

На правах рукописи



**АЛЕКСАНДРОВ СВЯТОСЛАВ АЛЕКСЕЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА И  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДЛЯ  
КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ТРУБОПРОВОДОВ**

Специальность 25.00 19 – «Строительство и эксплуатация  
нефтегазопроводов, баз и хранилищ» (технические науки)

A handwritten signature in black ink, consisting of several stylized, overlapping strokes, located to the right of the text.

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 2007

Работа выполнена в Российском государственном университете нефти и газа им. И М Губкина

Научный руководитель. доктор технических наук, профессор  
**Короленок Анатолий Михайлович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
**Решетников Александр Данович**

кандидат технических наук  
**Лазин Анатолий Иванович**

Ведущая организация. «НГС-Оргпроектэкономика» г Москва

Защита диссертации состоится «24» мая 2007 г в 15  
часов в ауд. 502 на заседании диссертационного совета Д 212.200.06 при  
Российском государственном университете нефти и газа им И М. Губкина,  
по адресу: Ленинский проспект, 65, В-296, ГСП-1, Москва, 119991.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского  
государственного университета нефти газа имени И М. Губкина

Автореферат разослан «23» апреля 2007 г

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Иванцова С Г

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** На сегодняшний день в условиях возрастания объемов проведения капитального ремонта магистральных газо- и нефтепроводов возникает потребность в оптимизации использования имеющихся технологических ресурсов (машин и механизмов) для обеспечения эффективной реализации процессов ремонта трубопроводных систем

В соответствии с программой по ремонту изоляционных покрытий магистральных газопроводов ОАО «Газпром» на 2004-2010 гг методом нанесения битумно-полимерных мастик планируется, что объем ремонтных работ на период 2007-2010 гг составит свыше 15 тыс км магистральных трубопроводов

Обеспечение выполнения данных объемов работ в столь сжатые сроки требует оперативного решения задачи оснащения технологических потоков по выполнению капитального ремонта трубопроводов надежными, высокопроизводительными машинами

Для решения данной задачи возникает необходимость в разработке комплексной методики, позволяющей укомплектовать технологические потоки машинами с учетом основных факторов, влияющих на выбор технологических ресурсов для проведения капитального ремонта трубопроводов

В этих условиях одним из основных направлений развития механизации ремонта магистральных трубопроводов является разработка эффективных методов принятия решений по формированию новых и обновлению существующих парков машин, а также по выбору оптимальной стратегии их эксплуатации

Основные исследования в области механизации строительства и ремонта магистральных трубопроводов представлены в работах В В Болотина, Д П Волкова, НИ Громова, С А Горелова, А М Короленка, Ю С Кукина, В И Минаева, С Н Николаева, В А Савенко, Л Г. Телегина, А М Тютьнева, Н Х. Халлыева и др

Однако в вышеуказанных исследованиях не рассматривались вопросы выбора технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов в современных условиях. В связи с этим тема диссертации, в которой проведены специальные исследования, направленные на поиск новых комплексных подходов к выбору и рациональной эксплуатации технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов, отвечающих современному уровню развития технологии, техники, надежности, экономики и требованиям промышленной безопасности, несомненно, является актуальной

**Цель диссертационной работы** – разработка методов рационального планирования формирования, эксплуатации и обновления парка машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов.

**Основные задачи исследования.** В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие задачи

- анализ и исследование существующих принципов формирования, эксплуатации и обновления парков машин для строительства и ремонта магистральных трубопроводов;
- исследование иерархических структур планирования эксплуатации технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов с учетом теоретических основ и принципов использования метода анализа иерархий для оценки приоритетов;
- разработка комплексной методики выбора технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов,
- разработка методики выбора стратегии эксплуатации комплектов машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов;
- разработка методики обновления парка машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов.

**Научная новизна работы.** Представленная работа является комплексным исследованием по изучению методов принятия решений, направленных на решение вопросов планирования комплектации новых, а

также эксплуатации и обновления существующих парков строительных и ремонтных машин

На основе метода анализа иерархий предложена методика рационального выбора технологических ресурсов для формирования технологического потока по производству капитального ремонта магистральных трубопроводов.

С учетом современных технологий и организационных схем ремонта магистральных трубопроводов предложены математические модели, повышающие научную обоснованность рациональной эксплуатации и обновления парка строительных и ремонтных машин

Впервые разработана методика принятия оптимального решения по выбору стратегии эксплуатации комплектов машин, позволяющая эффективно использовать технологические ресурсы предприятий, занимающихся капитальным ремонтом магистральных трубопроводов.

**Практическая ценность научных исследований и реализация работы в промышленности.** Полученные в диссертационной работе результаты позволяют принимать научно обоснованные решения и эффективно управлять процессом формирования, эксплуатации и обновления парка машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов.

