

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КРИТИЧЕСКОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Елизарьев А. Н., Ахтямов Р. Г., Сеньюшкин Н. С., Доценко В. А.

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия (450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12), e-mail: office@ugatu.su

Для прогнозирования запаса прочности технологического оборудования существует два подхода: вероятностный и детерминированный. Вероятностный подход является более прогрессивным и совершенным и базируется на вероятностной модели, в которой запас прочности является случайной величиной. Детерминированный метод расчета предполагает сравнение фактических значений факторов, влияющих на срок эксплуатации технологического оборудования и полученных при диагностике оборудования, с нормативными. Таким образом, для оценки критического срока эксплуатации технологического оборудования опасных производственных объектов предложен алгоритм, основанный на количественных и качественных методах системного анализа. Определение запаса прочности технологического оборудования проведено с использованием методов построения орграфа; классификационных шкал и кластерного анализа. В качестве примера по предложенному алгоритму проведена оценка критического срока эксплуатации резервуара с нефтепродуктами. В статье предложен алгоритм для оценки критического срока эксплуатации технологического оборудования опасных производственных объектов, основанный на количественных и качественных методах системного анализа. В качестве примера по предложенному алгоритму проведена оценка критического срока эксплуатации резервуара с нефтепродуктами.

Ключевые слова: критический срок, запас прочности, срок эксплуатации, технологическое оборудование, системный анализ.

APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF CRITICAL PROCESS EQUIPMENT AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Elizarev A. N., Akhtyamov R. G., Senyushkin N. S., Dotsenko V. A.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, Karl Marx street, 12), e-mail: office@ugatu.su

For prediction of safety technology equipment, there are two approaches: probabilistic and deterministic. A probabilistic approach is more progressive and perfect and is based on a probabilistic model, in which a margin of safety is a random variable. Deterministic method of calculation involves comparing the actual values of the factors affecting the life of the process equipment and received the diagnosis of equipment with the regulations. Thus, to estimate the lifetime of critical process equipment hazardous facilities proposed algorithm, based on quantitative and qualitative methods of systems analysis. Determination of safety technology equipment was carried out using the methods of construction of the digraph; classification scale and cluster analysis. As an example, the proposed algorithm on an assessment of the critical life of the tank with oil. An algorithm for estimating the critical period of use of technological equipment of hazardous production facilities, based on quantitative and qualitative methods of systems analysis. As an example, the proposed algorithm on an assessment of the critical life of the tank with oil.

Key words: critical period, margin of safety, technical process equipment, operating life, system analysis.

Введение

Установленный в технической документации для каждого технологического оборудования нормативный срок службы определяет его способность в течение заданного срока сохранять эксплуатационные характеристики. При достижении нормативного срока службы технологическое оборудование не всегда выводится из эксплуатации, т.к. обладает запасом прочности, который дает возможность эксплуатировать объект некоторое время

после окончания нормативного срока, т.е. до достижения критического срока (предельное состояние) [6].

Для прогнозирования запаса прочности технологического оборудования существуют два подхода: вероятностный и детерминированный.

В связи с высокой степенью износа оборудования, в целях обеспечения безопасности функционирования опасных объектов и оценки запаса прочности, актуальной является разработка методики оценки критического срока эксплуатации технологического оборудования на основе методов системного анализа.

Оценка критического срока эксплуатации технологического оборудования методом орграфа

В настоящей работе предложено использовать качественные методы системного анализа, которые, как правило, применяются при отсутствии регрессионных связей между природно-климатическими и техногенными факторами. Основной причиной износа оборудования, приводящей к отказу, является воздействие природно-климатических (ветровая нагрузка, удар молнии, геологические процессы и т.д.) и техногенных факторов (заводской брак, нарушение правил эксплуатации и т.д.) в процессе его технической эксплуатации [5]. Природно-климатические и техногенные факторы в процессе эксплуатации оборудования оказывают влияние друг на друга, в связи с этим необходимо оценить взаимосвязь факторов.

