

УДК 621.6-7

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
ОТКАЗОВ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**
STUDY OF MARKOFF MODELS OF PETROLEUM COMPLEX PUMPING
UNITS FAILURE RATE

Э. А. Петровский, М. В. Гагина

E. A. Petrovskiy, M. V. Gagina

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, г. Красноярск

*Ключевые слова: Марковские процессы; моделирование; случайный процесс;
насосная установка; ремонт*

Key words: Markoff processes; modeling; stochastic process; pumping unit; repair

Безопасная и эффективная эксплуатация оборудования нефтегазового комплекса при минимальных затратах на его техническое обслуживание и ремонт может быть обеспечена только на основе надежности на всех этапах жизненного цикла

технологического оборудования. Большинство аварий связано с поздним обнаружением отказов и дефектов или высокой вероятностью пропуска при планово-предупредительном осмотре и ремонте. В связи с этим необходима разработка и применение новых методов прогнозирования отказов, диагностики и контроля оборудования нефтегазового комплекса. Эффективность и непрерывность всей технологической цепи нефтегазопереработки в значительной степени зависит от надежной и бесперебойной работы насосных станций, частью которых являются насосные установки.

Анализ причин отказов (износ, коррозия и т. д.) насосного оборудования показывает, что значительное их число происходит вследствие неудовлетворительного обслуживания, контроля качества изготовления и сборки. Работоспособность и восстановление его основных технических характеристик достигаются благодаря системе технического обслуживания, ремонта и организации диагностического контроля в процессе эксплуатации.

Для рациональной организации ремонта и технического обслуживания насосных установок необходимо знать закономерности изменения параметров технического состояния по времени или вариаций параметров технического состояния.

Одним из наиболее эффективных методов математического вероятностного моделирования процессов эксплуатации и технического состояния является методология Марковского анализа надежности. В соответствии с ГОСТ Р 51901.15-2005 Марковский анализ является одним из аналитических методов анализа надежности и может использоваться для оценки и анализа вероятностных характеристик при оценке риска технических систем на этапе эксплуатации.

Марковский анализ является методом, ориентированным на оценку надежности систем с функционально сложной структурой, сложного ремонта и стратегий обслуживания, и учитывает зависимость отказов и восстановлений отдельных компонентов, характеризующих состояние технологической системы в целом.

Случайный процесс, протекающий в какой-либо системе S , называется Марковским (или процессом без последствия), если он обладает следующим свойством: для любого момента времени t_0 вероятность любого состояния системы в будущем (при $t > t_0$) зависит только от ее состояния в настоящем (при $t = t_0$) и не зависит от того, когда и каким образом система S пришла в это состояние.

Практическая реализация предложенной методики осуществляется в соответствии с блок-схемой (рис. 1).

Рис. 1. Алгоритм применения методики Марковских процессов с дискретным состоянием и непрерывным временем для оценки и прогнозирования надежности насосных установок нефтегазового комплекса



Насосные установки являются оборудованием со сложной структурой, изменяющейся конфигурацией, со сложными видами ремонта и стратегиями обслуживания. Именно поэтому целесообразно применение методики Марковского анализа.

При прогнозировании надежности насосных установок их функционирование во времени рассматривается как случайный процесс перехода из состояния в состояние, обусловленного отказами и восстановлениями вследствие сильного влияния внешних и внутренних факторов, имеющих случайный характер. Данный случайный процесс может быть описан дискретным Марковским процессом с непрерывным временем. Для того чтобы вычислить числовые параметры, характеризующие такой процесс, нужно построить вероятностную модель, учитывающую сопровождающие ее случайные факторы и позволяющую моделировать надежность поведения системы во времени.

Для построения вероятностной модели рассмотрим насосную установку как сложную динамическую систему S , переходящую из состояния в состояние и состоящую из отдельных элементов, функционально связанных между собой. Элементы, из которых состоит установка, могут существовать только в работоспособном или неработоспособном состоянии. Установка в целом может существовать в различных состояниях, каждое из которых определяется комбинацией работоспособного и неработоспособного состояний ее элементов. В момент отказа или восстановления установка переходит из одного состояния в другое в случайные моменты времени.

Необходимо оценить все виды отказов элементов системы, влияющие на работоспособность установки в целом, в частности порывы кабеля, несоответствие параметров насосных установок параметрам скважины, засорение насосов механическими примесями, отложение солей и прочее.

Это происходит по причине внешних и внутренних воздействий на систему (перепады напряжения, работа «в сухую», температурные воздействия, гидравлические удары, неправильно рассчитанные нагрузки и т. д.).

На основе изученных функциональных и структурных моделей насосной установки определены все возможные, наиболее вероятные состояния системы (S), каждое из которых можно рассматривать как состояние, в котором она находится с некоторой вероятностью: S_0 — осматривается; S_1 — установка неработоспособна; S_2 — установка исправна, работает; S_3 — производится аварийно-восстановительный ремонт.

