Петровский Э.А., д.т.н., профессор кафедры технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса
Бухтояров В.В., к.т.н., доцент кафедры технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса
Старостина Е.О., магистр группы НМ-12-01м,
ФГОУ ВПО «Сибирский Федеральный Университет Институт Нефти и Газа», Россия
(660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный 79)

Оценка рисков функционирования элементов технологического оборудования нефтегазового хозяйства

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы, связанные с анализом условий обеспечения промышленной безопасности опасных технологических процессов и эксплуатации производственного оборудования нефтегазового хозяйства. Оценка возможных негативных последствий производится при помощи количественных и качественных показателей, характеризующих такие особенности характеристики рассматриваемых объектов исследований, как: «надежность», «безопасность» и «риски».

Ключевые слова: показатели надежности, промышленная безопасность, оценка рисков, опасные технологические процессы, техническое состояние

Главной особенностью добычи и переработки исходного сырья и производства продукции на предприятиях нефтегазового хозяйства является то обстоятельство, что проведение основных и вспомогательных технологических процессов (с использованием соответствующего технологического оборудования) связано с постоянными опасностями и рисками проявления этих опасностей для материальных фондов, персонала, который занят обслуживанием и эксплуатацией оборудования [1,2].

В процессе эксплуатации элементов технологического оборудования происходит неизбежный процесс накопления различных дефектов и повреждений практически всех конструктивных элементов. Дефекты и

повреждения конструктивных элементов (узлов, систем) являются последствиями ошибок, отклонений и неправильных действий при проектировании, изготовлении и эксплуатации (Рисунок 1).

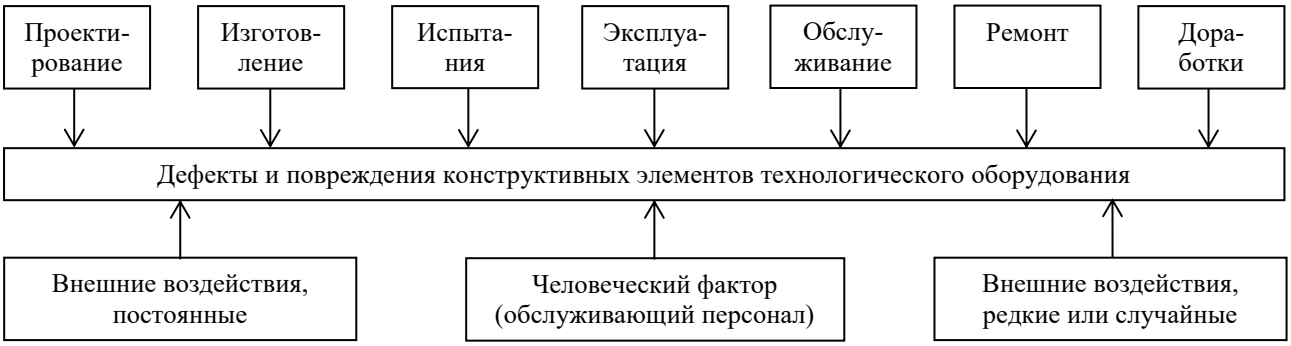

Рисунок 1−Структура групп факторов, которые приводят к накоплению дефектов и повреждений элементов технологического оборудования

Процесс постепенного накопления дефектов и повреждений приводит к постепенному (с течением времени) снижению функциональной эффективности и характеризуется количественной величиной —физическим износом конструктивных элементов технологического оборудования (Рис 2).