Одной из распространенных расчетных моделей, отражающих взаимное влияние различных факторов, является ориентированный граф. Он, орграф, представляет собой модель взаимодействия различных компонентов, составляющих сложную систему (в рассматриваемом случае компонентами сложной системы являются природно-климатические и техногенные факторы). Выходным параметром орграфа является суммарное воздействие факторов, выражающееся в разрушающем воздействии природно-климатических и техногенных факторов на технологическое оборудование опасного производственного объекта [2].

Для количественной оценки воздействия факторов на технологическое оборудование предлагается использовать весовые коэффициенты, которые определяются экспертным методом [1].

Моделирование изменения значений факторов (V_i), включенных в ориентированный граф, производится по шагам $S=1,2...n$. В данной работе в соответствии с методикой [5] принимается, что один шаг равен 10 годам эксплуатации технологического оборудования.

Значение фактора в вершине i на шаге эксплуатации S определяется по формуле:

$$V_{i(S)} = V_{i(S-1)} + \sum_{i,j=1}^n a_{ji} \cdot V_{j(S-1)}, \quad (1)$$

где $V_{i(S-1)}$, $V_{j(S-1)}$ – значение факторов на шаге S-1;

i, j – номера вершин;

a_{ji} – весовой коэффициент;

n – количество параметров, входящих в рассчитываемый фактор, т.е. те параметры, которые оказывают непосредственное воздействие на рассматриваемый фактор.

Путем моделирования изменения значений факторов, входящих в орграф, на основе импульсного процесса устанавливается зависимость разрушающего воздействия факторов от срока эксплуатации технологического оборудования. В общем случае, полученная зависимость имеет форму экспоненциальной кривой, по которой определение критического срока эксплуатации технологического оборудования затруднено.

Оценка критического срока эксплуатации технологического оборудования методом классификационных шкал

Для обработки результатов моделирования при помощи орграфа предложено 2 метода:

– метод классификационных шкал;

– метод кластерного анализа.

Построение классификационной шкалы осуществляется по формуле [6]:

$$V_{n.к.ш.} = \frac{1}{N+1} \cdot \left(\frac{V_{n(s)} - a}{b - a} + i - 2 \right), \quad (2)$$

где $V_{n.к.ш.}$ – разрушающее воздействие природно-климатических и техногенных факторов, преобразованное методом построения классификационных шкал;

$V_{n(s)}$ – значение разрушающего воздействия факторов на шаге s , полученное методом построения орграфа;

a – минимальное значение $V_{n(s)}$;

b – максимальное значение $V_{n(s)}$;

N – объем выборки (общий срок эксплуатации).

Идентификатор количества классов (c) определяется по формуле [6]:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^N V_{n(s)}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_{n(s)} - \sum_{i=1}^N V_{n(s)}^2}{N-1} \cdot N}}, \quad (3)$$

По рассчитанному значению идентификатора количества классов и заданному объему выборки на основании данных, приведенных в методике [1], определяется количество

интервалов группирования, т.е. число интервалов периода эксплуатации технологического оборудования. Для определения критического срока эксплуатации технологического оборудования строится зависимость значений $V_{n,к.ш.}$ от срока эксплуатации технологического оборудования. На основе полученной зависимости определяется критический срок эксплуатации технологического оборудования путем разбиения значений полученной зависимости на число классов периода эксплуатации технологического оборудования.

Оценка критического срока эксплуатации технологического оборудования методом кластерного анализа

Кластерный анализ является сопутствующим количественным методом системного анализа. Для определения критического срока эксплуатации технологического оборудования проводится объединение периодов эксплуатации технологического оборудования в кластеры (совокупность однородных элементов) так, чтобы элементы внутри одного кластера обладали высокой степенью сходства между собой [4].