Таким образом, насосная установка при эксплуатации представлена диаграммой состояний и переходов в виде графа (рис. 2), узлами которого являются состояния деятельности, а дугами — переходы между состояниями.

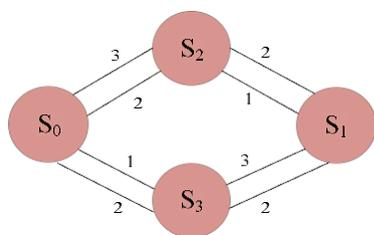


Рис. 2. Марковская модель насосной установки с дискретным состоянием и непрерывным временем

Так как в любой момент времени t система S будет находиться только в одном из состояний S_1, \dots, S_n , то события $S_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ несовместны и образуют полную группу. Поэтому имеет место нормировочное условие

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1, \forall t \geq 0.$$

Вероятности состояний $p_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ (неизвестные вероятностные функции) являются решением следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = - \left(\sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \right) P_i(t) + \sum_{j=1}^n \lambda_{ji} P_j(t), i = 1, \dots, n; t \geq 0.$$

Система представляет собой систему n обыкновенных линейных однородных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Эта система называется системой дифференциальных уравнений Колмогорова, которая составляется по графу и позволяет получить требуемые показатели надежности.

Выходами Марковской модели являются вероятности пребывания системы в данных состояниях. Для каждого графа вычисляется вероятность (P) нахождения системы в определенном состоянии в момент времени (t), и оцениваются показатели надежности: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, коэффициент готовности K_r , коэффициент простоя K_p и др.

Таким образом, исследование Марковской модели моделирования надежности позволит принимать наиболее эффективные технические решения. Такая модель будет основой для решения технологических задач повышения надежности, ремонтпригодности и эксплуатационной технологичности насосных установок с целью оптимизации их работы применением методов теории Марковских процессов для обоснования оптимальной стратегии контроля и ремонта; обоснованием оптимальных стратегий ремонта при различном характере, описывающим поведение прогнозируемого параметра оборудования.

Одним из основных преимуществ методики является применимость к сложным конфигурациям систем, сложным стратегиям обслуживания, изменяющимся режимам работы. Другие методы анализа надежности, например анализ дерева неисправностей и метод структурной схемы надежности, не позволяют учесть сложные стратегии технического обслуживания.

Использование модели при решении различных задач позволит принимать наиболее эффективные технические решения и оперативно воздействовать на режимы совместной работы оборудования нефтегазового комплекса. Такая модель может быть основой решения всевозможных технологических задач проектирования и эксплуатации установок с целью оптимизации их работы. На основе применяемой методики возможно построение графа переходных вероятностей для управления технологическими процессами восстановления и ТО и выбора оптимальных их вариантов.

Совокупность разработанных математических методов оценки значений показателей ремонтпригодности и эксплуатационной технологичности, которые базируются на применении теории Марковских процессов, значительно углубляют теорию надежности и теорию технической эксплуатации нефтегазового оборудования за счет:

- получения законов распределения отказов различных типов оборудования для реальных процессов изнашивания;
- математических моделей и показателей, полученных в результате применения методов теории Марковских процессов, для исследования интенсивности отказов.

Результаты Марковского анализа надежности используются для:

- разработки предложений по внесению изменений в конфигурацию и/или технологию изготовления оборудования и его составных частей;
- оценки эффективности технического обслуживания и ремонта оборудования и его корректировки (более точного выбора видов технического обслуживания и их параметров) при необходимости;
- формирования требований к процессам материально-технического обеспечения эксплуатации сложного оборудования на всем протяжении его жизненного цикла.

Список литературы

1. Петровский Э. А. Повышение эффективности корректирующих и предупреждающих действий с применением модели управления качеством процессов предприятия / Э. А. Петровский, Казанцева А. В. // Инновации и инвестиции. – 2012. – № 4. – С. 41.
2. Петровский Э. А. Методика оценки и прогнозирования технического состояния оборудования нефтегазового комплекса для обеспечения надежности. – Самара: Инновационный центр образования и науки, 2015. – С. 42-45.
3. Петровский Э. А. Колебания колонны труб от несбалансированных масс вращателя буровой установки / Петровский Э. А., Башмур К. А. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 2. – С. 47-51.
4. ГОСТ Р 51901.15-2005 Менеджмент риска. Применение Марковских процессов, Издательство «Стандартинформ», 2005.

Сведения об авторах

Петровский Эдуард Аркадьевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, Институт нефти и газа, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Гагина Мария Витальевна, аспирант кафедры технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, Институт нефти и газа, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, e-mail: mariya.gagina@mail.ru

Information about the authors

Petrovskiy E. A., Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Petroleum complex technological machinery and equipment», Siberian Federal University, Krasnoyarsk.

Gagina M. V., postgraduate of the chair «Petroleum complex technological machinery and equipment», Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: mariya.gagina@mail.ru