Разработанные в диссертации методики апробированы и приняты к внедрению в ОАО «Стройтрансгаз», ООО «Трансгазмонтаж» и ООО «Сантехгазстрой»

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях

- IV научно-техническая конференция, посвященная 300-летию Инженерного образования в России «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина М., 25-26 января 2001 г ;

- Научная конференция аспирантов, молодых преподавателей и сотрудников вузов и научных организаций «Молодежная наука – нефтегазовому комплексу» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина М, 30-31 марта 2004 г ,
- VI научно-техническая конференция, посвященная 75-летию Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина М, 26-27 января 2005 г

**Публикации.** По материалам диссертационного исследования опубликовано 10 работ, в том числе 3 монографии и 1 статья в ведущем рецензируемом научном журнале

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и списка литературы из 101 наименования. Содержание изложено на 111 страницах, 12 рисунках и 10 таблицах

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность темы исследований, направленной на совершенствование методов принятия решений по формированию, эксплуатации и обновлению технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов. Отражена научная новизна и практическая ценность выполненных исследований

**В первой главе** представлен анализ теоретических исследований в области механизации строительства и капитального ремонта магистральных трубопроводов, в том числе исследованы существующие подходы к проблеме планирования формирования, эксплуатации и обновления парка строительных и ремонтных машин для различных технологий капитального ремонта магистральных трубопроводов

Проведенный анализ показал, что существующие методы планирования формирования, эксплуатации и обновления технологических ресурсов для строительства и капитального ремонта магистральных трубопроводов, разработанные преимущественно в условиях плановой экономики, не позволяют в современных условиях обеспечить высокие темпы производства работ.

В этих условиях возникает необходимость разработки методики построения математического аппарата для разработки системы планирования рассматриваемых процессов.

С учетом вышеизложенного сформулированы цели и задачи исследований диссертации

**Вторая глава** посвящена выбору структуры технологического потока по производству капитального ремонта магистральных трубопроводов в различных условиях производства работ.

Обзор теоретических исследований в области капитального ремонта магистральных трубопроводов показал, что на сегодняшний день отсутствует единый подход к принятию решения по комплектованию технологических потоков для производства капитального ремонта линейной части магистральных трубопроводов (ЛЧМТ)

В связи с этим предлагается методика принятия решения по комплектованию технологических потоков для производства капитального ремонта магистральных ЛЧМТ, основные этапы которой схематически представлены на рис. 1.

При производстве капитального ремонта магистральных трубопроводов основной объем работ (до 70%) приходится на замену пришедшего в негодность изоляционного покрытия с частичным восстановлением несущей способности стенки трубы. В этой связи с точки зрения преимуществ и недостатков в работе проанализированы следующие основные технологические схемы ремонта магистральных трубопроводов с заменой изоляционного покрытия с учетом состояния стенки трубы

- ремонт трубопровода с подъемом и укладкой ремонтируемого участка на лежки на бровке траншеи,

- ремонт трубопровода с подъемом и укладкой ремонтируемого участка на лежки на дне траншеи;
- ремонт трубопровода с подъемом ремонтируемого участка в траншее;
- ремонт трубопровода с сохранением пространственного положения ремонтируемого участка

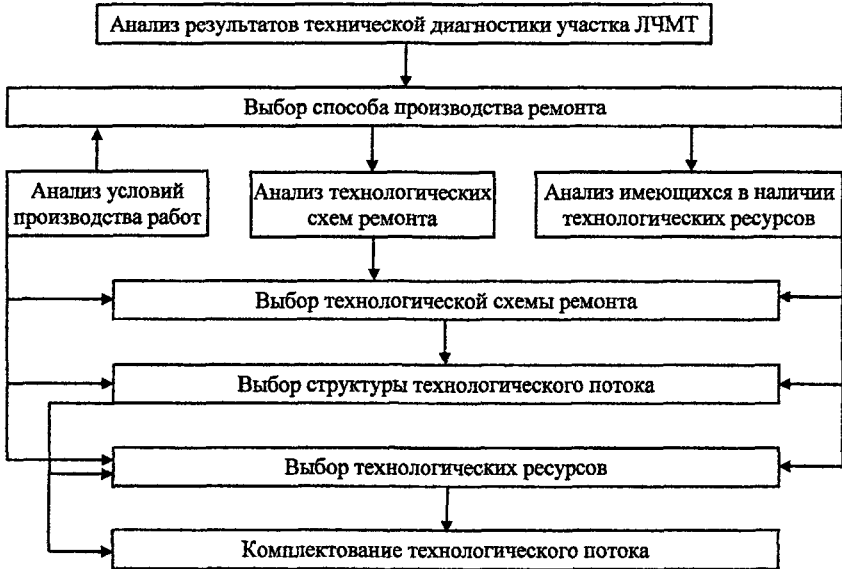


Рис. 1. Схематическое представление основных этапов комплектования технологических потоков для производства капитального ремонта ЛЧМТ.

На основе выполненного анализа автором предложена структура технологического потока для производства капитального ремонта магистральных трубопроводов по замене изоляционного покрытия с учетом состояния стенки трубы для следующих условий производства работ:

- нормальные условия (для регионов средней полосы с устойчивыми грунтами);



- условия болот и обводненной местности (для северных и заболоченных территорий, а также территорий с высоким уровнем грунтовых вод и подтапливаемых территорий)

В работе предложена, на основе метода анализа иерархий, методика выбора технологических ресурсов для комплектования технологического потока для производства капитального ремонта ЛЧМТ.

