

На правах рукописи

АХМАДУЛЛИН КАМИЛЬ РАМАЗАНОВИЧ

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Специальность 25.00.19 - «Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Уфа - 2005

Работа выполнена в ОАО «Уралтранснефтепродукт».

Научный консультант доктор технических наук, профессор
Байков Игорь Равильевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Абузова Фатиха Фиттяховна;

доктор технических наук
Надршин Альберт Сахапович;

доктор технических наук, профессор
Новоселов Владимир Виктрович.

Ведущая организация: ОАО «Уралсибнефтепровод».

Защита диссертации состоится «21» октября 2005 года в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «16» сентября 2005 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ямалиев В.У.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Система магистрального транспорта светлых нефтепродуктов является одной из важнейших бюджетообразующих отраслей промышленности России.

После общего спада промышленного производства середины 90-х годов XX века, когда загруженность магистральных нефтепродуктопроводов (МНПП) составляла около 15-18% от проектной, к 2003 году загрузка возросла до 53,2% и наблюдается постоянный рост этого показателя. Запланированные на 2005 год объемы магистрального транспорта нефтепродуктов составляют 26,8 млн. тонн, из них 16,6 млн. тонн – экспортные поставки.

В перспективе до 2010 года предполагается увеличить объем транспортных услуг до 40,7 млн. тонн, в том числе до 15,8 млн. тонн для внутренних региональных рынков России и до 24,9 млн. тонн для внешних рынков.

Доля МНПП в транспорте нефтепродуктов будет постоянно возрастать. Так, если в 2003 году по нефтепродуктопроводам (НПП) было перекачано около 23% топлива (71% - железнодорожный транспорт), то в дальнейшем планируется довести этот показатель до 35-40%, при общей загрузке магистралей до 62-65%.

С учетом изложенного становится очевидным, что важнейшим условием запланированного развития магистрального транспорта нефтепродуктов и его успешной конкуренции с железнодорожным транспортом является снижение себестоимости перекачки, одной из важнейших составляющих которой являются затраты на энергоресурсы.

Имеются различные пути для снижения энергозатрат (в основном это электроэнергия для привода магистральных насосов), главные из которых следующие:

- 1) снижение гидравлического сопротивления трубопровода путем проведения периодических очисток и/или введение противотурбулентных присадок;
- 2) оптимизация режимов перекачки с применением современных способов регулирования производительности насосов;

- 3) снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях и эксплуатируемом оборудовании;
- 4) перевод энергоснабжения на современные энергосберегающие технологии.

Целью диссертационной работы является снижение энергоемкости магистрального транспорта нефтепродуктов путем разработки методов и средств снижения гидравлического сопротивления трубопроводов, оптимизации режимов перекачки нефтепродуктов и использования энергосберегающего оборудования.

Основные задачи исследований:

1. Решение задачи количественного определения влияния внутритрубных отложений воды, газа, смол, грунта и мусора на гидравлическое сопротивление нефтепродуктопровода и разработка методов оценки текущего гидравлического состояния трубопровода по данным энергообследований объектов МНПП.
2. Разработка методов снижения гидравлического сопротивления трубопровода путем проведения технологических мероприятий с помощью очистных гелевых поршней и разработка оптимального состава гелевых очистных устройств.
3. Разработка технологий промышленного использования полимерных очистных устройств.
4. Разработка теоретических положений и расчетных методов оптимального соответствия фактических характеристик насосных агрегатов гидравлическим характеристикам трубопроводов, а также методов оптимизации схем включения насосных агрегатов.
5. Выбор методов регулирования производительности насосов МНПП и разработка рекомендаций по их использованию.
6. Разработка технологий использования автономного энергоснабжения насосных станций.
7. Оптимизация территориального размещения энергоисточников на производственных площадках ЛПДС с целью сокращения потерь энергии в коммуникациях.

Методы решения задач. При решении поставленных задач использовались основные положения гидродинамики и термодинамики, а также вероятностно-статистические методы, методы теории игр, теории массового обслуживания, методы решения транспортных оптимизационных задач. Для подтверждения выводов и реализации предложенных в диссертационной работе методов и алгоритмов использовалась промышленная диспетчерская информация, базы данных компьютерных измерительно-управляющих систем насосных станций ОАО АК «Транснефтепродукт», а также экспериментальные данные, полученные при энергетических обследованиях 14 линейных производственно-диспетчерских служб (ЛПДС) и другая производственная информация.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Впервые предложены рецептуры и разработаны методы изготовления очистных гелей, позволяющие регулировать продолжительность их существования в зависимости от вида перекачиваемых нефтепродуктов и конструктивных особенностей нефтепродуктопроводов.
2. Впервые предложена и адаптирована методика оценки количества внутритрубных отложений в нефтепродуктопроводах на основе ретроспективного анализа изменения их гидравлических характеристик.
3. Проведен анализ влияния вязкости перекачиваемого нефтепродукта на требуемую мощность магистральных насосов и показано, что энергозатраты на перекачку нефтепродукта одной марки могут различаться на 20%, что приводит к необходимости учета текущей вязкости при принятии решения о проведении очистных мероприятий на МНПП.
4. Разработан метод расчета параметров частотно-регулируемого привода (ЧРП) на насосных станциях НПП, основанный на построении гидравлической характеристики НПП по данным энергоаудитов и фактических расходно-напорных характеристиках насосных агрегатов. Предложена формула для оценки эффективности применения ЧРП в зависимости от рабочих режимов НПП и насосов.
5. На основании теоретических и экспериментальных исследований научно обоснованы критерии выбора энергетических характеристик муфт вязкого

трения и установлено, что регулирование производительности нефтепродуктопроводов при помощи данных устройств во многих случаях является более выгодным, по сравнению с частотно-регулируемым приводом.