Объединение в кластеры проводится на основе минимального расстояния в евклидовом пространстве. Между каждыми двумя значениями разрушающего воздействия факторов, соответствующие двум разным периодам эксплуатации, рассчитывается расстояние в евклидовом пространстве по формуле [4]:

$$d_s = \left| \frac{V_{n(si)} - V_{n.ср.}}{V_{n.откл.}} - \frac{V_{n(si+1)} - V_{n.ср.}}{V_{n.откл.}} \right|, \quad (4)$$

где d_s – расстояние в евклидовом пространстве;

$V_{n(s)}$ – значение разрушающего воздействия факторов на i и $i+1$ шаге;

$V_{n.ср.}$ – математическое ожидание разрушающего воздействия факторов;

$V_{n.откл.}$ – отклонение разрушающего воздействия факторов.

Результатом расчетов является матрица, по которой определяется минимальное расстояние для каждого разрушающего воздействия, соответствующего определенному периоду эксплуатации. Выделение кластеров проводится последовательным сравнением полученных значений минимальных расстояний с критериями: 0,25; 0,5; 1,0; 1,25 и т.д. (приведенные критерии откладываются по оси ординат) [4]. Например, если полученное значение d_s меньше 0,25, то оно объединяется в кластер на уровне 0,25, иначе сравнивается с последующим критерием. Кластер, объединяющий наибольшее количество периодов эксплуатации технологического оборудования, принимается за критический срок эксплуатации.

