

УДК 004.942:519.876.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Астафьев Н.А., Дмитриева О.А.

## МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТА ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Астаф'єв М.А., Дмитрієва О.А.

## MODELING RELIABILITY IN OPERATION OF HIGH-RISK

Astafiev N., Dmitrieva O.

Донецкий национальный технический университет,  
г. Красноармейск, Украина  
[dmitrieva.donntu@gmail.com](mailto:dmitrieva.donntu@gmail.com)

*Робота присвячена питанням розробки та обґрунтування моделі прогнозування надійності об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) різних виробництв на основі аналізу груп факторів. При побудові оцінки працездатності ОПН до уваги беруться умови експлуатації, матеріал, що використовується, і ступінь відновлення. На основі запропонованого методу планується розробка математичної моделі.*

**Ключові слова:** математична модель, об'єкт підвищеної небезпеки, надійність, прогнозування, факторний аналіз

*Работа посвящена вопросам разработки и обоснования модели прогнозирования надёжности объектов повышенной опасности (ОПО) различных производств на основе анализа групп факторов. При построении оценки работоспособности ОПО учитываются условия эксплуатации, материал, используемый, и степень восстановления. На основе предложенного метода планируется разработка математической модели.*

**Ключевые слова:** математическая модель, объект повышенной опасности, надёжность, прогнозирование, факторный анализ

*The work is dedicated to the development and validation of the reliability prediction model of high-risk facilities based on different groups of factors analysis. When building a health assessment of high-risk takes into account the operating conditions, material used, and the degree of recovery. On the basis of the proposed method is planned to develop a mathematical model.*

**Keywords:** mathematical model, the high-risk object, reliability, forecasting, factor analysis

## ВВЕДЕНИЕ

Наблюдаемая в настоящее время тенденция увеличения числа отказов [1] при эксплуатации объектов повышенной опасности, обусловлена, в первую очередь, изношенностью основных фондов, удорожанием ремонтов и увеличением объемов ремонтных работ [2]. В то же время отказы при эксплуатации ОПО приводят не

только к серьезным экологическим и экономическим последствиям, но и к человеческим жертвам [3], и, как это не прискорбно, число таких отказов, по мнению специалистов [1, 4], будет только расти.

Для проведения объективного оценочного прогноза надёжности выбираются самые напряженные конечные системы (элементы) ОПО, параметры (температурный режим, давление, марка стали, толщина металла и т.д.) которых будут одинаковыми. После этого предельный срок безаварийной эксплуатации всего ОПО определяется по минимальному сроку эксплуатации элементов на основе полученного прогноза.

Параметры, влияющие на напряженно-деформированное состояние (НДС) конструктивных элементов ОПО, должны быть в совокупности учтены при оценке его работоспособности. Комплексную оценку работоспособности ОПО в течение нормативного периода эксплуатации необходимо проводить на основании расчета сроков безотказной работы всех элементов с учетом условий эксплуатации (статических и динамических воздействий на систему), используемого материала (вид, износостойкость материала под воздействием внешних и производственных факторов, развитие дефектов изготовления и эксплуатации) и степени восстановления (при ремонтах и обслуживании). Из этого следует, что объем информации при прогнозировании будет значительным и прогнозная математическая модель будет весьма громоздкой для вычислений. Трудности будут наблюдаться уже при 6 и более параметрах [5], а полученная модель не сможет дать простое и наглядное описание существующих связей между параметрами. Необходимо сжать информацию до минимальных размеров, при которых еще возможно установить связь между параметрами. Для этого предполагается использование факторного анализа, который подразумевает, что измеряемые параметры лишь косвенно характеризуют процесс перехода элементов ОПО в аварийное состояние. Необходимо рассматривать не сами параметры, характеризующие состояние объекта прогноза, а факторы, объединяющие и группирующие вокруг себя некоторое количество параметров.

### ПРЕДПОСЫЛКИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА

Надежность (N) любого ОПО можно представить в виде пересечения трех множеств, определяющих функциональные параметры ( $V_f$ ), эксплуатационные параметры ( $V_e$ ) и временные рамки ( $V_t$ ). Такую зависимость можно выразить соотношением:

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

Функциональными параметрами могут являться выходные параметры ОПО, которые необходимо получить при эксплуатации с учетом допустимых отклонений.

Параметры эксплуатационные включают в себя многочисленные факторы, влияющие на получение конечного продукта ОПО (функциональные параметры).

Временные рамки – это срок 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 ОПО рассчитывается на определенный срок эксплуатации, применяя различные (тепловой, гидравлический, аэродинамический, прочностной и др.) 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 если 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 слабо изменяющихся 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.

Так как все величины технологического процесса регистрируются в эксплуатационных (агрегатных) и ремонтных журналах, можно рассчитать среднюю величину значений параметров и их относительное отклонение.

### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА СРОКА БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПО

Для прогнозирования аварийной ситуации ( $D$ ) задается некоторая точка отсчета  $t_0$ . Это может быть момент изготовления (пуск в эксплуатацию) ОПО, момент окончания последнего капитального ремонта, момент последней аварийной ситуации [6]. 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 длительность временного интервала от  $t_0$  до наступления  $D$ . 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.

Остаточный ресурс  $D(t)$  - это группа факторов, которые зависят от качества материалов, из которых изготовлены элементы, параметров эксплуатации ОПО, качества рабочей среды и скорости ухудшения эксплуатационных характеристик.