6. Разработан новый метод оптимизации режимных параметров магистральных нефтепродуктопроводов при изменяющихся грузопотоках нефтепродуктов по критерию минимальных энергетических затрат на перекачку с учетом ограничений по допустимому давлению и кавитационному запасу. Предложен аналитический метод расчета и регулирования характеристик насосных станций при различных комбинациях насосных агрегатов.

На защиту выносятся результаты научных разработок в области создания энергосберегающих технологий перекачки нефтепродуктов путем уменьшения гидравлического сопротивления трубопроводов, оптимизации рабочих характеристик насосного оборудования с учетом его фактического состояния и использования современных технологий автономного энергообеспечения объектов МНПП.

Практическая значимость и реализация работы

Разработаны и утверждены:

- СО-06-16-КТНП-007-2004 «Инструкция по технологии очистки полости магистральных нефтепродуктопроводов и выбор технических средств очистки»;
- РД 153-39.4-041-99 «Правила технической эксплуатации магистральных нефтепродуктопроводов»;
- РД 153-3904-001-96 «Правила сдачи нефтепродуктов на нефтебазы, АЗС и склады ГСМ по отводам магистральных нефтепродуктопроводов»;
- «Инструкция по применению гелевых очистных устройств на магистральных нефтепродуктопроводах» (Уфа, ИПТЭР, 1992).

Внедрены следующие разработки:

1. Впервые в системе ОАО «АК «Транснефтепродукт» разработана и широко используется технология очистки полости магистральных нефтепродуктопроводов гелевыми очистными системами на поликриамидной основе. По данной технологии выполнена очистка МНПП:

- МНПП «Салават-Уфа» - 174 км;
- МНПП «Уфа-Камбарка», участок 211-256 км 45 км;

- МНПП «Уфа-Петропавловск», участок «Бердяуш-Кропачёво», «Хохлы-Челябинск» - 235 км.

Экономический эффект от использования за 2001-2004гг. – 1 млн. 810 тыс. руб.

Общая протяженность нефте- и продуктопроводов, очищенных гельными системами, разработанными в настоящей работе, составляет более 15 тыс. км.

2. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов Ду 500 мм «Бульдозер». За 2002-2004 гг. очищено 723,7 км, в т.ч. в 2002г.– 273 км; 2003 г.– 208 км; 2004 г. – 242,7 км. Экономический эффект от использования за 2002 – 2004 гг. – 1 млн. 220 тыс. руб.

3. Устройство для очистки внутренней поверхности магистральных трубопроводов и определения проходимости трубопроводов при их подготовке к внутренней диагностике (пионерный поточный снаряд). Акт внедрения – 08.07.03г. Очищено МНПП за 2003-2004 гг. – 927 км, в т.ч. в 2003г. – 411 км; в 2004г. – 516 км. Экономический эффект от использования за 2003-2004гг. – 2 млн. 239 тыс. руб.

5. Очистное устройство Ду 350 мм. Устройство использовалось при очистке 3800 км МНПП.

6. Фильтр-грязеуловитель. Внедрено 7 шт.: ЛПДС Языково, Субханкулово, Тюрино, Георгиевка, Чекмагуш, Андреевка, Кропачево. Экономический эффект от использования - 4 млн. 146 тыс. руб.

7. Приспособление для вырезки отверстий без остановки перекачки.

Данные приспособления имеются и используются на каждой перекачивающей станции ОАО «Уралтранснефтепродукт», всего 18 ед. Экономический эффект за 2004 год – 15 млн. 473 тыс. руб.

8. Технология переиспытания МНПП на нефтепродукте.

Испытано 683,9 км МНПП (МНПП «Уфа-Камбарка», МНПП «Уфа-Петропавловск» участок Бердяуш-Травники, МНПП «Уфа-Аэропорт», МНПП «Уфа-Омск» участок от ЛПДС «Петропавловск» от 916,8 до 1170,9 км). Экономический эффект от использования в 2001-2002 гг. - 22,5 млн. руб.

Предложения и рекомендации по принципам выбора и территориального размещения автономных когенерационных энергоблоков рассматриваются в ОАО «Уралтранснефтепродукт», ОАО «Газпром», ТПП «Когалымнефтегаз».

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на следующих семинарах, научно-технических советах и конгрессах:

- Международном семинаре «Проблемы сбора, подготовки и магистрального транспорта нефти», Уфа, ВНИИСПТнефть, сентябрь 1988 г.;

- Всесоюзных школах-семинарах по проблемам трубопроводного транспорта, Уфа, ВНИИСПТнефть, 1988-1989 гг.;

- научно-технических советах ОАО «Уралтранснефтепродукт», Уфа, май-июнь 1998 г.;

- Конгрессе нефтегазопромышленников России, Уфа, май 1998 г.;

- IV Российском энергетическом форуме «Уралэнерго-2004»;

- II Конгрессе нефтегазопромышленников России, Уфа, ИПТЭР, 2000 г.;

- III Конгрессе нефтегазопромышленников России, Уфа, ИПТЭР, 2001 г.;

- конференции «Перспективы развития трубопроводного транспорта России», Уфа, 2002 г.;

- III Российском энергетическом форуме "Энергосбережение и энергоэффективность", 2003 г.;

- IV Конгрессе нефтегазопромышленников России, Уфа, 2003 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 43 работы, в том числе три монографии, получен один патент на полезную модель и два положительных решения о выдаче патента на полезную модель и изобретение.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов и приложений; изложена на 379 страницах машинописного текста, содержит 38 таблиц, 91 рисунок, библиографический список из 278 наименований и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и основные задачи исследований.