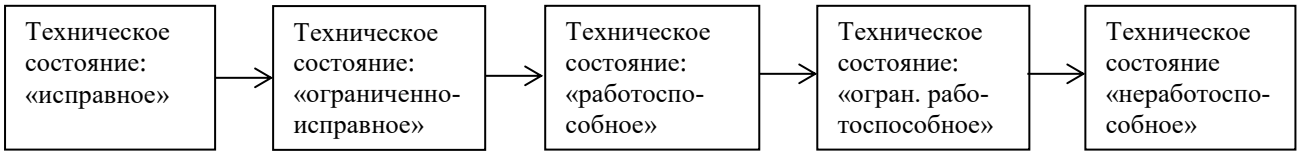

Рисунок 2 – Модель ухудшения признаков технического состояния (физического износа) технологического оборудования

Основные положения по процедурам оценки рисков производственных процессов (с учетом групп аварийных факторов, которые приводят к физическому износу) рассматриваются в положениях нормативных документов, методических материалов и учебной литературы [3,4,5].

Основу математической теории риска составляет допущение о том, что любой элемент технологического оборудования для первичной подготовки нефти неизбежно подвергается риску при производстве соответствующего технологического процесса. Оценка риска проявления соответствующего аварийного фактора (аварии, инцидента) формируется в результате систематического анализа следующих вопросов [6,8]:

– какие наблагоприятные факторы (опасности) необходимо принять к рассмотрению?
– какую степень (функцию) тяжести последствий следует ожидать?
– как велика вероятность их проявления ?

Количественное значение риска проведения технологического процесса определяется зависимостью (1):

$$R = P \cdot F. \qquad (1)$$

где: F— расчетное значение степени (функции) негативных последствий;
P— расчетное значение вероятности проявления аварийных факторов;

В качестве примера рассмотрим месторождение А крупное нефтяное месторождение, расположенное на территории Восточной Сибири Эвенкийского АО. Нефть месторождения А характеризуется, как: легкая (плотность 823 кг/м^3); малосернистая (процент содержания серы 0.2 %); потенциальное содержание фракций, выкипающих до 200^{0}С составляет 30 % от массы.

В самом общем случае технологическая последовательность получения товарной продукции (стабильной нефти) с рассматриваемого месторождения включает следующие основные этапы:

– организация, оборудование и производство промышленной добычи сырья (в формате газоводонефтяной эмульсии) на разведанном месторождении;
– транспортировка добытого сырья по системе промысловых трубопроводов к месту подготовки для загрузки в магистральные трубопроводы;
– первичная подготовка нефти на площадочных объектах для последующей транспортировки на нефтеперерабатывающие предприятия.

В состав технологического оборудования, предназначенного для первичной подготовки нефти А месторождения включены следующие технические устройства:

- входные сепараторы(типа 911−И.00−000, объемом 100 $м^3$), предназначенные для предварительного разделения продукции скважин на газовую и жидкую фазы;
- трехфазные сепараторы (типа ТФСК−Л, объемом 50 $м^3$), предназначенные для сепарации нефти и подготовки воды к сбросу;
- газовые сепараторы (типа ГСЦ, объемом 22 $м^3$), предназначенные для отделения капельной жидкости от потока попутного нефтяного газа, поступающего от сепараторов типа 911−И.00−000 и ТФСК−Л;
- комплекс оборудования отстойников (типа БУОН, объемом 100 $м^3$), предназначенный для глубокого обезвоживания нефтяной эмульсии с ее предварительным прогревом в печи (типа ПТБ−10Э);
- электродегидраторы (типа ЭГ 200, объемом 200 $м^3$), предназначенные для глубокого обезвоживания и обессоливания нефти;
- концевые сепараторы (типа НГС, объемом 100 $м^3$), предназначенные для разгазирования нефти перед подачей в колонну стабилизации;
- колонна стабилизации, предназначенная для полного отделения нефти от газа;
- теплообменники, предназначенные для обеспечения процессов теплопередачи между жидкостными потоками в технологических схемах;
- насосы, предназначенные для подачи нефти к элементам технологического оборудования;
- резервуары, предназначенные для размещения запасов нефти, подготовленной (на оборудовании для первичной подготовке нефти) к ее дальнейшей транспортировке.

Вероятностная математическая модель оценки рисков наступления физического износа элементов технологического оборудования данного месторождения позволяет осуществлять анализ развития процесса накопления деформаций (с рассмотрением влияния одного или нескольких негативных факторов, см. Рисунок 1), который развивается в пространстве и во времени, для таких условий, в которых находится реальный объект исследований.

При помощи математической вероятностной модели производится анализ непрерывного (во времени) процесса, который характеризует переходы технического состояния рассматриваемого оборудования из исходного исправного состояния — в любое из соседних состояний (по направлению снижения основных функциональных свойств или увеличению физического износа, см. Рисунок 2) [7,9]:

$$P = 1 - \frac{1}{n!} \cdot (\lambda \cdot t_i)^n \cdot e^{-\lambda \cdot t_i}. \qquad (2)$$

где: P — вероятности ненаступления физического износа подъемного сооружения (доля от единицы);

e — натуральное число;

λ — функция (интенсивность) проявления аварийных факторов;

n — количество состояний, принятых для анализа;

t_i — срок службы (годы).

В принятой к рассмотрению прогнозной модели (2) рассматривается процесс, который моделирует риски переходов элементов технологического оборудования (как системы последовательно связанных элементов, предназначенных для подготовки нефти) из состояния в состояние (по направлению снижения основных функциональных свойств или физического износа).

Возможные переходы с дискретным числом состояний $u_0, u_1, u_2 ..., u_n$ (см. Рисунок 2) представляются в виде последовательности:

$$u_0 \rightarrow u_1 \rightarrow u_2 \rightarrow ... \rightarrow u_i \rightarrow u_{i+1} \rightarrow ... u_n \qquad (3)$$

Переход из состояния u_i возможен только в состояние u_{i+1} так, как показано на Рисунке 3.

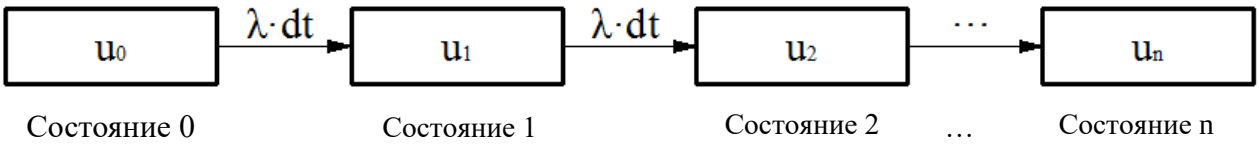

Рисунок 3 – Схема переходов состояний элементов технологического оборудования

Состояние рассматриваемых элементов технологического оборудования u_0 соответствует значению начала срока службы $t_i = t_0 = 0$ (физический износ составляет: 0 %), а состояние строительной конструкции u_n соответствует значению срока службы, принятому для значения показателя физического износа, равного 60 %.

Вероятность ненаступления физического износа P в аналитической зависимости (2) является количественной характеристикой вероятности рисков наступления физического износа и характеризует возможное снижение основных функциональных свойств (физического износа, как функции негативных последствий в зависимости (1)) к некоторому моменту времени (сроку службы) элементов технологического оборудования, предназначенного для первичной подготовки нефти А месторождения.

Для анализа рисков процесса перехода показателей надежности объекта исследований принято пять дискретных состояний (Таблица 1).

Таблица 1−Характеристика принятых технических состояний

Состояние (уровень)	Название состояния (уровня)	Обобщенная характеристика состояния (уровня)	Показатель физического износа, (ориентировочно), %
Состояние 1 (уровень 1)	исправное (безопасный)	объект исследований (элементы технологического оборудования) полностью соответствует проектным параметрам и режимам эксплуатации	0÷3
Состояние 2 (уровень 2)	ограниченно исправное (ограниченно безопасный)	объект исследований (элементы технологического оборудования) частично не соответствует проектным параметрам, но соответствует режимам эксплуатации	4÷12
Состояние 3 (уровень 3)	работоспособное (небезопасный)	объект исследований (элементы технологического оборудования) практически полностью не соответствует проектным параметрам, но соответствует хотя бы одному режиму эксплуатации	13÷38
Состояние 4 (уровень 4)	ограниченно работоспособное (аварийный)	объект исследований (элементы технологического оборудования) практически полностью не соответствует проектным	39÷60

		параметрам, а единственный режим эксплуатации допускается с ограничениями	
Состояние 5 (уровень 5)	неработоспособное (катастрофический)	объект исследований (элементы технологического оборудования) полностью не соответствует проектным параметрам, требуется немедленный останов любого из запущенных режимов эксплуатации	61÷100

Однозначная величина прогнозного срока службы зависит от принятого значения функции проявления аварийных факторов. Для формирования решения задачи (2) рассматривается целый ряд возможных (или допустимых) значений, а определение конкретных значений параметра λ производится с использованием следующих методов:

- использование результатов корреляционного анализа или экспертных оценок;
- численное или численно—аналитическое моделирование;
- анализ статистических данных о параметрах эксплуатации данной строительной конструкции (или ее аналогов) за некоторый фиксированный период эксплуатации, количестве произведенных ремонтов, текущего состояния;
- принятие результатов расчета, полученных при помощи другой прогнозной модели;
- принятие некоторого директивного значения, обоснованного техническими, экономическими или иными факторами.

Эффективность область применения любого из методов зависит от типа решаемой задачи и наличия исходной информационной базы. Широкий выбор методов определения значений параметр λ позволяет: с одной стороны принять наиболее рациональное решение, но, с другой стороны, нуждается в определенном нормативном регулировании.

На Рисунках 4 и 5 приведены результаты расчета вероятности ненаступления физического износа P с применением аналитической зависимости (2), для двух групп проектных ситуаций:

– группа 1— за исходные данные принят фиксированный расчетный (проектный) срок службы, который составляет t = 50 лет. Предполагается развитие физического износа элементов технологического оборудования с различной интенсивностью проявления аварийных факторов: 0.1, 0.05 и 0.01 год$^{-1}$, соответственно;

– группа 2— за исходные данные принято фиксированное расчетное (проектное) значение интенсивности проявления аварийных факторов λ=0.1год$^{-1}$(суммарное годовое значение зафиксированных аварий и происшествий). Предполагается развитие физического износа основных конструктивных элементов для различных значений срока службы: 25, 50, 100 лет, соответственно.

При расчете обеих групп проектных ситуаций к рассмотрению приняты следующие возможные технические состояния подъемного сооружения (n = 5, см. Рисунок 2−3, Таблица 1):

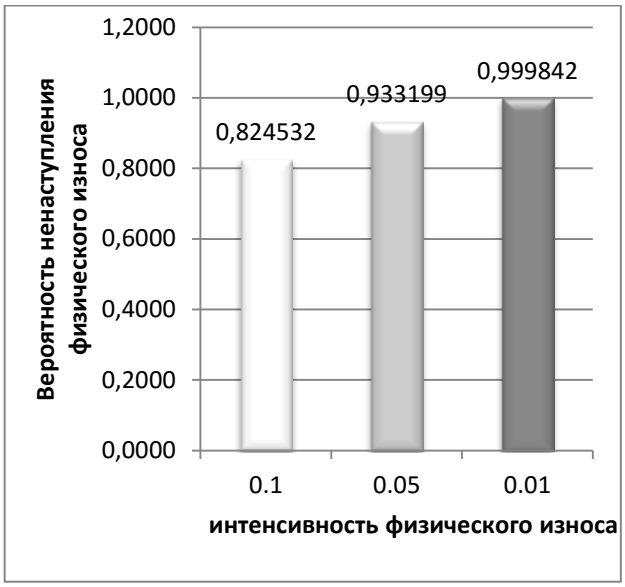

Рисунок 4−Вероятность ненаступления физического износа для фиксированного срока службы t = 50 лет

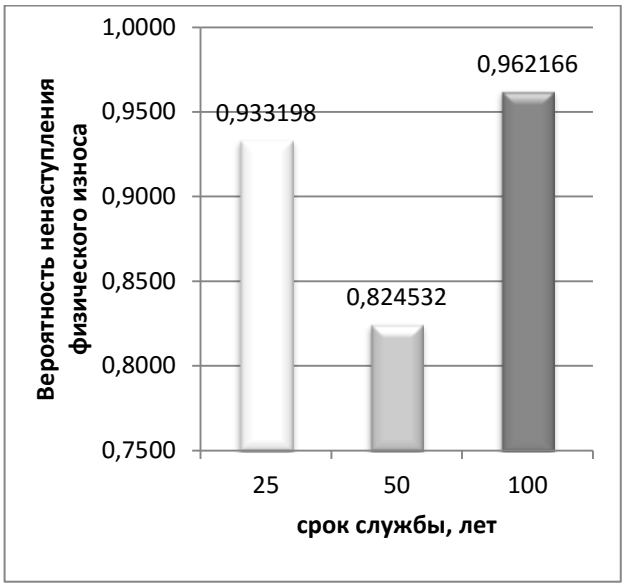

Рисунок 5−Вероятность ненаступления физического износа для фиксированного значения интенсивности аварийных факторов λ=0.1 год$^{-1}$

Расчетное значение вероятности ненаступления физического износа элементов технологического оборудования, предназначенного для первичной подготовки нефти данного месторождения определяется, исходя из граничного значения физического износа, равного 60 %.

Превышение этой величины является серьезной опасностью для выполнения соответствующих производственных процессов, а восстановление функциональной эффективности соответствующих элементов оборудования считается экономически нецелесообразным. Вероятность ненаступления физического износа, определяемая при помощи аналитической зависимости (2), является количественной оценкой рисков потерь, связанных с остановкой производственных процессов вследствие недопустимого значения физического износа оборудования. Модель оценки рисков функционирования технологического оборудования может быть использована при проектировании показателей надежности аналогичных элементов оборудования, а также при формировании технической политики предприятия по выбору и замене технологического оборудования и планированию ремонтов на других месторождениях нефтегазового хозяйства.

Литература

1. Норман Дж. Хайн Геология, разведка, бурение и добыча нефти. М.: Олимп−Бизнес, 2008. 758 с.

2. Уразаков К.Р., Дашевский А.В., Здольник С.Е. и другие. Справочник по добыче нефти. М.: Недра, 2006. 448 с.

3. Петровский Э.А., Гагина М.В. Прогнозирование риска и аварийности в технических системах нефтегазового комплекса. Труды Международной Научной Школы МАБР — СПб.: Институт Проблем Машиноведения РАН. 2015. — 246 с.

4. Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116−ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями и дополнениями, в редакции от 13.07.2015 г. № 233−ФЗ).

5. Приказ Ростехнадзора от 13.05.2015г. № 188 «Об утверждении Руководства по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

6. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска. — М.: Физматлит. 2011. — 591 с.
7. Петровский Э.А., Гагина М.В. Методика оценки прогнозирования технического состояния оборудования нефтегазового комплекса для обеспечения надежности. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — Самара: Инновационный центр развития образования и науки. 2015. — 43 с.
8. Измалков В.И. и др. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. — СПб.: НИЦЭБ РАН. 1998. — 246 с.
9. Гмурман В.Б. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие — М.: Высшая школа. 2001. — 479 с.

Petrovskii E. A. , Bukhtoyarov, V. V., Starostina E.O., Siberian Federal University School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Russia, (660041, Krasnoyarsk Territory, city of Krasoyarsk, Svobodny pr., 79)

ASSESSMENT RISKS FUNCTIONING OF ELEMENTS IN PROCESSING EQUIPMENT OIL AND GAS ECONOMY

Abstract: In this article are related the questions to the analysis of conditions at safe production in technological processes at the objects of chemical and oil and gas branch.

Key words: reliability indicators, industrial safety, risks assessment, dangerous technological processes, technical state