Алгоритм оценки критического срока эксплуатации технологического оборудования

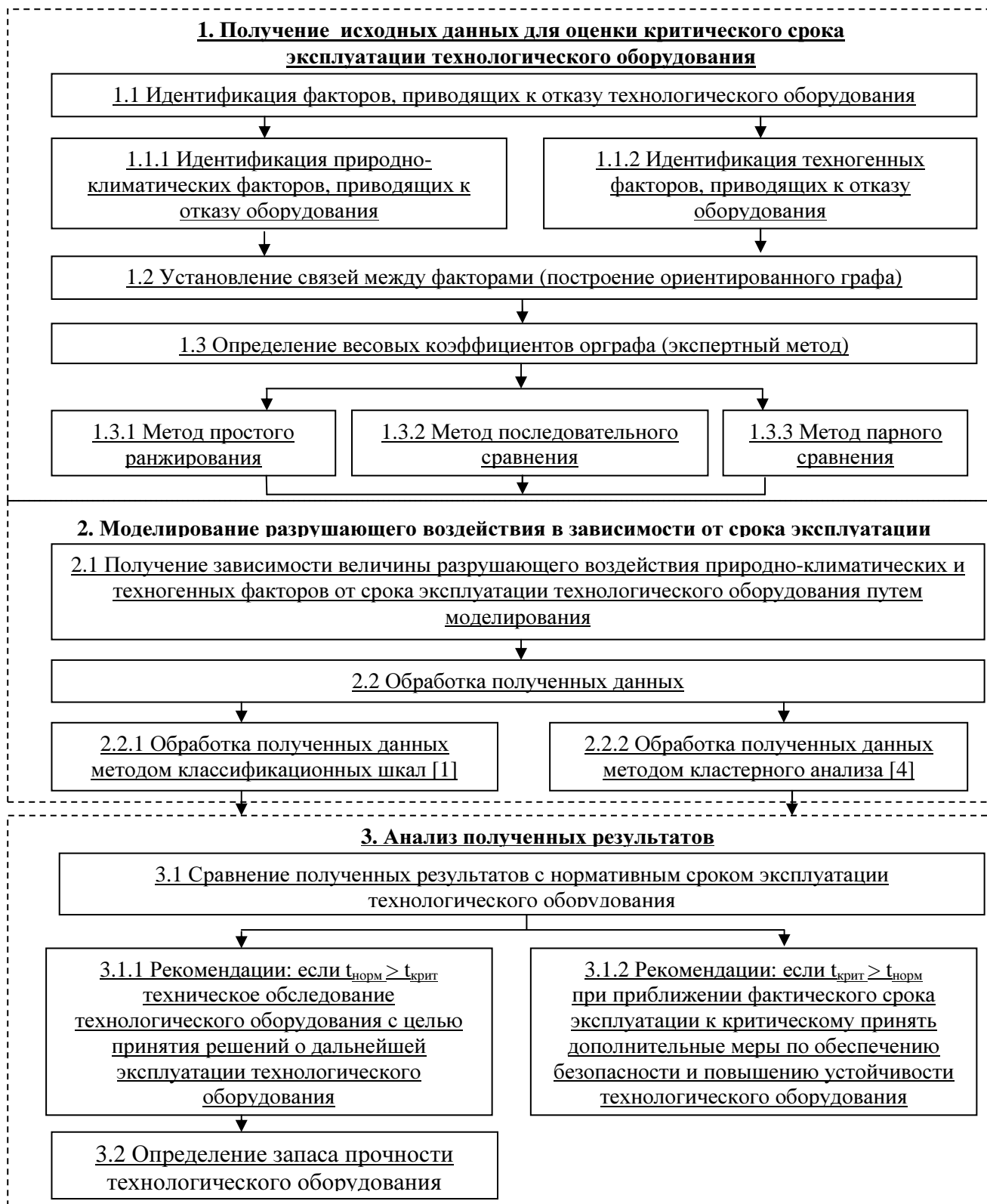


Рис. 1. Структурная схема алгоритма определения критического срока эксплуатации технологического оборудования

На основе проведенного анализа разработана и предложена структурная схема алгоритма определения критического срока эксплуатации технологического оборудования опасного производственного объекта, которая представлена на рисунке 2.

Предложенный подход использован при оценке критического срока эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами. Для хранения нефти и нефтепродуктов в отечественной практике применяются резервуары металлические, железобетонные, из синтетических материалов, льдогрунтовые. Наиболее распространены стальные резервуары:

– вертикальные цилиндрические резервуары (РВС) со стационарной конической или сферической крышей вместимостью до 20000 м³ (при хранении легковоспламеняющихся жидкостей) и до 50000 м³ (при хранении горючих жидкостей);

– резервуары вертикальные цилиндрические со стационарной крышей и плавающим понтоном вместимостью до 50000 м³;

– резервуары вертикальные цилиндрические с плавающей крышей вместимостью до 120000 м³.

– резервуары вертикальные цилиндрические с плавающей крышей вместимостью до 120000 м³.

На основе обзора литературных данных [4] и с учетом анализа основных причин аварий на РВС построен ориентированный граф, описывающий связи между природно-климатическими и техногенными факторами (рис. 1).

В качестве активизирующих факторов для орграфа (рис. 1) выбраны удар молнии (1), ветровая нагрузка (2), нарушение правил эксплуатации (3), температура воздуха (4), атмосферные осадки (5) и заводской брак (6), то есть те факторы, которые не являются зависимыми от остальных. Путем моделирования значений факторов орграфа (рис. 1) по формуле 1, получена зависимость разрушающего воздействия природно-климатических и техногенных факторов от срока эксплуатации резервуара с нефтепродуктами (рис. 3).

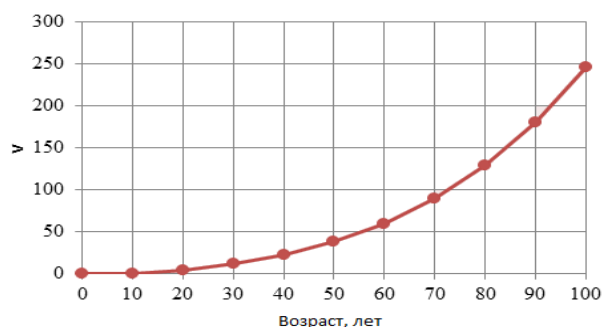


Рис. 2. Зависимость разрушающего воздействия природно-климатических и техногенных факторов от возраста резервуара

В соответствии с алгоритмом, по формуле 2 получено значение разрушающего воздействия природно-климатических и техногенных факторов методом классификационных

шкал и графически интерпретировано на рисунке 4. По формуле 3 рассчитан идентификатор количества классов ($c=2$).