Первая глава посвящена анализу энергоэффективности трубопроводного транспорта нефтепродуктов, а также в ней рассмотрены основные направления сокращения энергоемкости работы МНПП.

Энергоэффективность отрасли определяется следующими основными факторами:

1) затратами энергии на собственные нужды предприятия, которые в свою очередь подразделяются на технологические и вспомогательные;

2) количеством потерь энергоресурсов:

- электрической энергии в трансформаторах и кабельных линиях;
- тепловой энергии в системе теплоснабжения и в котельных;
- потерь нефтепродуктов при транспортировке, перевалке и хранении.

К технологическим энергозатратам относится, прежде всего, электрическая энергия, расходуемая на привод основных и подпорных насосов, которая составляет не менее 70% от общего электропотребления. Этот вид затрат зависит от множества факторов – от объема перекачки, гидравлических характеристик трубопроводов, их технического состояния, давления на входе и выходе магистрали, схемы включения насосных агрегатов и т.д.

К вспомогательным нуждам относятся затраты на привод вспомогательных насосов (масляных, водяных, внутростанционных и пр.), станки ремонтных служб, ЭХЗ, освещение, теплоснабжение, затраты моторного топлива для автотранспорта и спецтехники и пр. Эти затраты напрямую не зависят от объема перекачки и составляют примерно постоянную величину.

Потери энергоресурсов подразделяются на неизбежные, регламентируемые соответствующими государственными и отраслевыми нормами и учитывающие современный технологический уровень отрасли, и сверхнормативные, обусловленные отклонениями режимов работы оборудования от нормы. Причины сверхнормативных потерь могут быть как чисто техническими (авария, дефект), так и организационными (ошибки персонала, нерациональный режим работы оборудования, несоответствующее оборудование и пр.).

В первой части главы приведен обзор работ по исследованию темпов роста энергозатрат на перекачку нефтепродуктов по магистральным нефтепро-

дуктопроводам вследствие образования внутритрубных отложений и скоплений воды и паров нефтепродуктов.

Исследование динамики изменения состояния внутренней поверхности НПП позволяет прогнозировать рост энергозатрат на перекачку, что в свою очередь дает возможность принимать обоснованные решения о сроках назначения технологических мероприятий по очистке НПП от внутритрубных отложений.

Увеличение скорости перекачки является самым простым и дешевым способом борьбы со скоплениями и отложениями различного рода. Исследованиями в этом направлении посвящены работы Чарного А.И., Дизенко Е.И., Новоселова В.Ф., Тугунова П.И. и других авторов. Однако подобные методы применимы далеко не во всех случаях. Это связано с двумя основными факторами – высокой степенью существующего износа трубопроводов и, как следствие, снижения допустимого давления в них, и ограниченностью запасов нефтепродуктов в промежуточных резервуарных емкостях насосных станций. Многолетние отложения механических примесей и продуктов коррозии стенок труб представляют собой прочный конгломерат, адгезионно связанный с внутренней поверхностью НПП. В большинстве случаев снять их, увеличивая скорость потока, невозможно. Единственным средством борьбы с подобными отложениями остаются специальные средства очистки внутренней полости нефтепродуктопроводов.

В работах Мирзаджанзаде А.Х., Панахова Г.М., Шаммазова А.М. показано, что гелевые системы являются наиболее перспективными видами очистки для изношенных НПП. Поэтому сделан вывод об актуальности создания гелевых систем повышенной износостойкости, объединяющих достоинства как механических, так и полимерных гелей, применение которых не требует использования специального оборудования и модернизации имеющихся узлов приема-запуска разделителей. Первостепенное значение также имеет разработка технологий промышленного применения гелевых разделителей с учетом конкретных условий – степени загрязненности трубопровода и его износа, наличия и характера местных сужений диаметра, длины очищаемого участка, вида перекачиваемого продукта и т.д.

Вторым, не менее важным направлением снижения энергоемкости работы магистральных нефтепродуктопроводов является оптимизация режимов работы насосного оборудования, которое потребляет до 85% электрической энергии, затрачиваемой на насосных станциях.

Экономичность работы насосного оборудования определяется динамикой изменения их КПД в процессе эксплуатации. В связи с этим при эксплуатации необходимо осуществлять мониторинг фактических напорных и энергетических характеристик насосов и разрабатывать мероприятия по их улучшению.

Основными причинами снижения КПД магистральных насосов по сравнению с паспортными являются:

- причины, связанные с отклонениями в размерах машины при ее изготовлении;
- увеличение объемных потерь в щелевых уплотнениях из-за увеличения зазоров в уплотнительных кольцах сверх нормативных;
- увеличение уровня вибрации насосов в результате их некачественной сборки и монтажа, развивающихся дефектов и кавитации в насосе;
- изменение диаметра рабочего колеса путем обточки, отклонение его фактических размеров от проектных, погрешности при его монтаже;
- влияние флуктуации вязкости перекачиваемой среды;
- содержание свободного газа в перекачиваемой жидкости;
- недостаточный подпор для первого по потоку насосного агрегата;
- работа насосов на нестационарных режимах, зависимость работы насоса от его положения по потоку, влияние схемы подвода жидкости к насосу и другие причины.

В сумме снижение КПД насосных агрегатов по этим причинам достигает 3,0...4,0 %.

Значительно больший резерв энергосбережения заложен в оптимизации режимов работы динамической системы «насос-трубопровод».

Существующая система магистрального транспорта нефтепродуктов создавалась в 70-х годах XX века и проектировалась под имеющиеся в то время потребности страны. Начало перестройки хозяйственных механизмов в России в 90-х годах привело к многократному снижению объемов перекачки. В этот

период практически не проводились работы по строительству новых и реконструкции старых трубопроводов и их профилактике. В настоящее время износ трубопроводов ОАО АК «Транснефтепродукт» составляет около 70%, что вынуждает снижать рабочее давление и производительность НПП. Поэтому, несмотря на тенденцию к увеличению объемов транспорта нефтепродуктов, режимы перекачки в настоящее время не соответствуют проектным. Это находит выражение в том, что используются энергетически невыгодные методы снижения давления – дросселирование, обточка рабочих колес, уменьшение количества рабочих колес и пр.

По выводам многих авторов, подобные методы регулирования приводят к перерасходу до 21% электрической энергии.

Регулирование должно обеспечить улучшение экономических показателей эксплуатации МНПП. Вопросам повышения энергоэффективности насосных агрегатов посвящены работы Колпакова Л.Г., Шаммазова А.М., Гумерова А.Г., Байкова И.Р., Бажайкина С.Г., Кутукова С.Е. и других исследователей.

Методы регулирования режимов работы НПП можно разделить на два вида:

- регулирование изменением характеристики сети;
- регулирование изменением характеристики насосной станции.

Регулирование изменением характеристики сети может осуществляться одним из следующих методов:

- дросселированием потока в напорной линии;
- лупингованием;
- перепуском части потока из напорного коллектора во всасывающий;
- дросселированием на входе в насосную станцию;
- отключением промежуточной насосной станции;
- очисткой линейной части МНПП для уменьшения их гидравлического сопротивления.

К методам регулирования характеристики насосной станции относятся:

- изменение числа работающих насосов или переключение насосов с разными напорными характеристиками;

- замена насосов в процессе наращивания или сокращения мощности трубопровода;
- применение в насосах сменных рабочих колес;
- обточка рабочих колес насосов по наружному диаметру;
- регулирование изменением частоты вращения насоса при использовании двигателей внутреннего сгорания, газотурбинного привода, регулируемого электропривода или регулируемых передач.

В последние годы созданы электронные устройства для регулировки производительности насосов путем изменения частоты вращения вала приводного двигателя. Частотно-регулируемый электропривод обеспечивает:

- плавный пуск;
- длительную работу в заданном диапазоне изменения скорости и нагрузки;
- реверсирование, торможение и остановку;
- защиту электрического и механического оборудования от аварийных режимов.

ЧРП является не только устройством экономичного преобразования электрической энергии в механическую, но и эффективным средством управления технологическим процессом, в том числе в замкнутых системах автоматического управления в составе различных АСУ ТП.

Эффективность применения частотно-регулируемых электроприводов обусловлена:

- высокими энергетическими показателями;
- возможностью регулирования частоты вращения нескольких насосных агрегатов избирательно, методом коммутации от одного комплекта ЧРП;
- гибкой настройкой программными средствами параметров и режимов работы электропривода;
- развитым интерфейсом и совместимостью с различными системами управления и автоматизации, в том числе высокого уровня;
- простотой и удобством управления и обслуживания в эксплуатации;
- высоким качеством статических и динамических характеристик, обеспечивающих высокую производительность управляемых машин.

Стоимость ЧРП большой мощности довольно высока, и поэтому во многих случаях оказывается более выгодным применение более простых механических устройств плавного регулирования, таких как муфты скольжения. По принципу работы муфты могут быть различными – гидравлическими, электромагнитными, сухого или мокрого трения и пр.

В настоящее время существует достаточно много надежных устройств плавного регулирования производительности насосных агрегатов. Но тем не менее актуальным является вопрос об оптимальном регулировании, т.е. создании такого режима работы системы «насос-трубопровод», при котором обеспечиваются плановые показатели производства и в то же время энергоемкость процесса перекачки минимальна. При этом обязательным условием является также сохранение условий надежности трубопровода, а также возможность учета временной динамики изменения гидравлического сопротивления трубопровода при образовании отложений, переключении запорной арматуры и отводов, при проведении профилактических работ по очистке и внутритрубной диагностике.

В заключительной части первой главы рассмотрены методы сокращения потерь энергетических ресурсов.

Во многих работах показано, что потери энергоресурсов при перекачке нефтепродуктов могут быть значительно уменьшены путем проведения оптимизационных мероприятий по размещению энергообъектов (котельных, тепловых пунктов, трансформаторных подстанций и пр.) и трассировки коммуникационных линий (теплопроводы, кабельные и воздушные линии). В этом же направлении проводятся работы по исследованию рациональности перехода предприятий на частичное или полное автономное энергообеспечение, что особенно актуально в связи с резким повышением тарифов на энергоресурсы.

В заключении первой главы проведено обобщение данных литературных источников и сформулирована постановка задач диссертационной работы.

Во второй главе диссертационной работы приведены результаты исследования структуры затрат и потерь энергоресурсов при магистральном транспорте нефтепродуктов и описание разработки общих методов определения энергетической эффективности МНПП.

На основании проведенного нами инструментального энергоаудита более десяти насосных станций и линейной части МНПП установлено, что основ-

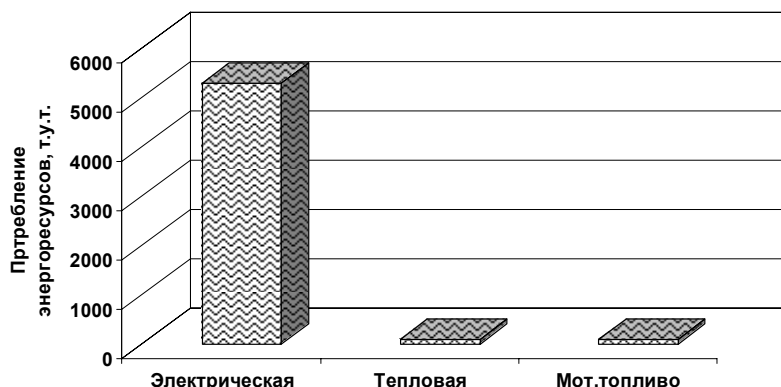


Рис.1. Структура энергетических затрат (в среднем по одной типовой ЛПДС)

ным энергоресурсом, определяющим как энергетические, так и финансовые затраты, является электрическая энергия (рис.1). Поэтому основной ресурс энергосбережения заключен именно в создании и реализа-

ции мероприятий по снижению расхода электрической энергии.

Дальнейшие исследования показали, что потребление электроэнергии по направлениям использования распределяется в среднем в следующем соотношении: основные и подпорные насосы – 85%, вспомогательное оборудование (масляные и водяные насосы, оборудование котельных, станочный парк, вентиляция, привод задвижек) – 11%, ЭХЗ – 2%, прочее (бытовая техника, оргтехника, освещение) - 2%.

Таким образом, очевидно, что наиболее актуальной проблемой энергосбережения в системе МНПП является снижение потребления электрической энергии на привод технологических насосов.

Во втором разделе главы рассмотрена одна из важнейших составляющих энергозатрат на перекачку – затраты энергии на преодоление гидравлического сопротивления трубопровода и рассмотрены пути их снижения.

В отраслевом стандарте ОАО АК «Транснефтепродукт» указано, что проведение очистных мероприятий на МНПП должно проводиться при увеличении удельных энергозатрат на 2%, однако не уточнено, каким образом определяется эта величина. Между тем это представляется наиболее важным, поскольку режим течения жидкости практически во всех МНПП соответствует переходной области, а это означает, что влияние на энергозатраты состояния внутренней поверхности трубы и вязкости примерно одинаково. Если процесс

образования отложений является сравнительно медленным, то коэффициент вязкости изменяется постоянно – при изменении марки перекачиваемого продукта или изменении его температуры.

Тем не менее вязкость продукта не входит в число регистрируемых параметров перекачки. В ГОСТах регламентируются весьма широкие пределы допустимой вязкости, например для дизельного топлива Л-0,2-40, согласно ГОСТ 305-82, вязкость при 20°С должна находиться в пределах $3...6 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Кроме того, температура перекачиваемого продукта также меняется в достаточно широких пределах – в среднем от 5 до 25°С. С учетом этого, вязкость даже одной и той же марки топлива может изменяться от $2,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с до $8,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с, т.е. более, чем в 3 раза.

Из этого следует, что при определении удельных энергозатрат на перекачку необходимо учитывать влияние фактической вязкости нефтепродукта.

Учет вязкости и влияния величины эффективной шероховатости трубопровода на требуемую для перекачки мощность электропривода проводилось по соотношению

$$N = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \left[0,11 \cdot \left(\frac{k_s}{D} + \frac{68\pi \cdot D \cdot \nu}{4Q} \right)^{0,25} \cdot \frac{L}{Q} \cdot \left(\frac{4Q}{\pi \cdot D^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} \right] + Q \cdot \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) , \quad (1)$$

где N – затрачиваемая на перекачку мощность, Вт;

Q – мгновенная объемная производительность НПП, м³/с;

D – диаметр трубы, м;

L – длина участка НПП, м;

$z_1 - z_2$ – перепад высот на концах участка, м;

ν – коэффициент кинематической вязкости нефтепродукта, м²/с;

k_s – эффективная шероховатость внутренней поверхности трубопровода, м.

Энергетические обследования целого ряда МНПП позволили определить эмпирическую величину коэффициента k_s для «чистого» трубопровода и по его изменению в процессе эксплуатации НПП контролировать нарастание объемов внутритрубных отложений. Анализ соотношения (1) показывает, что при опре-

делении удельных энергозатрат на перекачку необходимо учитывать фактическую вязкость нефтепродукта, в противном случае ошибка определения потребляемой мощности может достигать 20% (рис.2).

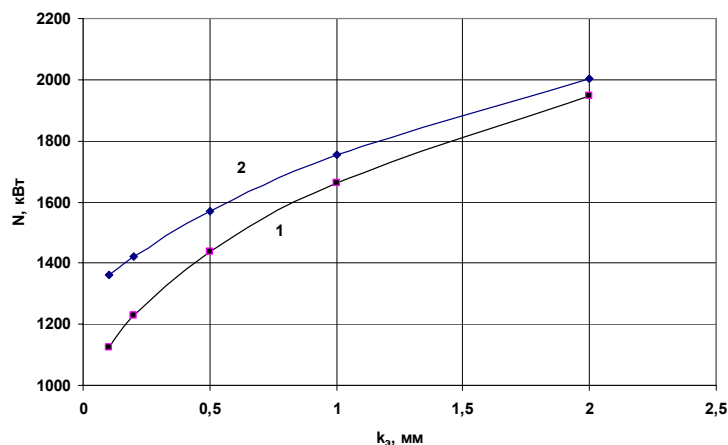


Рис.2. Зависимости требуемой мощности на перекачку от состояния трубы и вязкости дизтоплива марки Л-0,2-40: 1- $\nu=3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, 2 - $\nu=8,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Гидравлическое сопротивление трубопровода зависит от множества факторов – вязкости перекачиваемой жидкости и режима течения, состояния внутренней поверхности трубы и наличия инородных скоплений. Условно можно разделить составляющие гид-

равлического сопротивления на постоянные во времени, зависящие только от начальных геометрических параметров трубопровода и физико-химических свойств перекачиваемой среды, и изменяющиеся во времени, к которым относится сопротивление, вносимое возрастающей шероховатостью стенок при коррозии и образованием отложений различной природы. Количественно переменную часть гидросопротивления можно описать с помощью введения понятия эффективного диаметра $D_{\text{эф}}(t)$, изменяющегося во времени.

В начале раздела решается задача изменения эффективного диаметра НПП в процессе роста внутритрубных отложений. Этот процесс естественным образом сопровождается увеличением гидравлического сопротивления трубопровода, что приводит к росту крутизны гидравлической характеристики НПП и смещению рабочей точки.

В работе на основании составления балансов расходов и давлений для НПП в различные периоды эксплуатации (до и после очистки) решается обратная задача определения текущего «эффективного» диаметра трубопровода. Под «эффективным» понимается расчетный диаметр НПП, соответствующий измеряемым расходам и перепадам давления, полученный на основе решения обратной задачи Дарси-Вейсбаха, в предположении изотермических условий перекачки (принимается, что вязкость нефтепродукта измеряема).

Такой подход позволяет одновременно с оценкой текущего гидравлического состояния НПП оценивать и количество имеющихся в нем отложений. Основой подобных расчетов служат известная длина трубопровода и изменение расчетного диаметра по сравнению с тем же параметром, вычисляемым непосредственно после проведения очистки НПП.

В работе приводятся реальные примеры расчетов изменения диаметра продуктопроводов и оценки количества отложений для НПП «Салават-Уфа» накануне очистки.

При обработке данных промышленной эксплуатации НПП за какой-либо отрезок времени предполагается, что его гидравлические характеристики в этот промежуток стационарны. Между тем рост объема внутритрубных отложений, как и образование скоплений воды и газов, представляет собой непрерывный процесс. Поэтому дискретизация диспетчерских данных по временным промежуткам существенно увеличивает ошибку решения обратной задачи определения величины коэффициента гидравлического сопротивления (КГС).

В третьем разделе главы рассматривается решение задачи построения гидравлической характеристики НПП, зависящей от времени его эксплуатации. Для этого предлагается использовать метод асимптотических координат, который позволяет описывать сложную функцию нескольких вещественных переменных набором плоских кривых. Кроме того, этот метод позволяет проводить количественный анализ изменения параметра λ во времени. Результаты обработки данных диспетчерской информации целого ряда НПП на основе метода асимптотических координат позволили получить качественные и количественные характеристики изменения КГС НПП после очистки.

На основании проведенных исследований рассматривается задача определения оптимальной периодичности проведения очистных мероприятий, основанная на минимизации общих приведенных энергозатрат на транспорт нефтепродуктов по НПП и на его очистку. Для этого в работе обобщался многочисленный статистический материал по изменению энергозатрат на транспорт нефтепродуктов по продуктопроводам ОАО «Уралтранснефтепродукт», что позволило построить функционал, связывающий изменение себестоимости транспорта нефтепродуктов в зависимости от степени загрязненности внутренней

полости НПП и экономию денежных средств при перекачке нефтепродуктов по очищенному трубопроводу. Минимизация этого функционала позволяет рассчитывать оптимальное время проведения технологических операций по очистке НПП с учетом стоимости самих операций. Рассмотрены конкретные примеры определения периодичности очисток для НПП ОАО «Уралтранснефтепродукт».

Энергоэффективность МНПП зависит не только от состояния линейной части трубопровода, но и от режима и технического состояния основного энергоемкого оборудования перекачивающих станций – насосных агрегатов.

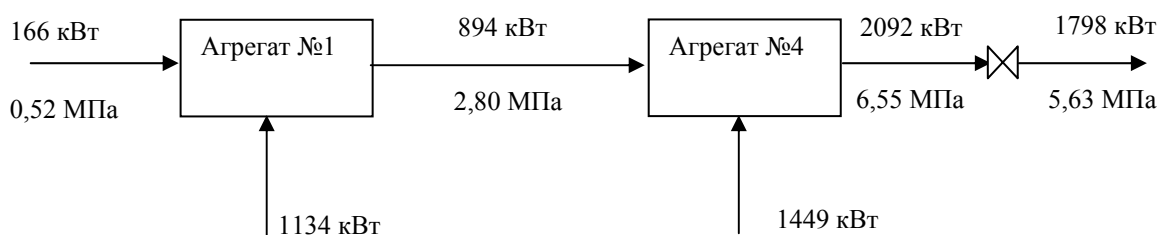


Рис.3. Пример распределения потоков мощности НПС «Субханкулово» на момент измерений. Горизонтальное направление – гидравлическая мощность потока перекачиваемой среды, вертикальное – электроэнергия на приводные двигатели (по данным энергоаудита)

Для определения фактического значения КПД насосных агрегатов была разработана методика экспериментального измерения основных параметров работы насосов с использованием современного микропроцессорного оборудования – ультразвуковых расходомеров жидкости «Panametrics» и измерителей параметров электрической энергии AR-5. Проведенные по данным методикам эксперименты показали, что фактические энергетические показатели магистральных насосов ниже паспортных на 10...15% (рис.3). Рассмотрены основные причины снижения КПД системы «двигатель – насос».

Третья глава диссертационной работы посвящена вопросам создания универсальных очистных устройств, предназначенных для очистки нефтепродуктопроводов переменного сечения и сложного профиля, включая МНПП с подкладными кольцами.

На основании проведенного ранее обзора работ в области анализа методов удаления водяных и газовых скоплений из внутренней полости трубопроводов,

сделан вывод о том, что наиболее приемлемым методом очистки современных НПП является метод, основанный на использовании углеводородных и водорастворимых полимеров.

Гели, изготовленные на основе этих полимеров, в высокой степени инертны и обладают свойствами вязкоупругих тел.

В первой части главы рассматриваются вопросы проведения инженерного эксперимента по выбору оптимальной рецептуры изготовления очистных гелевых поршней (ОГП).

Предварительные эксперименты с ОГП позволили нам выделить значащие факторы, регулирование которых проводилось в дробном факторном эксперименте. К ним были отнесены содержание полимера, количество сшивающего реагента, содержание ионов водорода, относительная длина ОГП, объем растворителя.

В результате проведенных исследований были разработаны оптимальные рецептуры ОГП, основанные на применении как водорастворимых, так и углеводородных полимеров. Было установлено, что для очистки внутренних полостей нефтепродуктопроводов наилучшее качество очистки (степень эффективности до 99%) наблюдается при использовании водных растворов полиакриламида, сшитых либо водным раствором формальдегида, либо хромовой смесью, и растворов синтетических каучуков в соответствующих нефтепродуктах и нефтях.

Во втором разделе главы приводятся исследования динамических и реологических характеристик гелевых систем. Показано, что в зависимости от рецептуры и метода изготовления ОГП они могут в той или иной мере обладать свойствами пластичности и псевдопластичности, вязкоупругости, когезии и эластичности, что позволяет использовать эти системы в самом широком диапазоне изменения технологических условий эксплуатации НПП.

Исследование прочностных и реологических свойств гелевых систем потребовало создания комплекса специального оборудования, позволяющего количественно оценивать напряжение сдвига, критические деформации, модуль упругости, время релаксации и другие характеристики гелевых пробок. Измерения этих количественных показателей производились на специально адапти-

рованном торсионном крутильном маятнике, эласторелаксметре и капиллярном вискозиметре постоянного давления.

В результате проведения многочисленных экспериментов было установлено, что вне зависимости от вида полимера величина модуля упругости ОГП пропорциональна количеству сшивок в растворе. Исследования гельных систем, изготовленных на основе углеводородных полимеров, показали, что, если в качестве растворителя использовать нефть вместо нефтепродуктов, это приводит к снижению упругих свойств ОГП и способствует возникновению необратимых деформаций тела разделителя.

Опытно-промышленные эксперименты показали, что при изготовлении ОГП из углеводородных полимеров непосредственно в камерах приема-запуска разделителей во многих случаях происходит прилипание ОГП к стенкам камеры. Для ликвидации этого недостатка в работе предложено использование наполнителей на основе битума. Эксперименты с этими наполнителями показали, что их применение позволяет резко уменьшить прилипаемость и одновременно приводит к увеличению модуля упругости гельной пробки.

В работе показано, что оптимальной является добавка 15% битума (по массе). Дальнейшее увеличение количества наполнителя снижает качество гельной очистной системы.

Реологические характеристики ОГП, изготовленных на основе водных растворов полиакриламида ПАА, исследовались с помощью ротационного вискозиметра. При этом содержание ПАА варьировалось в интервале 0.5...12%, содержание сшивающих реагентов изменялось в диапазоне 1...20%.

Анализ реологических исследований показал, что растворы ПАА проявляют ньютоновские свойства только до концентрации 1% и менее. При содержании ПАА свыше 2% гели начинают вести себя как вязкоупругие тела.

Далее представлены результаты изучения влияния температурных условий и вида сшивающих реагентов на прочностные и реологические свойства гелей. В частности, установлено, что повышение температуры до 50 °С позволяет ускорить процесс созревания гелей в 8..9 раз.

В разделе 3.2 делаются выводы о возможности использования гелевых систем, способных выдерживать деформации до 2000% в качестве инструмента для очистки внутренней полости нефтепродуктопроводов.

В заключительном разделе главы рассматриваются результаты экспериментального изучения изменения прочностных свойств ОГП в зависимости от условий их использования.

