определяются сроком эксплуатации, который изначально закладывается в проект ОПО с учетом длительной, надежной и безопасной работы. По окончании этот срок может продлеваться до полного или частичного отказа, т.е. пока ОПО сможет выполнять заданные функции, не подвергая опасности персонал и окружающую среду.

При проектировании котел рассчитывается на определенный срок эксплуатации, выполняя тепловой (выбор оборудования), гидравлический (проверка надежности циркуляции и движения рабочей среды), аэродинамический (рабочие тепловые нагрузки) и прочностной (выбор материала оборудования и его толщины) расчеты. При этом выбираются оптимальные параметры технологического процесса, при соблюдении которых оборудование безаварийно отработает положенный срок.

Временные рамки могут расширяться за счет восстановления элементов ОПО, так как система является регенерируемой. Изначально зная функциональные параметры ОПО, а также имея историю его эксплуатационных параметров, можно попытаться найти временные рамки, в которых надежность будет обеспечиваться с заданной вероятностью при определенных слабоизменяющихся параметрах дальнейшей эксплуатации. С этими знаниями возможно заранее запланировать ремонт, а также снизить затраты на ремонты за счет индивидуального подхода к каждому ОПО, которые эксплуатируются с различным набором параметров как функциональных, так и эксплуатационных.

В процессе эксплуатации котлов невозможно поддерживать постоянные рабочие параметры. Это связано с неоднородностью газа (скачки температуры при сгорании), рабочей среды (непостоянное содержание солей, перепады давления воды по различным причинам), выработки горелок, износа труб и образования накипи на стенках труб. В связи с этим стойкость материала снижается в прямой зависимости от абсолютной разницы величины параметров и времени, в котором эта разница существует.

Так как все величины технологического процесса регистрируются в журналах, где также фиксируется время этих отклонений, можно рассчитать среднюю величину значений параметров и их относительное отклонение.

Надежность любого ОПО рассчитывается по минимальному сроку эксплуатации его элементов. Для определения «узких мест» в безаварийной работе любого агрегата необходимо выделить группы риска, в которые может входить любое количество элементов исследуемого ОПО с равными технологическими параметрами и физическими свойствами. Группы риска условно можно разделить на «аварийную группу», «ремонтную группу» и «безаварийную группу».

Аварийная группа (АГ) – это элементы агрегата, выход из строя которых в лучшем случае влечет за собой остановку технологического процесса, в худшем случае наблюдается разрушение системы, т.е. полный отказ. При этом технологический процесс на объекте сразу прекращается с непредсказуемыми последствиями такой остановки (взрыв емкостей под давлением, возгорание за пределами агрегата, выброс газа, обрушение металлоконструкций и т.п.).

Ремонтная группа (РГ) – это совокупность элементов, выход из строя которых не приведет к аварии и полной остановке технологического процесса, но снижает технологические параметры системы, т.е. приводит к частичному отказу. При этом объект может еще работать до полной его остановки еще какое-то, возможно, продолжительное время.

Безаварийная группа (БГ) – это элементы объекта повышенной опасности, авария на которых не влияет на технологический процесс в целом, но может повлиять на обеспечение безаварийной работы при выходе из строя элемента из аварийной или ремонтной группы. Например, если на питательном трубопроводе котла во время подачи теплоносителя выйдет из строя запорная арматура, то на сам технологический процесс это не повлияет, но при необходимости перекрыть подачу воды из-за аварийного подъема давления в котле, это сделать будет невозможно в сжатые сроки, что повышает вероятность полного отказа котла.

К каждой выделенной группе можно применить факторный анализ, сгруппировав множество параметров, влияющих на безаварийную эксплуатацию всех элементов, входящих в группу риска, по трем факторам: фактор эксплуатационных нагрузок $\gamma_e(t)$, фактор материала объекта $\gamma_m(t)$ и фактор восстановления $\gamma_r(t)$. Это значительно упростит анализ [4-5], т.к. не придется строить модель для каждого элемента, а достаточно учесть в одной математической модели все параметры, влияющие на разрушение системы.

$$\gamma_e(t) = \{\delta_e(t)\}, \quad (2)$$

$$\gamma_m(t) = \{\delta_c(t); \delta_t(t); \delta_d(t); \delta_m(t)\}, \quad (3)$$

$$\gamma_r(t) = \{\delta_r(t); \delta_o(t)\}. \quad (4)$$

где $\delta_e(t)$ – параметр, учитывающий влияние эксплуатационных параметров ОПО на срок безаварийной эксплуатации (уровень вибрации, цикличность, параметры рабочей среды и их изменения относительно проектных величин и т.п.);

$\delta_c(t)$ – параметр физического износа материала элемента ОПО (коррозионный и эрозионный износ, вынос за счет химического разрушения (взаимодействие с рабочей средой));

$\delta_f(t)$ – параметр развития эксплуатационных дефектов с заданной вероятностью их возникновения (рассчитывается на основании опыта эксплуатации исследуемого ОПО или аналогичных объектов);

$\delta_d(t)$ – параметр развития дефектов изготовления во время эксплуатации с заданной вероятностью их возникновения (рассчитывается на основании опыта эксплуатации исследуемого ОПО или аналогичных объектов);

$\delta_m(t)$ – параметр, учитывающий влияние материала элементов ОПО на срок безаварийной эксплуатации (марка, пределы прочности и текучести, относительное растяжение, коррозионная стойкость и другие характеристики, которые зависят от условий эксплуатации объекта);

$\delta_r(t)$ – параметр, учитывающий влияние ремонтов ОПО (наличие ремонтов и модернизации, замена элементов, своевременность ремонтов, полнота ремонтов);

$\delta_o(t)$ – параметр, учитывающий влияние периодического технического обслуживания ОПО (наличие обслуживания, своевременность обслуживания, полнота обслуживания).

При этом выражение (1) можно преобразовать в следующее:

$$N = \{\gamma_e(t); \gamma_m(t); \gamma_r(t)\}; \quad (5)$$

Определение конечных элементов типового котла

Для синтеза математической модели выбран один из наиболее распространенных котлов среднего давления БКЗ-75/39ФБ, который по классификации паровых котлов [2] относится к энергетическим водотрубным котлам с естественной циркуляцией в экранах топки (тип Е) с уравновешенной тягой и камерными топками для сжигания газообразного топлива. Номинальная паропроизводительность котла составляет 75 тонн в час перегретого до 440°C пара под давлением 39 кгс/см². Это функциональные параметры.

В обобщенной структурной схеме типового котла (рис. 1) можно выделить две основные системы: пароводяную (S_1) и газозоудную (S_2). Границами этих систем являются металлические стенки труб поверхностей нагрева пароводяной системы, через которые происходит перенос тепловой энергии от сгорания газа на нагрев воды и преобразования ее в пар [4].

Исходя из структурной схемы котла, определяются самые уязвимые подсистемы в системах S_1 и S_2 и выделяются критичные параметры, которые влияют на функционирование подсистемы, а вместе с ней, и на работу котла в целом.

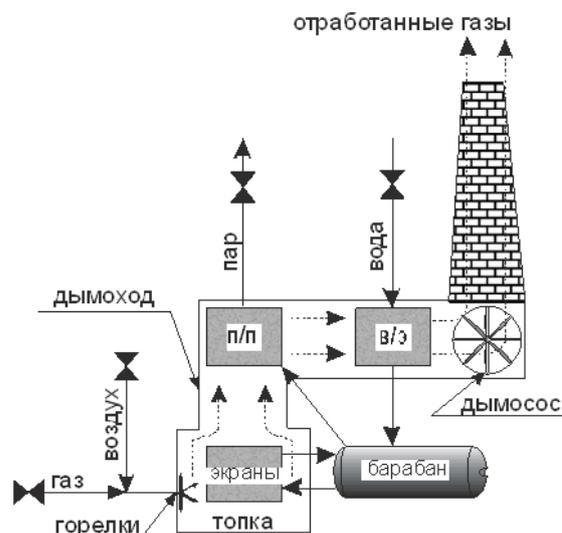


Рисунок 1 – Схема котла

В каждой из подсистем выделяются компоненты, которые оказывают влияние на срок безаварийной работы и оцениваются их критичные параметры. В газозоудной подсистеме S_1 к таким компонентам относятся

1. Газовая горелка (элемент АГ), критичными параметрами являются давление воздуха в воздуховоде, давление газа в газопроводе, объемы воздуха и газа в смесительной камере, калорийность газа, материал труб, арматуры и горелки.

2. Топка котла (элемент РГ), критичными параметрами являются температура горения газа, разрежение в топке, материал топки.

3. Дымоход котла (элемент РГ), критичными параметрами являются температура отходящих газов в районе водяного экономайзера, газоплотность и материал дымохода.

4. Дымосос, создающий разрежение в топке котла (элемент АГ). Это сложная система сама по себе, состоящая из

электрической части, быстровращающегося ротора, газоплотного корпуса. Так как эта система дублируется достаточной тягой дымовой трубы, что снижает вероятность отсутствия разряжения в топке, ее можно не учитывать как критический параметр, влияющий на создание аварийной ситуации.

В пароводяной системе влияние на срок безаварийной работы котла оказывают:

1. Питательная линия (рис. 2) и водяной экономайзер (рис. 3). Это две последовательные системы, каждая из которых делится на коллекторы, необогреваемые трубы и трубы поверхностей нагрева.

2. Барабан котла.

3. Экраны котла.

4. Пароперегреватель котла.

Экраны котла и пароперегреватель, как и водяной экономайзер, делятся на коллекторы, необогреваемые трубы и трубы поверхностей нагрева. Все коллекторы и барабан относятся к АГ, а трубы из-за параллельности и взаимозаменяемости к РГ.

Все элементы пароводяной системы котла критичны по следующим основным параметрам:

1. Давление рабочей среды – давление пара или воды, на которое рассчитан тот или иной блок системы. Давление рассчитывается исходя из потребностей потребителя пара и возможностей поставки воды. Прочностные характеристики материала в зависимости от этого параметра влияют на срок безаварийной эксплуатации.

2. Температура стенки металла – равновесная температура, которая уравнивает систему газ-вода (пар). Газ отдает тепло, а вода или пар принимают, отводя от металлической стенки ее избыток.

3. Прочностные характеристики металла ($\sigma_{пч}$, $[\sigma]$, σ_{20}) зависят от температурных показателей и при превышении пороговых показателей снижаются с течением времени.

Каждый элемент пароводяной системы S_1 имеет свой срок службы и может выйти из строя через определенный момент времени. Этот безаварийный срок службы можно обозначить событием A_j (рис. 2 ÷ 3), а безаварийный срок каждой из подсистем S_1 как событие B_i . Каждое из событий A_j можно записать как систему уравнений (6), исходя из выражения (5).

$$A_j = \{ \gamma_{e_j}(t); \gamma_{m_j}(t); \gamma_{r_j}(t) \}; \quad (6)$$

При этом безаварийный срок пароводяной системы будет представлен как:

$$B_{S_1} = \sum_{i=1}^n B_i = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m A_{ji}; \quad (7)$$

В типовой пароводяной системе встречаются подсистемы с параллельным и последовательным соединением элементов. Параллельные подсистемы состоят из одинаковых количественно, геометрически и параметрически элементов, изготовленных из одних и тех же материалов. В этом случае можно принять, что события «выход из строя» для таких элементов будут иметь равные вероятности. Последовательные элементы отличаются между собой по каким-либо параметрам (рабочим, материалу, из которого они изготовлены, геометрическим размерам или назначению).

При этом если подсистема критичная, т.е. относящаяся к группе АГ, то событие «выход из строя» рассматривается как бинарное, т.е. работает/не работает. А если подсистема представлена набором l одинаковых параллельных элементов, суммарно относящихся к группе РГ, то событие «выход из строя» будет рассматриваться как сочетательное (8), т.е. выход из строя до q любых элементов не приведет к аварии или критическому изменению функциональных и эксплуатационных параметров системы. Исходя из вышесказанного, вероятность безаварийного срока службы подсистемы РГ, представленной набором l одинаковых параллельных элементов

$$P(A_j) = \sum_{i=0}^q C_i^l \cdot P(A_{ji}^i) \cdot P(\bar{A}_{ji}^{l-i}). \quad (8)$$

Как видно из рис. 1 ÷ 3, подсистемы пароводяной системы связывают общие элементы: питательная линия с водяным экономайзером и пароперегреватель, в то же время водяной экономайзер, экраны и пароперегреватель котла связаны с барабаном. Эти элементы являются связками системы и влияют на эксплуатационные параметры.

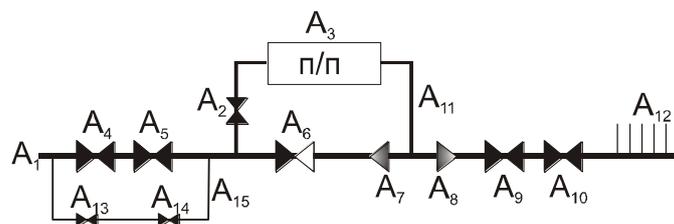


Рисунок 2 – Схема питательной линии

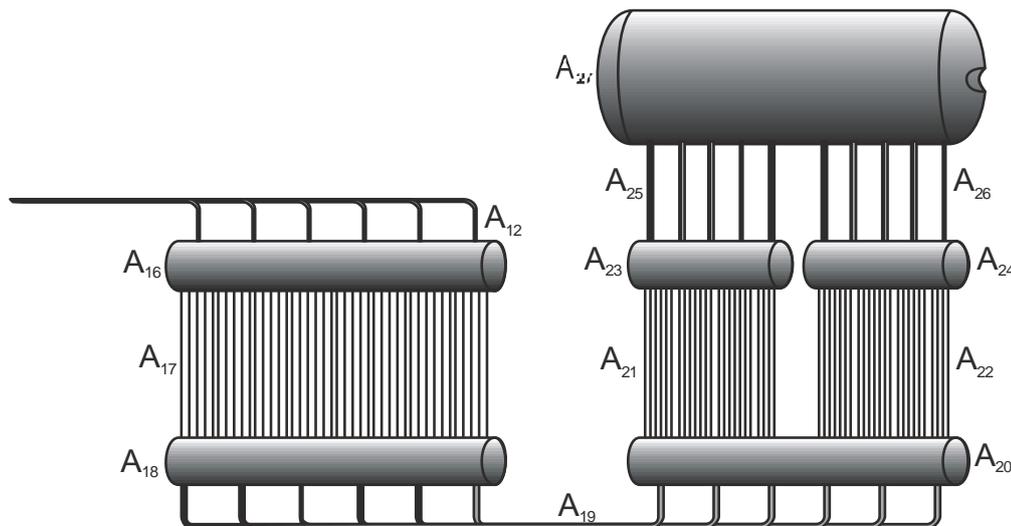


Рисунок 3 – Схема водяного экономайзера котла

Синтез обобщенной математической модели надежности

Для формирования модели построим событийные поля, характеризующие безотказную работу каждой подсистемы, и оценим соответствующие вероятности. Для питательной линии с водяным экономайзером вероятность безаварийной эксплуатации:

$$P(B_{1.1}) = P(B_{1.1} \cdot B_{1.2}), \tag{9}$$

$$P(B_{1.1}) = P(A_1 \cdot A_2 \cdot A_3) \cdot \sum_{i=0}^2 C_{24}^i \cdot P(A_3^i) \cdot P(A_{324-i}) \cdot P(A_{44} \cdot A_6 \cdot A_{72} \cdot A_{11} \cdot i=01C6i \cdot P(A_{12i}) \cdot P(A_{126-i}) \cdot P(A_{132} \cdot A_{15}) \tag{10}$$

$$P(A_4) = P(A_5) = P(A_9) = P(A_{10}), \\ P(A_7) = P(A_8), P(A_{13}) = P(A_{14}) \tag{11}$$

$$P(B_{1.2}) = P(A_{16}) \cdot \sum_{i=0}^6 C_{42}^i \cdot P(A_{17}^i) \cdot P(\bar{A}_{17}^{42-i}) \cdot P(A_{18}) \cdot \sum_{i=0}^1 C_6^i \cdot P(A_{19}^i) \cdot P(\bar{A}_{19}^{6-i}) \cdot P(A_{20}) \cdot i=04C24i \cdot P(A_{21i}) \cdot P(A_{2124-i}) \cdot 2 \cdot i=01C5i \cdot P(A_{25i}) \cdot P(A_{255-i}) \cdot 2 \cdot P(A_{232} \cdot A_{27}), \tag{12}$$

$$P(A_{25}) = P(A_{26}), \quad P(A_{23}) = P(A_{24}), \\ P(A_{21}) = P(A_{22}) \tag{13}$$

Так как остальные подсистемы пароводяной системы котла имеют подобные элементы и расположены таким же образом, можно обобщить поле событий для системы S₁, используя полученные выражения. При этом необходимо учесть в этой структуре количество последовательных и параллельных (n_p) элементов в каждой подсистеме.

$$P(B_{S_1}) = P \left(\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^{k_i} A_j \times \prod_{j=1}^{k_i} \sum_{z=0}^q C_l^z \cdot A_j^z \cdot A_{jil-z} \right) \right) \tag{14}$$

Аналогичным образом можно описать газовоздушную систему S₂. Исходя из цели дальнейшего использования представленной функциональной модели событийного поля, на которое оказывают возмущающее воздействие случайные факторы эксплуатационных нагрузок, материала объекта и восстановления из (6), конечный результат должен быть представлен в виде стохастической (вероятностной) модели [3,7]. Для этого используем математический аппарат теории вероятностей и информационно-статистический подход.

Среди входных параметров выделим:

- внешние параметры (износ оборудования), значения которых можно измерять, но возможность воздействовать на них отсутствует;
- управляющие (эксплуатационные) параметры, на которые можно оказывать прямое воздействие, в соответствии с теми или иными требованиями, что позволяет управлять процессом;
- возмущающие параметры (отклонения от расчетного течения технологического процесса), которые изменяются случайным образом и не доступны для измерения.

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P \left(\prod_{j=1}^{k_i} A_j \times \prod_{j=1}^{n_p} \sum_{z=0}^q C_l^z \cdot A_j^z \cdot A_{jil-zi} \right) \tag{15}$$

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P \left(\prod_{j=1}^{k_i} \{ \gamma_{e_j}(t); \gamma_{m_j}(t); \gamma_{r_j}(t) \} \times \right. \\ \left. j=1 npz=0qClz \cdot \gamma_{ejzt}; \gamma_{mjzt}; \gamma_{rjz}(t) \cdot \gamma_{ejl-zt}; \gamma_{mjl} \right. \\ \left. -zt; \gamma_{rjl-z}(t) \right). \quad (16)$$

Для прогнозирования аварийной ситуации необходимо задать некоторую точку отсчета t_0 . Это может быть момент изготовления (пуск в эксплуатацию) ОПО, момент окончания последнего капитального ремонта, момент последней аварийной ситуации. Этот фактор влияет на прогноз [8-9], так как зависит от множества параметров (модернизация процесса во время капремонта, замена дефектного участка ОПО).

Сбор необходимой информации производится по агрегатным журналам, ремонтной документации и протоколам неразрушающего контроля элементов ОПО. Для повышения точности прогноза необходимо проводить периодические замеры в ходе эксплуатации ОПО с последующим уточнением прогноза аварийной ситуации.

Выводы

В данной работе была поставлена задача исследования и синтеза структуры математической модели, описывающей надежность любого ОПО. Синтезированная

модель разработана на основе теории надежности и учитывает основные параметры, влияющие на безаварийную эксплуатацию оборудования.

Степень универсальности математической модели и ее точность можно будет оценить только после практического ее применения для реального объекта повышенной опасности. Область адекватности математической модели определяется путем статистической обработки эмпирических данных.

Полученная модель относится к Р-схеме, или дискретно-стохастическому классу типовых математических схем, так как все необходимые параметры невозможно измерять непрерывно, большую часть факторов можно определить только через определенные промежутки времени во время остановки оборудования или после ремонта, хотя состояние элементов объекта изменяется постоянно (система динамическая нестационарная).

Разработанная модель направлена на унификацию методики определения срока безаварийной эксплуатации ОПО, по которым в настоящее время однозначности не существует. Предложенная модель позволяет учесть множество факторов, влияющих на безаварийную эксплуатацию ОПО.

Список литературы

1. Диагностика технических устройств / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев, Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин // – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2014 - 615 с.
2. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / А. Я. Недосека // – Учебное пособие под редакцией Б. Е. Патона. - Киев: издательство методической литературы и наглядных пособий ТК-78. - 1996 - 294 с.
3. С. П. Бобков Моделирование систем: / С. П. Бобков, Д. О. Бытев / учеб. пособие// Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2008. – 156 с. - ISBN
4. Астафьев Н.А. Разработка подсистемы мониторинга для автоматического контроля надёжности котлов/ Н. А. Астафьев, О.А. Дмитриева //Збірка доповідей II Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ-2016), Покровськ, 23-27 травня 2016 р. - Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – С. 6-8.
5. Астафьев Н.А. Моделирование комплексной оценки безаварийной эксплуатации объекта повышенной опасности/ Н.А. Астафьев, О.А. Дмитриева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" (ІКОТ-2016). Випуск 1 (22) – Красноармійськ: ДонНТУ. – 2016. С. 89-93
6. Рундыгин Ю. А. Котельные установки Т. IV-18 / Ю. А. Рундыгин, Е. Э. Гильде, А. В. Судаков и др. Машиностроение. Энциклопедия. // Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др.– М.: Изд-во Машиностроение. – 2009 – 400 с.
7. Астафьев Н.А. Анализ проблемы прогнозирования аварий при эксплуатации объектов повышенной опасности/ Н.А. Астафьев, О.А. Дмитриева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" (ІКОТ-2015). Випуск 2 (21) – Красноармійськ: ДонНТУ. – 2015. С. 77-83.

8. Дмитриева О.А. О модификации многошаговых коллокационных блочных методов при параллельном моделировании динамических объектов//Системы обработки информации - Х.: Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2013, № 14(177). - С. 121-126.
9. Астафьев М.О. Моделирование надёжности при эксплуатации объекта повышенной небезпеки/ М.О. Астафьев, О.А. Дмитриева // Матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції "Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку" (КМХТ 5), 18-20 травня 2016 року. - Київ – 2016.

Надійшла до редакції 15.09.2016

М.А. АСТАФ'ЄВ, О.А. ДМИТРИЄВА

Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ТЕРМІНІВ БЕЗАВАРІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Робота описує процес синтезу моделі прогнозування термінів безаварійної експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки на прикладі типового котлоагрегату. В основі розробки лежить факторний аналіз, а модель відноситься до дискретно-стохастическому класу типових математичних схем. На основі запропонованого підходу побудовано математичну модель, яка використовує функціональні і експлуатаційні параметри, а також часові характеристики, і визначає область надійності для будь-якого об'єкта підвищеної небезпеки. Розроблена модель спрямована на уніфікацію методики визначення терміну безаварійної експлуатації з урахуванням множини факторів впливу.

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

М.А. ASTAFIEV, O.A. DMITRIEVA

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

SYNTHESIS OF A MATHEMATICAL MODEL OF ESTIMATING THE TIMING OF TROUBLE-FREE OPERATION

The work describes the process of prediction model synthesis of terms of trouble-free operation of high-risk objects by the example of a typical boiler. At the heart of the development is the factor analysis and the model belongs to a class of discrete-stochastic mathematical model schemes. On the basis of the proposed approach, a mathematical model was developed, which uses functional and operational parameters and timing, and determines the area of reliability for any object of increased danger. The developed model is aimed at harmonizing the methodology for determining the period of trouble-free operation, taking into account the effect of the set of factors.

Key words: synthesis, mathematical model, high risk, trouble-free operation, forecasting, factor analysis, reliability.