Структуру остаточного ресурса можно представить в виде следующих параметров:

$$D(t) = \{\delta_c(t); \delta(t)_t; \delta_d(t); \delta_r(t); \delta_o(t); \delta_m(t); \delta_e(t)\}, \quad (2)$$

где

$\delta_c(t)$  – параметр физического износа материала элемента ОПО;

$\delta_t(t)$  – параметр развития эксплуатационных дефектов с заданной вероятностью их возникновения;

$\delta_d(t)$  – параметр развития дефектов изготовления во время эксплуатации с заданной вероятностью их возникновения;

$\delta_r(t)$  – параметр, учитывающий влияние ремонтов ОПО;

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

$\delta_m(t)$  – параметр, учитывающий влияние материала элементов ОПО на срок безаварийной эксплуатации;

$\delta_e(t)$  – параметр, учитывающий влияние эксплуатационных параметров ОПО на срок безаварийной эксплуатации.

Приведенное множество параметров значительно усложняет математическую модель и требует упрощения. Применив факторный анализ, сгруппируем множество параметров, влияющих на безаварийную эксплуатацию всех элементов, на три фактора: фактор эксплуатационных нагрузок  $\gamma_e(t)$ , фактор материала объекта  $\gamma_m(t)$  и фактор восстановления  $\gamma_r(t)$ . Это значительно упростит анализ, т.к. не придется строить модель для каждого элемента, а достаточно учесть в одной математической модели все параметры, влияющие на разрушение системы.

$$V_e = \gamma_e(t) = \{\delta_e(t)\}, \quad (3)$$

$$V_f = \gamma_m(t) = \{\delta_c(t); \delta_t(t); \delta_d(t); \delta_m(t)\}, \quad (4)$$

$$V_r = \gamma_r(t) = \{\delta_r(t); \delta_o(t)\}. \quad (5)$$

При этом уравнение (1) и (2) можно выразить как:

$$N = D(t) = \{\gamma_e(t); \gamma_m(t); \gamma_r(t)\} \quad (6)$$

Остаточный ресурс  $D(t)$  представляется в виде системы (рис. 1), которая испытывает воздействия трех факторов – эксплуатационных нагрузок, материала объекта и восстановления. При этом на стадии проектирования все элементы системы взаимосвязаны (износ материала зависит от обслуживания и эксплуатации, объемы и сроки обслуживания рассчитываются в зависимости от состояния материала и параметров эксплуатации, параметры эксплуатации определяются характеристиками материала и его ремонтпригодностью). После определенной наработки эта структура становится устоявшейся, и каждый из трех параметров влияет только на срок безаварийной эксплуатации.

Следовательно, показатели модели, характеризующие остаточный ресурс  $D(t_D)$ , можно представить в следующем виде:

$$D(t_D) = \prod_{i=1}^n R_i\{\gamma_e(t); \gamma_m(t); \gamma_r(t); p_i\}, \quad (7)$$

где

$t_D$  – время наступления ситуации D, когда происходит аварийная ситуация на ОПО;

$i$  – номер элемента в составе ОПО;

$n$  – количество элементов, из которых состоит ОПО;

$R(i)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -ого элемента конструкции;

$p_i$  – вероятность аварийной ситуации ОПО, заложенная в проекте или определенная по нормативным значениям.

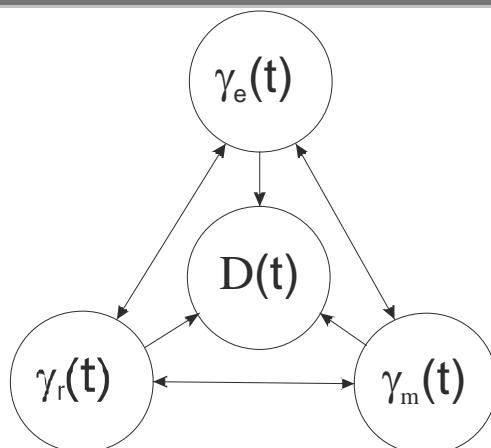


Рис. 1. Структура остаточного ресурса

Сбор информации производится по агрегатным журналам, ремонтной документации и протоколам неразрушающего контроля элементов ОПО.

### ВЫВОДЫ

Разработанная модель - это попытка унифицировать методики определения срока безаварийной эксплуатации ОПО, по которым в настоящее время однозначности не существует. Под каждый конкретный объект исследования авторы выбирают определенную модель либо на основе экспериментальных данных, либо на основе положительных результатов эксплуатации подобного оборудования. Сама модель учитывает многие факторы, влияющие на безаварийную эксплуатацию объектов повышенной опасности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Шишкина Н. А.* Анализ аварий зданий и сооружений / Н.А. Шишкина // Наука и Безопасность. – декабрь, 2014, № 4 (13). – С.34-42.
2. *Самигуллин Г. Х.* Определение остаточного ресурса производственных зданий и сооружений нефтеперерабатывающих предприятий / Г.Х. Самигуллин, М.М. Султанов // Нефтегазовое дело. – 2011, № 2. – С.167-175.
3. *Алексеева Е.Л.* Изучение закономерностей физического износа несущих конструкций зданий энергетической и химической отраслей / Е.Л. Алексеева, А.Ю. Хлесткин // Наука и Безопасность. – декабрь, 2014, № 4 (13). – С.43-47.
4. *Сведения об аварийности и травматизме стран СНГ* [Электронный ресурс] / Межгосударственный совет по промышленной безопасности // – Режим доступа: [http://www.mspsng.org/stat\\_accident/2014](http://www.mspsng.org/stat_accident/2014) (2013, 2012, 2011, 2010, 2009)
5. *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.
6. *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.