Для принятия решений по методу анализа иерархий необходимы построение и анализ иерархической структуры с учетом принципа декомпозиции. В результате проведенных исследований удалось выделить четыре основные группы критериев, которые могут оказывать влияние на выбор технологических ресурсов для комплектования технологического потока по производству капитального ремонта ЛЧМТ.  $\pi_1$  – технологическая группа,  $\pi_2$  – экономическая группа,  $\pi_3$  – временная группа и  $\pi_4$  – группа надежности. Декомпозиция задачи в иерархию для построения приоритетов решений представлена на рис. 2 в виде перевернутого дерева с корнем в вершине (уровень 1), основных групп критериев оценки (уровень 2), самого множества критериев (уровень 3) и перечня имеющихся в наличии технологических ресурсов (уровень 4). Критерии оценки, влияющие на выбор технологических ресурсов при формировании технологического потока по производству капитального ремонта ЛЧМТ, представлены в обобщенном виде в табл. 1.

Для каждого элемента данного уровня иерархии строится одна матрица парных сравнений, размерность которой в построенной иерархии равна числу элементов следующего уровня. Элементы следующего уровня сопоставляются друг с другом по силе их воздействия на данный элемент предыдущего уровня.

В данном случае с учетом шкалы относительной важности строится матрица для парных сравнений групп критериев (уровень 2) по отношению к цели задачи (уровень 1). Далее вычисляется вектор приоритетов по данной матрице – главный собственный вектор с наибольшим собственным

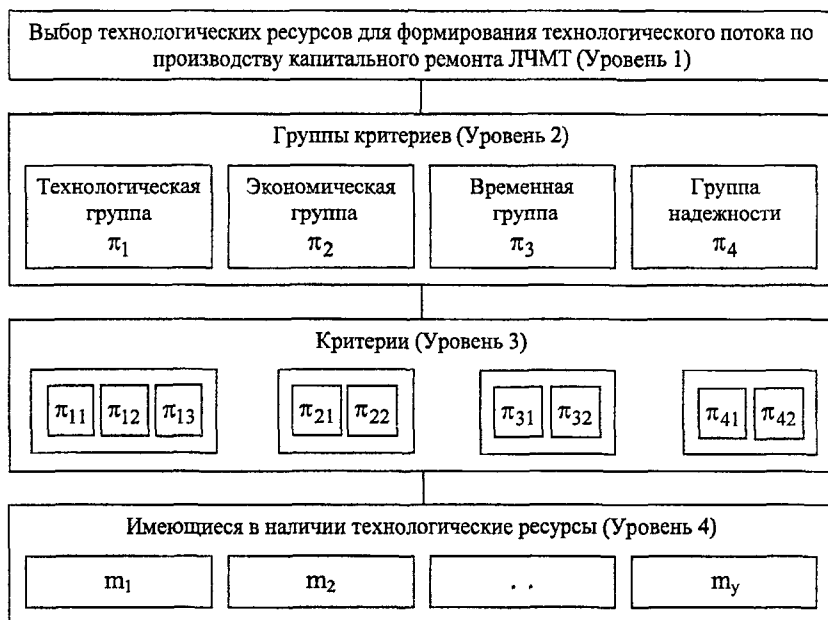


Рис 2 Декомпозиция задачи выбора технологических ресурсов для формирования технологического потока по производству капитального ремонта ЛЧМТ в иерархию

значением, который после нормализации становится вектором приоритетов. Собственный вектор задает распределение приоритетов. С помощью приближенного метода вычисления собственного вектора запишем соотношения для определения его компонентов в следующем виде ( $\alpha = 1, 2, 3, 4$ )

$$Z_\alpha = \frac{r_\alpha}{N}, \quad (1)$$

$$\text{где } r_\alpha = \left( \frac{\pi_{\alpha\alpha}}{\pi_1} \frac{\pi_{\alpha\alpha}}{\pi_2} \frac{\pi_{\alpha\alpha}}{\pi_3} \frac{\pi_{\alpha\alpha}}{\pi_4} \right)^{\frac{1}{4}},$$

$$N = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

Далее по аналогии строятся матрицы парных сравнений для критериев оценки (уровень 3) по отношению к группам критериев (уровень 2) и

матрицы парных сравнений исследуемых технологических ресурсов (уровень 4) по отношению к критериям оценки (уровень 3)

Таблица 1

Критерии оценки технологических ресурсов при формировании потока по производству капитального ремонта ЛЧМТ

Критерии		
Обозначение	Наименование	Размерность
<b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ГРУППА КРИТЕРИЕВ (<math>\pi_1</math>)</b>		
$\pi_{11}$	Соответствие конструктивным параметрам магистрального трубопровода, подлежащего капитальному ремонту	б/р
$\pi_{12}$	Соответствие выбранной технологической схеме капитального ремонта магистрального трубопровода	б/р
$\pi_{13}$	Соответствие условиям производства работ	б/р
<b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГРУППА КРИТЕРИЕВ (<math>\pi_2</math>)</b>		
$\pi_{21}$	Затраты на перебазирование	руб /ч
$\pi_{22}$	Затраты на энергоносители	руб /ч
<b>ВРЕМЕННАЯ ГРУППА КРИТЕРИЕВ (<math>\pi_3</math>)</b>		
$\pi_{31}$	Время на перебазирование	ч
$\pi_{32}$	Время на монтаж и приведение в рабочее состояние	ч
<b>ГРУППА КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ (<math>\pi_4</math>)</b>		
$\pi_{41}$	Коэффициент готовности	б/р
$\pi_{42}$	Наработка между отказами	моточас

После определения вектора приоритетов для каждой из построенных матриц производится оценка сравнительной значимости исследуемых технологических ресурсов. В рассматриваемом случае оценка технологических ресурсов производится по формуле

$$\Omega_{\gamma} = \sum_{\alpha} \sum_{\beta} Z_{\alpha} Z_{\alpha\beta} Z_{\alpha\beta\gamma}, \quad (2)$$

где  $\Omega_{\gamma}$  – оценка  $\gamma$ -го технологического ресурса,  $\alpha$  – количество групп

критериев;  $\beta$  – количество критериев в группе;  $\gamma$  – номер рассматриваемого технологического ресурса

После определения оценок для каждого из рассматриваемых технологических ресурсов предпочтение отдается тому ресурсу, который получает наивысшую оценку.

Одним из важных преимуществ данной методики является то, что предложенный набор групп критериев оценки и самих критериев может быть дополнен другими группами критериев или критериями, что позволяет модифицировать методику с учетом предпочтений лиц, принимающих решения по комплектации технологических потоков.

В работе также предложена методика, позволяющая принимать решения по формированию парка строительных и ремонтных машин в условиях неопределенности.

**Третья глава** посвящена разработке методики выбора стратегии эксплуатации комплектов машин для ремонта трубопроводов.

Своевременное выполнение объемов работ по ремонту трубопроводов во многом зависит от надежности применяемых технологических ресурсов. В связи с этим повышение надежности машин и их комплектов является одной из основных задач механизации ремонта магистральных трубопроводов

Одним из резервов повышения надежности использования технологических ресурсов является проведение внеочередного технического обслуживания с целью предупреждения возможного отказа техники.

С учетом вышеизложенного в диссертации разработана методика принятия решения по выбору стратегии эксплуатации комплектов машин, позволяющая минимизировать ожидаемые затраты, связанные с возможными отказами техники

Предлагается рассматривать комплект машин как некоторую динамическую систему с возможными дискретными состояниями  $S_p$ ,

которая в фиксированные последовательные моменты времени  $t_1 < t_2 < \dots < t_1 < \dots < t_n$  случайным образом переходит скачком из одного состояния в другое или остается в прежнем

Состояния комплекта машин определяются количеством возможных отказов машин на рассматриваемом горизонте планирования.

Предположим, что вероятность перехода комплекта машин в любое возможное состояние в момент времени  $t_i$  определяется состоянием, достигнутым в момент времени  $t_{i-1}$ , и не зависит от того, когда и как он перешел в это состояние

Для каждой стратегии определяются вероятности перехода комплекта машин из состояния  $S_p$ , в котором он находился на  $(i-1)$ -ом этапе планирования, в некоторое возможное состояние  $S_\sigma$  на  $i$ -ом этапе при принятии стратегии  $\Theta - p_{p\sigma}(\Theta)$  при условии, что.

$$p_{p\sigma}(\Theta) \geq 0, \sum_{\sigma=1}^g p_{p\sigma}(\Theta) = 1, \quad (3)$$

где  $g$  – количество возможных состояний комплекта машин

В соответствии с переходом комплекта машин из состояния  $S_p$  в состояние  $S_\sigma$  при принятии стратегии  $\Theta$  определяются ожидаемые затраты  $\chi_{p\sigma}(\Theta)$ , связанные с возможными отказами машин в результате этого перехода

При выборе стратегии эксплуатации комплекта машин в качестве критерия оптимальности использована минимизация ожидаемых затрат, связанных с возможными отказами машин

В результате получена зависимость, связывающая ожидаемые затраты  $(i-1)$ -го и  $i$ -го этапов планирования при выборе стратегии эксплуатации

комплектов машин.

$$L_{i-1}(\rho) = \min_{\Theta} \left( \vartheta_{\rho}(\Theta) + \sum_{\sigma=1}^g p_{\rho\sigma}(\Theta) \cdot L_i(\sigma) \right), \rho = \overline{1, g}, \sigma = \overline{1, g}, \quad (4)$$

где  $\vartheta_{\rho}(\Theta)$  – ожидаемые затраты, связанные с переходом комплекта машин из состояния  $S_{\rho}$  в  $S_{\sigma}$  на  $(i-1)$ -ом этапе планирования;  $L_i(\sigma)$  – оптимальные ожидаемые затраты, связанные с переходом комплекта машин из состояния  $S_{\rho}$  в  $S_{\sigma}$  на  $i$ -ом этапе планирования;  $L_{i-1}(\rho)$  – оптимальные ожидаемые затраты, связанные с переходом комплекта машин из состояния  $S_{\rho}$  в  $S_{\sigma}$  на  $(i-1)$ -ом этапе планирования

Значение ожидаемых затрат, связанных с переходом комплекта машин из состояния  $S_{\rho}$  в  $S_{\sigma}$  на  $(i-1)$ -ом этапе планирования предлагается определять по формуле

$$\vartheta_{\rho}(\Theta) = \sum_{\sigma=1}^g p_{\rho\sigma}(\Theta) \cdot \chi_{\rho\sigma}(\Theta). \quad (5)$$

Для определения оптимальных ожидаемых затрат, связанных с переходом комплекта машин из состояния  $S_{\rho}$  в  $S_{\sigma}$  на  $i$ -ом этапе планирования используется следующая формула:

$$L_i(\sigma) = \min_{\Theta} \vartheta_{\rho}(\Theta) \quad (6)$$

В результате выбирается та стратегия, при реализации которой ожидаемые затраты, связанные с возможными отказами машин, минимальны.

В диссертации рассмотрен процесс принятия решения по эксплуатации комплектов машин с учетом следующего набора стратегий: эксплуатация комплектов машин с учетом проведения внеочередного технического обслуживания; эксплуатация комплектов машин без проведения

внеочередного технического обслуживания; эксплуатация комплектов машин с учетом модернизации

Одним из наиболее эффективных способов использования финансовых ресурсов организаций, занятых на ремонте магистральных трубопроводов, является модернизация строительной и ремонтной техники. В рассматриваемом случае под модернизацией техники подразумевается проведение технических мероприятий, направленных на улучшение технико-экономических и эргономических характеристик базовой техники с целью повышения производительности, сокращению эксплуатационных затрат, снижению вредного воздействия на окружающую среду, а также повышению уровня промышленной безопасности при производстве работ по строительству и ремонту магистральных трубопроводов.

В связи с вышеизложенным в работе предложена методика планирования оптимального проведения модернизации машин в условиях однократного распределения средств на базе метода динамического программирования.

Пусть необходимо модернизировать  $m$  машин. По условию задачи известно дискретное значение объемов средств, направляемых на модернизацию машин  $u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_n$ , которое зависит от возможных вариантов модернизации.

Предполагается, что каждому этапу планирования соответствует распределение средств на проведение модернизации определенного количества машин. Например, если номер этапа планирования равен  $i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , то предполагается распределение средств между 1, 2, 3, ...,  $i$ -й машинами, а номер этапа, равный  $m$ , соответствует распределению средств между всеми  $m$  машинами.

Необходимо распределить средства на проведение модернизации машин таким образом, чтобы суммарный доход от эксплуатации техники был максимальным.

С учетом вышеизложенного доход от эксплуатации техники в случае оптимального распределения имеющихся  $u_k$  средств между  $i$  машинами определяется по формуле:

$$G_i(u_k) = \max_{u_1 \leq V_i \leq u_k} (d_i(V_i) + G_{i-1}(u_k - V_i)), \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где  $V_i$  – количество средств, выделенных на модернизацию  $i$ -ой машины;  $d_i(V_i)$  – доход, полученный от эксплуатации  $i$ -ой машины при распределении на ее модернизацию средств в объеме  $V_i$ ;  $G_{i-1}(u_k - V_i)$  оптимальный доход, полученный от распределения в первые по порядку  $(i - 1)$  машин  $(u_k - V_i)$  средств

На первом этапе планирования ( $i = 1$ ) все средства идут только на модернизацию первой машины, тогда доход от эксплуатации техники на данном этапе определяется по формуле.

$$G_1(u_k) = \max_{u_1 \leq V_1 \leq u_k} (d_1(V_1)). \quad (8)$$

На втором этапе планирования ( $i = 2$ ) средства в объеме  $u_k$  распределяются между первой и второй машинами, причем  $V_2$  – количество средств, распределяемое на модернизацию второй машины, а  $(u_k - V_2)$  – количество оставшихся средств, направляемых на модернизацию первой машины. В связи с этим доход от эксплуатации техники на втором этапе планирования определяется по формуле.

$$G_2(u_k) = \max_{u_1 \leq V_2 \leq u_k} (d_2(V_2) + G_1(u_k - V_2)) \quad (9)$$

На последнем этапе планирования ( $i = m$ ) производится оптимальное распределение средств  $u_k$ ,  $k = \overline{1, n}$  между  $m$  машинами.  $V_m$  представляет собой количество средств, направляемых на модернизацию последней  $m$ -ой машины, а остаток средств в объеме  $u_k - V_m$  направляется на модернизацию



первой, второй, ...,  $i$ -ой, ...,  $(m-1)$ -ой машины. В этом случае доход от эксплуатации техники определяется по формуле

$$G_m(u_k) = \max_{u_1 \leq V_m \leq u_k} (d_m(V_m) + G_{m-1}(u_k - V_m)). \quad (10)$$

Принимая во внимание то, что общее количество распределяемых средств равно  $u_n$ , оптимальное распределение средств на модернизацию  $m$ -ой машины определяется как  $V_m(u_n)$ . Далее вычисляется оптимальный объем средств на модернизацию первых  $m-1$  машин:  $u_n - V_m(u_n)$ . Из этого объема определяется оптимальная величина средств, направляемых на модернизацию  $(m-1)$ -ой машины:  $V_{m-1}(u_n - V_m(u_n))$ . Аналогично находятся оптимальные величины средств, направляемых на модернизацию всех оставшихся рассматриваемых машин. В результате разработана методика оптимизации однократного распределения средств на проведение модернизации техники для капитального ремонта ЛЧМТ.

**Четвертая глава** посвящена исследованию процесса обновления парка машин для ремонта магистральных трубопроводов.

По мере развития машиностроения, а также с учетом появления новых технологий ремонта трубопроводов, состав машин и механизмов постоянно меняется качественно и количественно, поэтому, помимо формирования парка машин, существует необходимость в его эффективном обновлении.

Выделяются три основные формы обновления парка машин: замена изношенных машин новыми с теми же техническими параметрами; замена изношенных машин бывшими в употреблении и замена изношенных машин новой, технически более совершенной техникой. Парк машин является базой для формирования технологических потоков, поэтому при пополнении парка машин новой, технически более совершенной техникой возникает задача технологической увязки данной техники с уже имеющейся, что не всегда выполнимо. В этих условиях решением данной задачи является качественное перевооружение всего парка машин, что требует значительных финансовых затрат.

Вплоть до начала 90-х годов прошлого века наиболее эффективной считалась третья форма обновления парка машин. С начала 90-х годов по 2000 год основной проблемой при проведении строительства или ремонта трубопроводов являлось недофинансирование работ. В связи с этим преобладающей стала форма обновления, заключающаяся в восстановлении парка машин путем приобретения машин, бывших в употреблении. В настоящее время используются все три формы обновления парка машин.

С учетом вышеуказанного автором предложена методика принятия решения по выбору формы обновления парка машин на базе метода анализа иерархий. С этой целью автором исследованы основные факторы, влияющие на процесс принятия решения по выбору формы обновления парка машин. В результате в качестве критериев оценки форм обновления парка машин предложено использовать такие факторы, как «удельные эксплуатационные затраты» и «производственная мощность». Декомпозиция задачи выбора формы обновления парка машин представлена на рис. 3.

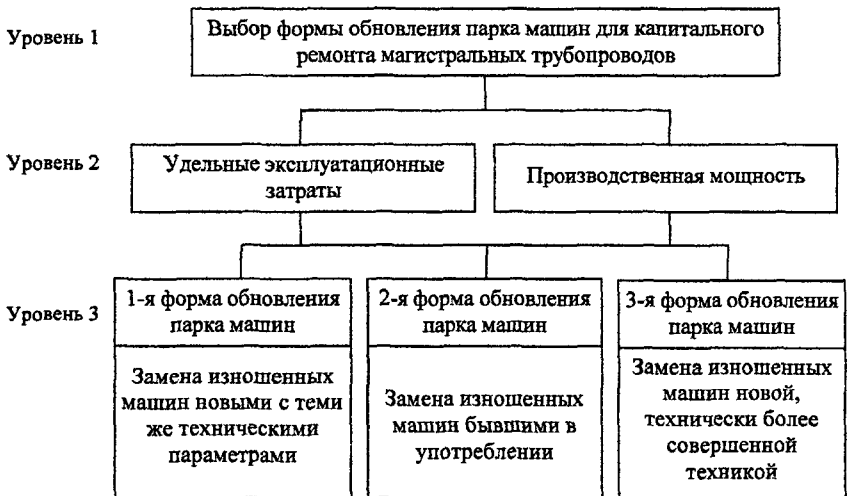


Рис. 3 Декомпозиция задачи выбора формы обновления парка машин для капитального ремонта ЛЧМТ в иерархию.

Современные поточно-скоростные методы ремонта трубопроводов осуществляются с применением комплектов машин, механизмов, оборудования и транспортных средств, взаимосвязанных в технологическом потоке, поэтому расчеты по обновлению парков машин специализированных строительно-монтажных организаций проводятся не по отдельным машинам, а по их комплектам. Учитывая то, что структура и объемы работ по ремонту трубопроводов постоянно и существенно изменяются, не вызывает сомнений необходимость постоянной и систематической корректировки состава парка машин.

На основании вышесказанного предлагается разработка модели обновления комплектов однотипных машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов, учитывающая вывод техники в плановые и внеплановые ремонты, а также ее модернизацию. Схематическое представление модели обновления комплектов однотипных машин для ремонта магистральных трубопроводов представлено на рис. 4.

Математическое ожидание состава комплекта машин на  $i$ -ом этапе планирования определяется по формуле.

$$M[N(i)] = \mu_3(i-1)N(i-1)P(i-1) + [\mu_m(i-2) + \mu_n(i-2)]N(i-2)P(i-2) + \lambda_n(i-2)N(i-2)[1 - P(i-2)] + n(i), \text{ при условии, что } \mu_3(i) + \mu_n(i) + \mu_m(i) = 1 \quad (11)$$

$$\lambda_n(i) + \lambda_c(i) = 1, \quad i = 3, 4, \dots$$

где  $M[N(i)]$  – математическое ожидание числа машин в эксплуатации на  $i$ -ом этапе планирования,  $P(i-1), P(i-2)$  – вероятность безотказной работы произвольной машины комплекта на  $(i-1)$ -ом и  $(i-2)$ -ом этапах планирования соответственно,  $N(i-1), N(i-2)$  – планируемое количество машин в эксплуатации на  $(i-1)$ -ом и  $(i-2)$ -ом этапах планирования соответственно,  $\mu_3(i-1), \mu_3(i)$  – параметр, равный доле машин оставшихся в эксплуатации на  $(i-1)$ -ом и  $i$ -ом этапах планирования соответственно,  $\mu_n(i-2), \mu_n(i)$  – параметр, равный доле машин, направленных в плановый

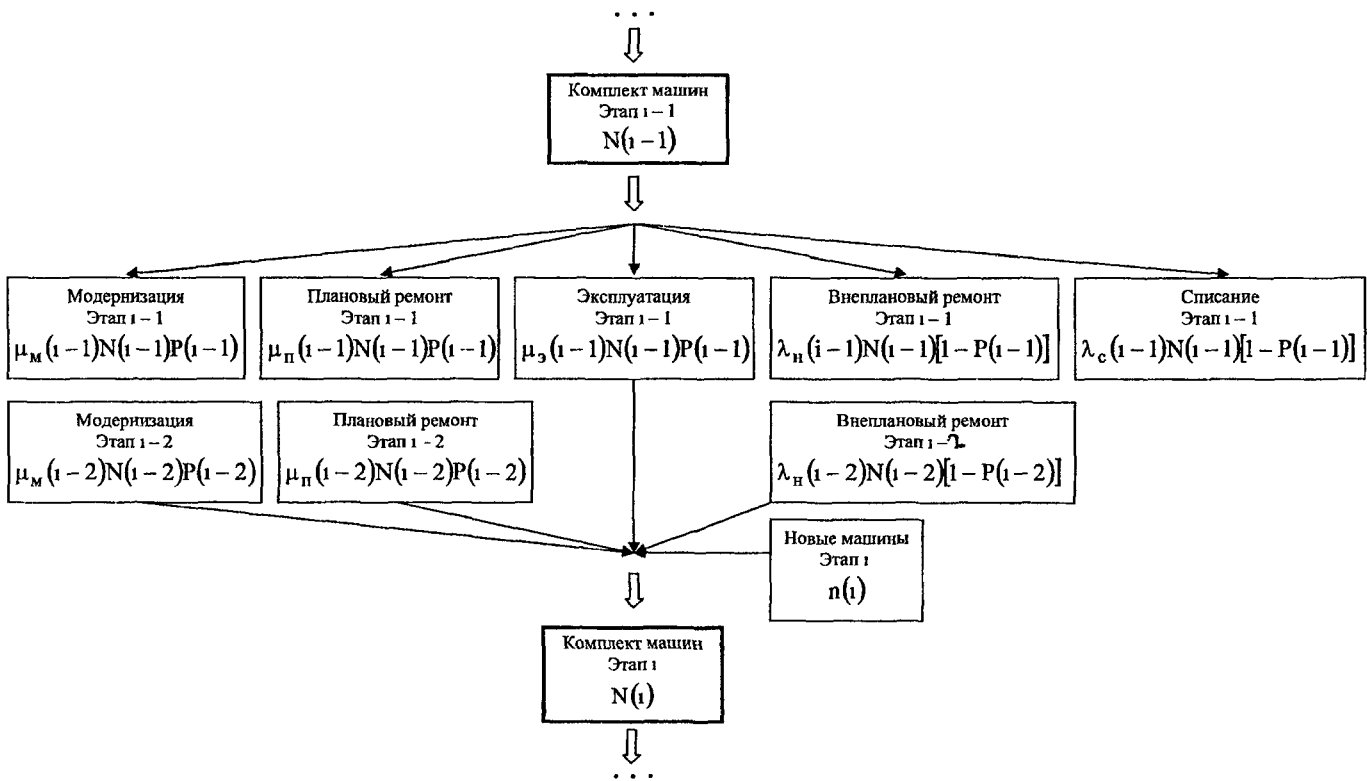


Рис 4 Схематическое представление модели обновления комплекта однотипных машин

ремонт на  $(i-2)$ -ом и  $i$ -ом этапах планирования соответственно;  $\mu_m(i-2)$ ,  $\mu_m(i)$  – параметр, равный доле машин, направленных на модернизацию на  $(i-2)$ -ом и  $i$ -ом этапах планирования соответственно,  $\lambda_n(i-2)$ ,  $\lambda_n(i)$  – параметр, равный доле машин, выведенных во внеплановый ремонт на  $(i-2)$ -ом и  $i$ -ом этапах планирования соответственно;  $\lambda_c(i)$  – параметр, равный доле машин, списанных на  $i$ -ом этапе планирования;  $n(i)$  – количество новых машин в комплекте вводимых в эксплуатацию на  $i$ -ом этапе планирования

При этом предполагается, что к началу первого этапа планирования комплект состоит из новых машин, тогда математическое ожидание количества машин на первом этапе определяется по формуле

$$M[N(1)] = n(1) \quad (12)$$

Математическое ожидание состава комплекта машин к началу второго этапа планирования определяется следующей зависимостью

$$M[N(2)] = \mu_m(1)N(1)P(1) + n(2) \quad (13)$$

На третьем этапе планирования определяется математическое ожидание состава комплекта машин  $M[N(3)]$  с учетом возвращения в эксплуатацию машин, отправленных в плановый и внеплановый ремонты, а также на модернизацию в рамках первого этапа планирования:

$$M[N(3)] = \mu_m(2)N(2)P(2) + [\mu_n(1) + \mu_m(1)]N(1)P(1) + \lambda_n(1)N(1)[1 - P(1)] + n(3) \quad (14)$$