Рис. 3. Зависимость разрушающего воздействия природно-климатических и техногенных факторов от срока эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами

Как видно из рисунка 3, весь период эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами разделен на 2 класса и критическим сроком эксплуатации резервуара с нефтепродуктами является 52 год эксплуатации.

В соответствии с алгоритмом также проведен кластерный анализ данных, полученных при моделировании орграфа. Результаты кластерного анализа представлены в виде дендрограммы на рисунке 4.

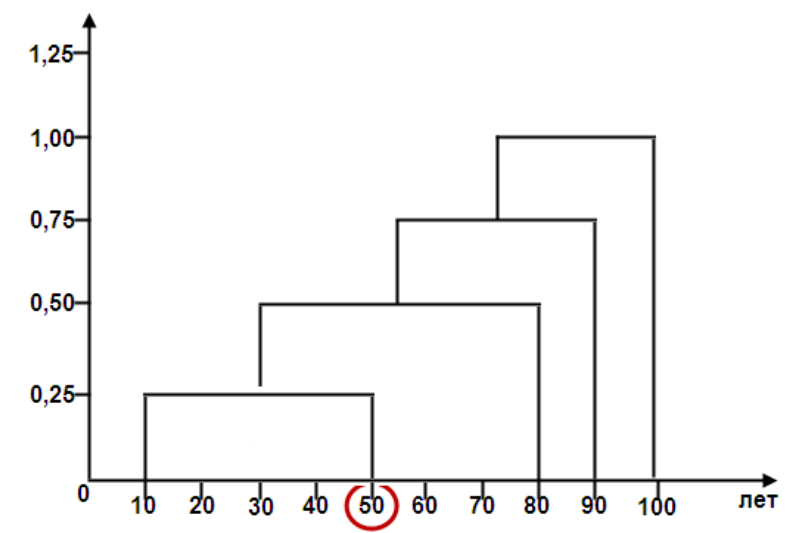


Рис. 4. Дендрограмма кластерного анализа периода эксплуатации резервуара

Согласно полученной дендрограмме, выявлен наибольший кластер, объединяющий 5 периодов эксплуатации по 10 лет. В соответствии с полученными данными критическим сроком эксплуатации резервуаров с нефтепродуктами (рис. 4) является 50 лет.

Сопоставление результатов, полученных методом построения классификационных шкал и методом кластерного анализа, показало, что критическим возрастом резервуаров с нефтепродуктами является 50 лет (минимальное значение между 50 и 52).

Таким образом, для оценки критического срока эксплуатации технологического оборудования опасных производственных объектов предложен алгоритм, основанный на количественных и качественных методах системного анализа. Определение запаса прочности технологического оборудования проведено с использованием методов построения орграфа; классификационных шкал и кластерного анализа. В качестве примера по предложенному алгоритму проведена оценка критического срока эксплуатации резервуара с нефтепродуктами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Рособрнауки РФ.

Список литературы

1. Гвоздев В. Е., Колоденкова А. Е. Построение классификационных шкал с учетом статистических особенностей данных: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Контроль и управление состоянием территориальных систем». – Уфа: УГАТУ, 2005. – 17 с.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 430 с.
3. Лычев А. С. Надежность строительных конструкций: уч. пос. – М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 2008. – 184 с.
4. Мандель И. Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика. 1988. – 176 с
5. Справочный документ для семинара Европейской Экономической Комиссии ООН в Будапеште, 2007. – 229 с.
6. Marston A., Winfrey R., Hemperstead J. Engineering Valuation and Deprecation. – Iowa State University Press, 1953. – 508 p.

Рецензенты:

Кривошеев И. А., д.т.н., профессор, декан факультета авиационных двигателей, ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа.

Горюнов И. М., д.т.н., с.н.с., профессор кафедры АД, ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа.