



**Земенкова Мария Юрьевна**

**СИСТЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ  
ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации (нефтегазовой отрасли)

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» Министерства образования и науки Российской Федерации

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки и техники РФ  
**Шабаров Александр Борисович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор,

**Спасибов Виктор Максимович**

ТюмГНГУ, кафедра «Автоматизация и  
управление»;

кандидат технических наук,

**Хартьян Денис Юрьевич**

ОАО «Тюменнефтегеофизика»,

директор департамента информационных  
технологий и связи

Ведущая организация: ОАО «Институт «Нефтегазпроект», г.Тюмень

Защита состоится «19» октября 2007г. в 17<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.273.08 при Тюменском государственном нефтегазовом университете по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72, БИЦ, конференц-зал, каб.46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-информационном центре Тюменского государственного нефтегазового университета по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Автореферат разослан «18» сентября 2007г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Пonomарева Т.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Опыт эксплуатации объектов транспорта и хранения углеводородного сырья свидетельствует об ужесточении требований к ним в отношении безопасности, необходимости разработки систем контроля и поддержки действий в случае аварии, а также планирования мероприятий по профилактике отказов, аварий и инцидентов. Тем не менее материалы Ростехнадзора России указывают на то, что большинство трагических аварийных ситуаций происходит на объектах, прошедших экспертизу промышленной безопасности. Система мониторинга надежности и безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса или устарела, или недостаточно эффективна и требует адаптации к новым технологиям.

В соответствии с «Энергетической стратегией России до 2020 года», разработка универсальных методов контроля и управления надежностью систем различного уровня и масштабов является задачей первого приоритета. Технологическая сложность опасных производственных объектов требует разработки независимых многокритериальных универсальных систем мониторинга, основанных на различных научных подходах.

В России действует комплекс правительственных программ, направленных на создание централизованной системы оперативного мониторинга, управления и обеспечения надежности, безопасности промышленных объектов: «Федеральная целевая программа информационных и коммуникационных технологий «Электронная Россия (2002÷2010гг.)» (№65, 28.01.2002г.); «Концепция федеральной системы мониторинга потенциально опасных грузов и объектов инфраструктуры РФ» (№1314-р от 27.09. 2005г.); региональная программа на 2005÷2010гг «Предупреждение чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий, эпидемий и ликвидация их последствий» и др.

Магистральные трубопроводы представляют собой сложные и чрезвычайно крупные энергосистемы с множеством функциональных зависимостей. Выход из строя хотя бы одной из них приводит к серьезными последствиями ввиду огромных экологических и экономических ущербов.

Таким образом, для нефтегазотранспортных предприятий как опасных производственных объектов и стратегически важных с экономической и социальной точек зрения, проблема модернизации и внедрения новых технологий мониторинга и управления надежностью является актуальной.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности оперативного мониторинга технических систем объектов транспорта и хранения нефти с использованием методов системного анализа и прогнозирования показателей надежности.

**Основные задачи исследования:**

- разработка математических моделей для расчета и прогнозирования показателей надежности систем трубопроводного транспорта с учетом комплексных и критериальных показателей;
- разработка методики и алгоритма экспертной оценки функциональной надежности объектов на основе системного анализа априорной информации о режимах эксплуатации и с применением технологий, функционирующих в режиме реального времени (on-line);
- разработка физико-математической модели контроля и управления гидравлической надежностью объектов с применением математического аппарата теории вероятности и математической статистики;
- создание математической информационной базы для оболочки экспертной системы предупреждающего контроля надежности MPC (multivariable predictive control) со многими переменными.

**Научная новизна** результатов исследований заключается в разработке методологического аппарата проведения мониторинга надежности, экспертных расчетов и оценок показателей надежности, основанном на системном анализе технологических параметров. По отдельным вопросам диссертации:

- разработан комплекс математических моделей для количественной оценки и прогнозирования показателей сохраняемости объектов трубопроводного транспорта;
- созданы система мониторинга и алгоритмический комплекс, позволяющие в режиме реального времени получать устойчивые экспертные оценки показателей функциональной надежности объектов, комплексные оценки, и выявлять на их основании с применением системного анализа «слабое звено» и в структурной и факторной схемах;
- получены физико-математические зависимости для оценки гидравлической надежности трубопроводных систем с применением теории полумарковских процессов.

**Практическая ценность** работы заключается в разработке системы оперативного мониторинга показателей надежности промышленного объекта, позволяющей корректно проводить анализ риска, регламентируемого РД 03-418-01, и повысить эффективность принятия управленческих решений по технико-профилактическому обслуживанию. Созданная на основе логико-математического метода методика может быть использована научно-исследовательскими, проектными институтами и нефтегазотранспортными предприятиями при декларировании промышленной безопасности. Полученные математические модели дают возможность федеральным службам надзора, независимым экспертным организациям контролировать и прогнозировать надежность по блоку диспетчерских данных в режиме реального времени.

**Методологические основы и достоверность исследований.** В диссертации использованы классические положения теории: вероятности, полумарковских процессов, графов и надежности технических систем; системного анализа, а также характеристики оборудования и режимов работы системы транспорта и хранения нефти; результаты теоретических и экспериментально-промышленных исследований. Достоверность подтверждена хорошей схожимостью результатов научных исследований автора и отечественных ученых в области трубопроводного транспорта нефти. Математические модели апробированы по реальным данным диспетчерских служб нефтепроводов со значимой величиной коэффициентов множественной корреляции не ниже 0,99 при доверительной вероятности 0,95 и мощностью статистических критериев Колмогорова-Смирнова 0,80-0,99.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований представлялись автором к обсуждению на научно-технических конференциях (НТК), семинарах, научно-технических советах различного уровня: *международного*: «Надежность и безопасность трубопроводного транспорта» (г. Новополюцк, 2006 г.); 58-ой и 59-ой межвузовских НТК «Нефть и газ» (г. Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004 и 2005 г.); «Трубопроводный транспорт» (г. Уфа, 2005 г. и 2006 г.), «Нефть и газ Западной Сибири» (г. Тюмень, 2003 г.), «Интерстроймех» (г. Тюмень, 2005 г.), «Геотехнические и эксплуатационные проблемы нефтегазовой отрасли» (г. Тюмень, 2006 г.); *все-российского*: НТК ОАО АК «Транснефть», (г. Тюмень, 2005 г.); *регионального*: «Новые технологии - нефтегазовому региону 2005» (г. Тюмень, 2005 г.);

научных семинарах «Теплофизика, гидрогазодинамика, теплотехника» (ТГУ, г.Тюмень, 2004 г, 2005 г.) и др.

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 в издательствах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, основных выводов, приложения и списка использованных источников, включающего 169 наименований. Работа изложена на 167 страницах, содержит 37 рисунков и 25 таблиц.

### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности выбранной темы, формулируются цель, задачи и основные направления исследований, отмечаются научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первом разделе диссертации автором на основе исследований и обобщения научных публикаций анализируются и систематизируются методы оценки, прогнозирования и контроля показателей надежности технических систем с применением прогрессивных информационных технологий.

Отдельным аспектам рассматриваемой в работе проблемы оценки и повышения надежности объектов нефтегазопроводов посвящено значительное количество работ Березина В.Л., Гумерова А.Г., Васильева Г.Г., Ясина Э.М., Прохорова А.Д., Малюшина Н.А., Кучумова Р.Я., Шабарова А.Б., Короленка А.М., Иванова В.А., Иванова И.А., Гулькова А.Н., Шаммазова А.М., Шалай В.В., Ращепкина К.Е., Зорина Е.Е., Иванцова О.М., Иванцовой С.Г., Коробкова Г.Е., Коршака А.А., Гладенко А.А., Михаленко С.В., Чекардовского М.Н., Зайнуллина Р.С., Черняева В.Д., Черняева К.В., Крылова Г.В. и др. авторов.

Анализ публикаций позволяет утверждать, что в инженерной практике для количественной оценки надежности принято использовать комплексные показатели конструктивной надежности систем, показатели безотказности, долговечности или коэффициенты готовности. На предприятиях производится анализ технического состояния и работоспособности системы, при этом показатели надежности, как правило, оцениваются избирательно, исходя из необходимости продления ресурса оборудования, без учета других обстоятельств. К недостаткам существующих методик и нормативной базы следует отнести проведение послеотказовой оценки надежности (сначала «допуска-

ют» отказы, а потом исследуют закономерность их возникновения) и отсутствие прогнозирующих, упреждающих и комплексных моделей. С увеличением продолжительности эксплуатации систем особое значение принимает обеспечение их функциональной надежности, которое выражается в сохранении на заданном уровне рабочих параметров, регламентируемых нормативными документами. Одним из перспективных путей повышения надежности является переход к обслуживанию объектов по фактическим, имитационным и прогнозируемым показателям. Применяемые на нефтегазовых предприятиях автоматические системы контроля SISO и MISO (одноразового и многократного ввода-вывода параметров процесса) с учетом предъявляемых современных требований следует признать устаревающими.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что существует необходимость разработки многофакторной логико-математической модели мониторинга, функционирующей в режиме реального времени и обеспечивающей корректную комплексную количественную оценку показателей надежности промышленного объекта на иерархических уровнях.