Предположим, что размеры комплекта  $N(i)$  заданы и требуется определить размер пополнения комплекта машин на  $i$ -ом этапе планирования, тогда для нахождения необходимого числа новых машин

достаточно сделать в (11) замену  $M[N(i)] = N(i)$  и решить уравнение относительно  $p(i)$

В результате получаем следующее соотношение:

$$p(i) = N(i) - \mu_3(i-1)N(i-1)P(i-1) - [\mu_m(i-2) + \mu_n(i-2)]N(i-2)P(i-2) - \lambda_n(i-2)N(i-2)[1 - P(i-2)], \quad i=3,4, \quad (15)$$

Таким образом, получаем соотношение, из которого определяется размер пополнения комплекта однотипных машин на  $i$ -ом этапе планирования.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 На основе анализа теоретических исследований в области комплексной механизации ремонта магистральных трубопроводов показана необходимость в разработке комплексных подходов, позволяющих осуществлять выбор и рациональную эксплуатацию технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов и отвечающих современным условиям

2 На базе метода анализа иерархий разработана методика, позволяющая осуществлять выбор технологических ресурсов при формировании технологических потоков для капитального ремонта магистральных трубопроводов. Исследована и определена оптимальная структура иерархии принятия решений, состав групп критериев и самих критериев, входящих в эту иерархию

3 Установлено, что многовариантность использования технологических ресурсов при капитальном ремонте ЛЧМТ является основой формирования множества допустимых вариантов плана их эксплуатации. Разработана методика выбора стратегии эксплуатации комплектов ремонтных машин с учетом их надежности и решена задача минимизации

ожидаемых затрат, связанных с возможными отказами технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов

4. Предложена методика, позволяющая планировать оптимальное проведение модернизации технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов, при этом критерием оптимальности является максимизация возможного дохода от использования технологических ресурсов в случае их модернизации.

5. Обоснованы и проанализированы основные формы обновления парка машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов, а также предложена методика выбора формы обновления машинного парка. Разработана комплексная модель обновления комплектов одновитных машин, позволяющая прогнозировать потребность комплекта в обновлении с учетом надежности технологических ресурсов.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:**

1 Александров С.А., Прусенко Б.Е., Мартынюк В.Ф. и др Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте М. ООО «Анализ опасностей», 2003, 351с.

2. Александров С.А. Системный подход при прогнозировании парка машин предприятий, занятых на строительстве магистральных трубопроводов. Научно-технический сборник РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина «Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт», М.: 2004, №1, с 47-52.

3 Александров С.А., Аванесов В.С., Антипов В.Н., Васильев Г.Г., Владимиров А.И., Кершенбаум В.Я., Мокроусов С.Н. и др Техническое регулирование и промышленная безопасность. Магистральные

трубопроводы – М НП «Национальный институт нефти и газа», 2004, 364с.

4 Александров С.А. Определение остаточного ресурса грузоподъемных машин, занятых на строительстве магистральных трубопроводов Научно-технический сборник РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина «Магистральные и промысловые трубопроводы проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт», М.: 2004, №2, с.22-26

5. Александров С.А., Аванесов В.С., Васильев Г.Г., Владимиров А.И., Кершенбаум В.Я., Мокроусов С.Н. и др. Промышленная безопасность магистрального трубопроводного транспорта – М.: НП «Национальный институт нефти и газа», 2005, 600с.

6 Александров С.А. Планирование оптимального проведения модернизации технологических ресурсов для строительства и ремонта магистральных трубопроводов. Научно-технический сборник РГУ нефти и газа им И.М. Губкина «Магистральные и промысловые трубопроводы проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт», М.: 2005, №4, с.32-36

7 Александров С.А., Короленок А.М. Выбор технологических ресурсов для капитального ремонта магистральных трубопроводов. Научно-технический сборник РГУ нефти и газа им И.М. Губкина «Магистральные и промысловые трубопроводы проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт», М.: 2005, №3, с.44-47

8 Александров С.А. Модель обновления технологических ресурсов для строительства и ремонта магистральных трубопроводов Научно-технический сборник РГУ нефти и газа им И.М. Губкина «Магистральные и промысловые трубопроводы. проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт», М.: 2006, №1, с 12-15.

9 Александров С.А. Выбор формы обновления парка машин для строительства и ремонта магистральных трубопроводов Научно-



технический сборник РГУ нефти и газа им И М Губкина «Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт», М : 2006, №2, с.23-27

10. Александров С А О выборе оптимальной стратегии эксплуатации комплектов машин для капитального ремонта магистральных трубопроводов. // «Нефть, газ и бизнес», 2006, №12, с.82-83.

Напечатано с готового оригинал-макета

Издательство ООО “МАКС Пресс”

Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.

Подписано к печати 20.04.2007 г.

Формат 60x90 1/16 Усл. печ. л. 1,5 Тираж 100 экз. Заказ 209

Тел. 939-3890 Тел./Факс 939-3891

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова,  
2-й учебный корпус, 627 к