**Второй раздел** посвящен разработке моделей надежности нефтегазовых объектов с применением информационных технологий и системного анализа.

В работе построен алгоритмический комплекс для ЭВМ и создана система мониторинга (контроль, оценка, прогнозирование), соответствующая новому поколению технологий прогнозного контроля со многими переменными – (multivariable predictive control – MPC) и оптимизации в режиме реального времени (*on-line*), базирующаяся на применении методов системного анализа.

Анализ надежности проводится по двум схемам – структурной (рис. 1) и факторной, позволяющим определять надежность элементов и осуществлять мониторинг отдельных показателей по критериям. В отличие от структурной схемы, характеризующей комплексные показатели надежности элементов, факторная схема отражает причины изменения показателей для каждого элемента. Разработанная система реализует принцип непрерывного сканирования показателей и сравнения полученных значений с критическими для определения области и вида технического вмешательства.

Математическая модель системы по эксплуатационным показателям базируется на следующих положениях: 1) надежность системы  $N_{сист}$  характеризуется комплексом показателей надежности  $S_b$  (область определения функций

$N_{сист} \in [0,1]$ ,  $S_i \in [0,1]$ ); 2) показатели  $S_i$  характеризуются изменением эксплуатационных параметров у системы, т.е.:

$$N_{сист} = f(S_1, S_2, S_3, \dots, S_n), n \geq 1; S_i = f(y_i), y_i \in [y_{\min}^{don}; y_{\max}^{don}] \text{ или } S_i = f(t). \quad (1)$$

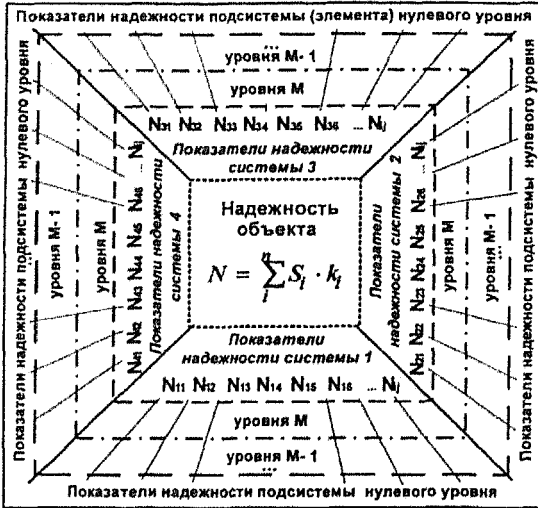


Рис.1.Схема структурного анализа надежности

Общий показатель надежности является интегральной величиной, определяемой методом линейной свертки для каждого объекта технологической системы с учетом иерархии:

$$N_m = \sum_i^n S_{i_{m-1}} \cdot k_{i_{m-1}},$$

где  $N_m$ —функция надежности (например, сохраняемость) системы уровня сложности,  $S_{i_{m-1}}$ —показатель надежности на

иерархическом уровне  $(m-1)$  (по структурной или факторной схеме),  $i$ —номер показателя  $i \in [1;n]$ ,  $k_i$ —весовой коэффициент значимости для  $i$ -го показателя.

Качественный и количественный состав показателей  $S_i$  определяется для каждой системы на различных иерархических уровнях с учетом функциональных характеристик. Значения  $k_i$  определяются по многофакторным математическим моделям и методом экспертных оценок. В работе предложен расчетный комплекс для оценки сохраняемости типовых объектов.

Для анализа и управления надежностью сформирована алгоритмическая структура (рис.2), которая в режиме on-line позволяет: а) производить оценку показателей надежности каждого элемента системы на любом уровне и определять наиболее уязвимые элементы; б) определять параметры системы, оказывающие наибольшее влияние на её надежность.

Функционирование системы оперативного мониторинга предусматривает пять основных этапов, на которых осуществляется группа операций: 1-ый этап



– формирование базы данных; 2-ой – обновление, обработка базы данных и расчет показателей надежности; 3-ий – структурный анализ показателей, выявления «слабого звена» и принятие решения о необходимости технического вмешательства; 4-ый – факторный анализ показателей для выявления причин снижения надежности и принятия решения по их ликвидации при  $S_i < S_{инкор}$ ; 5-этап – прогнозирование показателей на период  $T_{прогн}$  (для момента времени  $T > T_{диагн}$ ), превышающий наработку до очередного диагностирования.

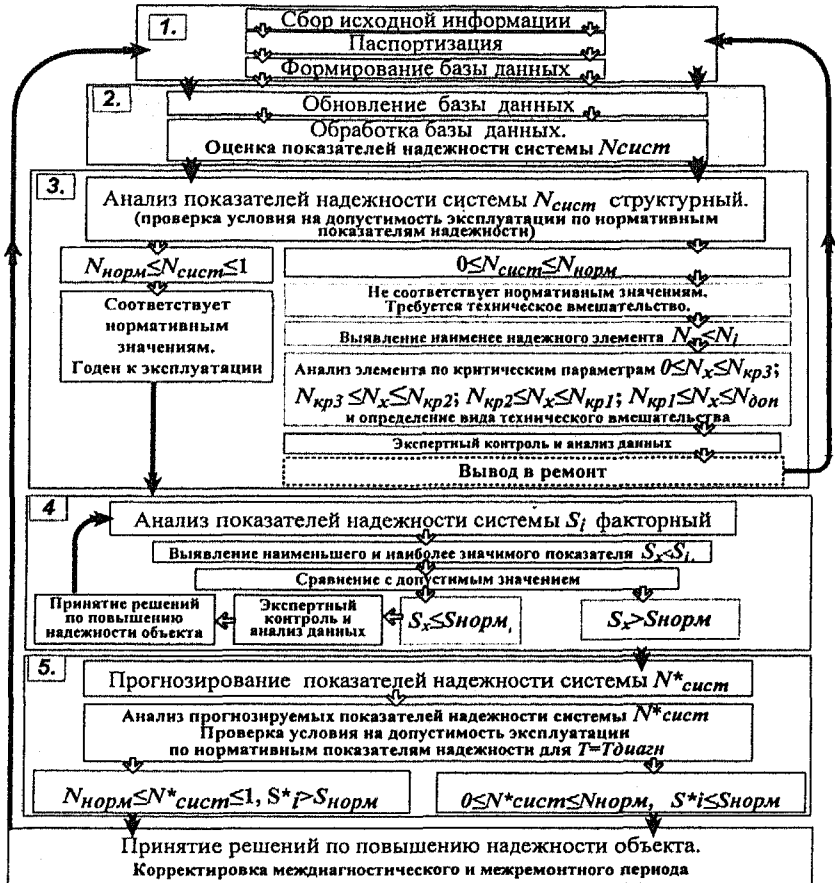


Рис.2. Алгоритм функционирования системы оперативного мониторинга надежности по показателям надежности

Система сбора исходной информации построена на использовании штатного аппаратного обеспечения диагностики и аттестации объектов.

Методика прогнозирования состояний объекта и определения критических значений показателей надежности основана на математическом аппарате теории случайных и детерминированных процессов. Вид функций распределения критериальных показателей контролируется в режиме on-line на основании критериев Колмогорова-Смирнова с достоверностью не менее 0,95. Параметры распределений определяются на основании уравнений максимального правдоподобия, например для распределения Вейбулла:

$$n\alpha - \sum_{i=1}^n y_i^\beta = 0, \quad \frac{n}{\beta} + \sum_{i=1}^n \ln y_i - \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n y_i^\beta \ln y_i = 0, \quad \bar{y} = \alpha^{\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right), \quad (2)$$

где  $\alpha, \beta$  – параметры двухпараметрического распределения Вейбулла  $f(y, \alpha; \beta) = \frac{\beta}{\alpha} (y)^{\beta-1} e^{-\frac{y^\beta}{\alpha}}$ . Расчеты корректируются по принципу Байеса.

Решение задачи оптимизации, заключаемой в распределении фондов при условии максимума надежности, основано на теории математического программирования с применением методов многокритериальной оптимизации по принципу Беллмана с целевой функцией оптимизации для множества решений по повышению надежности системы  $x \in X$ :

$$F(x) = \max(\Delta N(x), C_N(x)), \quad (3)$$

где  $N(x)$  – положительное приращение интегральной функции надежности объекта для решения  $x$ ;  $C_N(x) = I/x$ .

Математическое обеспечение отвечает принципам оперативной оценки и прогнозирования показателей надежности, параметрических моделей отказов, теории графов, вероятности и полумарковских процессов и позволяет учитывать вероятностные и детерминированные составляющие надежности технических объектов. Апробация разработанных моделей и алгоритмов проведена по зарегистрированному блоку диспетчерских технологических параметров работы оборудования нефтеперекачивающей станции.

В третьем разделе показано, что одним из показателей, характеризующих надежность поставки продукции и сохраняемость системы, может быть безразмерный показатель гидравлической надежности  $J_n$ :

$$J_{ni} = \frac{N_i}{N_0} = \frac{\rho_i \cdot g \cdot Q_i \cdot \Delta H_i}{\rho_0 \cdot g \cdot Q_{np} \cdot \Delta H_0} = \left(\frac{\rho_i}{\rho_0}\right) \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_{np}}\right) \cdot \left(\frac{H_i}{H_0}\right), \quad (4)$$

где  $N_i$  и  $N_0$  - значение полезной мощности в  $i$ -ый период времени и на начало эксплуатации, соответственно:  $N_i = \rho g H_i Q_i$ ,  $N_0 = \rho g H_0 Q_{np}$ ;  $Q_{np}$  и  $Q_i$  - производительность нефтепровода проектная и в  $i$ -ый период времени;  $\Delta H_i$  и  $\Delta H_0$  - потери напора на участке, соответствующие  $Q_i$  и  $Q_{np}$ .

В работе показано, что применяемый на практике коэффициент гидравлической эффективности  $E$  может рассматриваться как частное решение уравнения (4). Действительно, при  $Q_i = Q_{np}$ ,  $\rho_i = \rho_0$  и  $\Delta H_i = \Delta H_p$ ,  $\Delta H_0 = \Delta H_\phi$  после несложных преобразований формула (4) принимает вид  $J_n = \left( \frac{H_p}{H_\phi} \right) = E$ , где  $\Delta H_p$  и  $\Delta H_\phi$  - расчетные и фактические потери напора.

Изменение  $J_n$  предлагается рассчитывать при анализе работы трубопроводов при лимитирующих производительностях  $Q_{lim,max}$  и  $Q_{lim,min}$ .

Для оценки запаса гидравлической надежности по отношению к проектному значению в качестве  $Q_i$  необходимо принять допустимые или действительные значения показателей режима в трубопроводе:

$$J_{n, доп} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_{доп}}{Q_{np}} \right) \cdot \left( \frac{H_\partial}{H_{np}} \right) \quad \text{или} \quad J_{n, \partial} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_\partial}{Q_{np}} \right) \cdot \left( \frac{H_\partial}{H_{np}} \right), \quad (5)$$

где  $\Delta H_\partial$ ,  $\Delta H_{np}$  - потери напора на участке при действительной и проектной производительностях нефтепровода  $Q_\partial$  и  $Q_{np}$ , соответственно.

При расчете допустимой гидравлической надежности в формуле (4) в качестве  $Q_{np}$  принимают допустимые значения, определенные по уставкам, а в качестве  $Q_i$  - действительные значения производительности:

$$J_n = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_\partial}{Q_{доп}} \right) \cdot \left( \frac{H_\partial}{H_{доп}} \right). \quad (6)$$

Введение показателя  $J_n$  в систему мониторинга обеспечит непрерывный контроль в автоматическом режиме с учетом возможных непрогнозируемых изменений свойств некондиционной нефти, производительности и др.:

$$\text{если} \quad H_i = \beta \frac{Q_i^{2-m} v_i^m}{D_i^{5-m}} \quad \text{и} \quad H_0 = \beta \frac{Q_{np}^{2-m} v_0^m}{D_0^{5-m}}, \quad (7)$$

$$\text{то: } J_H = \rho_i g \beta_i \frac{Q_i^{2-m} v_i^m Q_i}{D_i^{5-m}} \cdot \left( \beta_0 \frac{Q_{np}^{2-m} v_0^m \cdot Q_{np}}{D_0^{5-m}} \right)^{-1} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \left( \frac{\beta_i}{\beta_0} \right) \left( \frac{v_i}{v_0} \right) \left( \frac{Q_i}{Q_{np}} \right)^{3-m} \cdot \left( \frac{D_0}{D_i} \right)^{5-m}. \quad (8)$$

По результатам обработки данных о режимах работы действующих нефтепроводов для экспресс-анализа получены зависимости  $J_H$  от производительности. Например, для нефтепроводов диаметром 1220 мм с точностью, достаточной для инженерных расчетов, рекомендуется формула

$$J_H = 1,016 \cdot Q_{np}^{-2,7634} \cdot Q_d^{2,745}. \quad (9)$$

В работе показано, что анализ режимов эксплуатации с применением  $J_H$  обеспечивает существенно большую чувствительность к изменению эксплуатационных параметров (например, производительности), чем функции гидравлической эффективности  $E$  и технического состояния  $F$ .

Разработанный комплекс функциональных зависимостей может быть использован для расчета экономического ущерба при эксплуатации предприятия в режимах, отличных от проектных, при этом коэффициент  $J_H$  определяется по потребляемой мощности насосно-силового оборудования.

В четвертом разделе разработаны алгоритмы и математические модели с применением системного анализа объектов, классических методов теории графов и полумарковских процессов, предназначенные для оценки и прогнозирования показателей сохраняемости и готовности по критерию.

Математическая модель для сложной технической системы основана на положениях: сохраняемость определяется комплексом  $n$  показателей ее элементов  $N_{суст} = f(S_1, S_2, S_3, \dots, S_n)$ ,  $n \geq 1$ ;  $S_i = f(y_i)$ ,  $y_i \in [y_{\min}^{don}, y_{\max}^{don}]$ ,  $S_i \in [0, 1]$ ,  $S_i = f(t)$ ; система работоспособна и надежна при условии  $N_{суст} \in [N_{\min}^{don}, 1]$ ;  $S_i \in [S_{\min}^{don}, 1]$ , переход в следующее состояние по графу осуществляется при снижении показателя до критического уровня  $S_i < S_{\min}^{don}$  и  $N_{суст} < N_{\min}^{don}$ .

Для графа составлена система дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} P_0'(t) &= -P_0(t) \sum_i \lambda_{0i} + \sum_j \mu_{j0} P_j(t); \\ P_n'(t) &= -(\sum_i \lambda_{ni} + \sum_j \mu_{nj}) P_n(t) + \sum_i \lambda_{ij} P_i(t) + \sum_j \mu_{jn} P_j(t); \\ P_N'(t) &= \sum_i \lambda_{iN} P_i(t) - P_N(t) \sum_j \mu_{Nj}. \end{aligned} \quad (10)$$

Вероятности нахождения  $P_i$  в каждом из состояний определяются из систем уравнений (10) методом преобразований Лапласа-Карсона из вероятностной и интегральной формы или методом последовательных приближений.

Для полумарковского процесса переходные вероятности состояния  $i$  в  $j$ :

$$P(t) = \|P_{ij}(t)\|, \quad P_{ij}(t) = \int \prod_{k=1}^n (1 - F_{ik}(x)) dF_{ij}(x), \quad (11)$$

где  $F_{ij}(x)$  и  $F_{ik}(x)$  - функция распределения времени пребывания элемента в состоянии  $i$  при следующем переходе в  $E_j$  и  $E_k$ ;  $k \in N, k \in (1; n)$  - номера состояний, кроме  $j$ , в который возможен одношаговый переход из  $E_i$ .

Время нахождения в состоянии  $i$  (срок сохраняемости), коэффициент готовности по критерию надежности  $S_i$  и среднее прогнозируемое значение коэффициента готовности  $K_p^*$  на период  $T_{\text{прогн}}$  определяются по формулам:

$$T_i = \int_0^{\infty} \prod_{j=1}^n (1 - F_{ij}(t)) dt; \quad (12)$$

$$K_z(S_i, t) = \sum_n P_n(t), \quad K_z^*(S_i, T_{\text{прогн}}) = \frac{1}{T_{\text{прогн}}} \int_0^{T_{\text{прогн}}} K_z(S_i; t) \cdot dt. \quad (13)$$

Разработанная модель в общем виде состоит из элементов с различными связями, соединениями, графами состояний и интенсивностями отказов и восстановлений. Построенный на рис.3 в качестве примера граф, состоящий из  $m_{\text{осн}}$  основных и  $k_{\text{рез}}$  резервных элементов, иллюстрирует пошаговый переход системы из состояния, когда работоспособны все ее элементы, до состояния отказа, когда отказали все резервные и один основной. В состоянии  $E_0$  работоспособны все элементы, в состоянии  $E_i$  отказывают  $i$  резервных,  $i \in [1, k-1]$ .

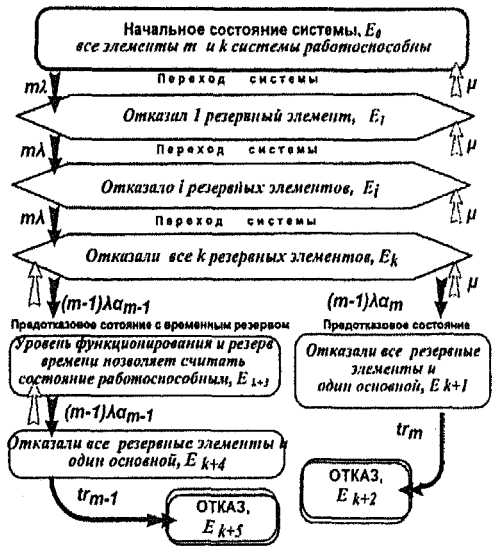


Рис.3. Пример графа состояний для оценки функциональной надежности технической системы

Поток отказов пуассоновский, интенсивности восстановления и наработки на отказ  $\mu$ ,  $\lambda$ ; временной резерв системы -  $t_r$ . В состоянии  $E_k$  система не имеет структурного резерва, и ее дальнейший переход в предотказовые состояния происходит в случае отказа одного из  $m$  основных элементов в двух вариантах в зависимости от наличия  $t_r$ : 1) по истечении  $t_r > 0$  для восстановления основного элемента (левая ветвь) - в  $E_{k+3}$ ; 2) при  $t_r = 0$  (правая ветвь) - в  $E_{k+1}$ ; состояния  $E_{k+2}$  и  $E_{k+5}$  - отказовые. Параметр  $\alpha_n$  определяется вероятностью отказа всей системы при отказе одного основного элемента  $m$  или значением функции  $\alpha_n = f_\alpha(T_x)$ ,  $f_\alpha(t) = \alpha(t)$  на период оценки или прогнозирования в предположении о переменной интенсивности отказов (например, при прогнозировании с запасом надежности).

Достоинством разработанной модели является возможность описания систем развернутыми подробными графами состояний и разделения их на типовые фрагменты. С применением методов и средств вычислительной математики определяются вероятностные характеристики  $P_{ij}$ ,  $P_i$ ,  $T_i$ ,  $K_2$ ,  $K_2^*$ , на основании которых для принятия решений прогнозируется состояние системы на иерархических уровнях с оценкой безотказности, сохраняемости и др. При этом интенсивность переходов может быть постоянной и переменной.

#### Основные выводы по диссертации

1. Разработана модель мониторинга объектов сложной трубопроводной системы, позволяющая осуществлять структурный, факторный и комплексный анализ надежности на различных иерархических уровнях с учетом их технологических особенностей и условий эксплуатации.

2. Разработанная методика системного анализа показателей надежности с применением современных информационных технологий дает возможность федеральным службам надзора, независимым общественным организациям при декларировании промышленной безопасности объекта проводить логико-математический экспертный анализ риска, регламентируемого РД 03-418-01.

3. Разработана физико-математическая модель гидравлической надежности с применением теории полумарковских процессов, математического аппарата теории вероятности и математической статистики. Предложены аппроксимирующие функции для количественного анализа показателей надежности.

4. Разработанные функциональные зависимости, алгоритмический комплекс и программное обеспечение системы мониторинга позволили создать математическую информационную базу для оценки сохраняемости и безотказности эксплуатируемых нефтегазотранспортных систем, получения в режиме on-line оперативных количественных показателей надежности, и тем самым повысить эффективность мониторинга и оптимизировать принятие управленческих решений.

**Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. Земенкова М.Ю. Разработка метода оценки технической надежности оборудования нефтегазопроводов/Трясцин Р.А.//Нефть и газ Западной Сибири: Сб. научн. тр. междунар. конф. ТюмГНГУ. – Тюмень: изд-во ТюмГНГУ, 2003. – С.158-159.
2. Земенкова М.Ю. Мероприятия по оптимизации режимов эксплуатации и оценка рисков аварий линейной части трубопроводных систем/Капитальчук Т.Г., Коваленко В.Н.//Нефть и газ Западной Сибири: Сб. научн. тр. междунар. конф. – Тюмень: изд-во ТюмГНГУ, 2003. – С.164-165.
3. Земенкова М.Ю. К принятию решений о техническом обслуживании нефтегазотранспортных систем//Материалы 10 и 11-го межотрасл. научно-методолог. семинаров. – Тюмень: изд-во ТюмГУ, 2004. –С.140-145.
4. Земенкова М.Ю. Приоритетность показателей надежности систем транспорта энергоресурсов//Материалы 10 и 11-го межотрасл. научно-методолог. семинаров. – Тюмень: изд-во ТюмГУ, 2004. –С.145-150.
5. Земенкова М.Ю. Комплексная оценка показателей надежности трубопроводных систем/Бабичев Д.А.//Нефть и газ – 2004: Материалы. 58-ой Межвуз. научн. конф. – М: изд-во РГУ нефти и газа им. Губкина, 2004. – С.10.
6. Земенкова М.Ю. Оперативный мониторинг гидравлической надежности трубопроводных систем/Остапенко Я.А.//Нефть и газ - 2004: Материалы 59-ой Межвуз. научн. конф.– М: изд-во РГУ нефти и газа им. Губкина, 2005.– С.44.
7. Земенкова М.Ю. Методология прогнозирования и контроля надежности трубопроводных систем/Маркова Л.М., Закирзаков А.Г.// Интерстроймех – 2005: Сб. тр. междунар. научно-техн. конф. – Тюмень: изд-во ТюмГНГУ, 2005. – С.106–108.
8. Земенкова М.Ю. Проблемы мониторинга надежности систем трубопроводного транспорта в режиме реального времени/Левитин Р.Е., Каздыкпаев

- А.Ж.//Трубопроводный транспорт – 2005: Материалы междунар. научно-практ. конф.– Уфа: изд-во ДизайнПолиграфСервис, 2005. – С.79-81.
9. Земенкова М.Ю. Разработка математического обеспечения систем упреждающего контроля надежности/Кривохижа В.Н.//Трубопроводный транспорт -2006: Материалы междунар. научно-практ. конф. – Уфа: изд-во ДизайнПолиграфСервис, 2006. – С.52-54.
10. Земенкова М.Ю. Проблемы мониторинга товаро-учетных операций на АЗС/ Гайцев Д.Л., Глухов З.А.//Трубопроводный транспорт -2006: Материалы междунар. научно-практ. конф. – Уфа: изд-во ДизайнПолиграфСервис, 2006. – С.33-34.
11. Земенкова М.Ю. Математическое моделирование сохраняемости объектов трубопроводного транспорта//Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы 5-ой междунар. научно-техн. конф. – Новополоцк: изд-во УО «ПГУ», 2006. – С.300.
12. Земенкова М.Ю. Методы системного анализа в решении задач управления сложными техническими системами/Бабичев Д.А., Земенков Ю.Д.//Нефтегазовое дело. – Уфа, 2007.–12с.- [http://www.ogbus.ru/authors/Zemenkova/Zemenkova\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Zemenkova/Zemenkova_1.pdf)
13. Земенкова М.Ю. Алгоритм реализации опережающей стратегии контроля и управления надежностью нефтегазовых предприятий/ Шабаров А.Б.//Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень: изд-во ТюмГНГУ, 2007. – №3. – С.103-107.



Подписано к печати 14.09.07  
 Заказ № 333  
 Формат 60\*84 1/16  
 Отпечатано на RISO GR 3750

Бум. ГОЗНАК  
 Уч. - изд.л. 1.0  
 Усл. печ. л. 1.0  
 Тираж 100 экз.

Издательство Государственного образовательного учреждения  
 высшего профессионального образования  
 «Тюменский государственный нефтегазовый университет»  
 625000 г. Тюмень, ул. Володарского 38  
 Отдел оперативной полиграфии издательства 625039, г. Тюмень, ул. Киевская, 52