Наиболее важными эксплуатационными показателями гелей, находящихся в достаточно длительном контакте с нефтепродуктами, являются когезионная прочность и способность к обратимым деформациям. Исследования этих характеристик проводились для всех разработанных гелей после хранения их в среде автомобильных и авиационных бензинов, дизельных топлив, нефти. Методика проведения экспериментов заключалась в том, что различные ОГП в виде стандартных и геометрически идентичных образцов погружались в различные виды нефтепродуктов и хранились там в течение различных характерных периодов времени при температуре, соответствующей среднегодовой температуре перекачки по НПП ОАО «Уралтранснефтепродукт». На следующем этапе полимерные образцы подвергались испытаниям на унифицированной разрывной машине и косистомере Геплера.

В результате проведения экспериментов с ОГП, изготовленными на основе ПАА, было доказано, что увеличение концентраций ПАА и сшивающего реагента (до определенных пределов) приводит к увеличению продолжительности существования гелевой системы.

Проведенные исследования показали, что, регулируя условия изготовления и рецептуру гелей, изготовленных на основе ПАА, можно варьировать продолжительность существования ОГП, а это при необходимости позволяет производить направленное саморазрушение гелевой системы внутри НПП. Продукты распада инертны, не обладают механической прочностью, способны в случае необходимости проходить через лопатки рабочих колес центробежных насосов без ущерба их безопасности. Эти же свойства ОГП позволяют легко утилизировать остатки ОГП, принятых в резервуары-отстойники в конце перегонов очистки.

В заключительной части третьего раздела представлены результаты аналогичных исследований, проведенных с очистными системами на основе углеводородных гелей.

Экспериментальные исследования разрушения органогелей в различных средах показали, что они наиболее работоспособны в водной среде, где набухаемость минимальна. В контакте с нефтепродуктами эти системы значительно менее устойчивы. При набухании на 100...150% (за 1...40 часов) образцы гелей полностью теряли свою прочность и упругие свойства, разрушаясь в процессе очистки трубопроводов опытного стенда.

В конце главы делаются выводы и даются рекомендации по выбору вида и типов ОГП применительно к конкретным условиям эксплуатации НПП и продолжительности очистки.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена вопросам разработки промышленных технологий очистки реальных НПП.

В первом разделе главы рассматриваются результаты испытаний ОГП при очистке профильных участков специально созданного опытно-промышленного стенда общей протяженностью около 5 км трубопроводов различного диаметра, углов поворота и крутизны участков трассы проложения. В качестве рабочих сред были использованы моторное топливо, вода, нефть. Скорости перекачки при этом варьировались в диапазоне от 0,2...2,8 м/с при изменении параметра Рейнольдса от 2000...280000. Конструкция стенда была подобрана, исходя из анализа критериев подобия основных характеристик опытного стенда аналогичным параметрам действующих НПП.

Эксперименты проводились по следующей схеме. В очищенные трубопроводы стенда закачивался один из видов нефти или нефтепродуктов. Перед этим в профильных участках размещались механические отложения различной природы. Затем в камере приема-запуска подготавливался гель, который сшивался там в течение определенного промежутка времени. По окончании созревания ОГП он вытеснялся в трубопровод и производил очистку его внутренней полости. Скопления воды и газов и снятые с поверхности внутритрубные отложения вытеснялись в резервуар-отстойник, где происходила количественная оценка объемов вытесненных отложений.

Анализ результатов экспериментов показал, что при прочих равных условиях с увеличением вязкости вытесняемой среды растет эффективная скорость движения вытесняемой гелевой композиции. Наилучшие результаты наблюдались в диапазоне изменения числа Рейнольдса от 40000 до 50000. Коэффициент вытеснения при этом был близок к единице. Эксперименты с несшитыми гелями показали, что в общем случае эффективность очистки трубопроводов с адгезионно связанными отложениями с их помощью невысока. ОГП в этом случае двигаются как псевдопластичные жидкости, и отложения, в лучшем случае, прилипают к поверхности геля, увеличивая его объем. Сделан вывод о том, что эти гели эффективны в качестве буферных разделителей при последовательной перекачке.

Сравнение вытесняющих и очистных свойств сшитых гелей показало, что подобные ОГП, являясь ярко выраженными вязкоупругими системами, двигаются в поршневом режиме и обеспечивают не только высокоэффективное удаление жидкости, но и пробковое вытеснение внутритрубных отложений.

Во втором разделе третьей главы приводятся результаты адаптации лабораторных исследований к промышленным условиям использования гелевых поршней.

В качестве первого примера рассмотрен опыт очистки участка нефтепровода «Александровское-Анджери-Судженск» общей протяженностью 400 км. Диаметр основной магистрали 1220 мм, процент уменьшения проходного сечения 20%. В качестве ОГП использовался раствор на основе ПАА с добавками структурообразователя. Гель изготавливался в полевых условиях в передвижном реакторе. Сшивка полимерного раствора не производилась. После созревания геля и добавки структурообразователя его вязкость составляла 20000 сПз. Перед началом очистки была проведена контрольная перекачка нефти с целью определения гидравлического сопротивления трубопровода.

По окончании этих испытаний был осуществлен пуск ОГП через камеру запуска скребков. В период прохождения гелевой пробки по трубопроводу был зафиксирован некоторый подъем давления по трассе трубопровода.

После завершения очистки перегона была проведена вторая контрольная перекачка нефти, которая позволила определить эффективность очистки. Ана-

лиз изменения экспериментально измеренных энергозатрат на перекачку единицы массового количества перекачанной нефти показал, что затраты электроэнергии на перекачку уменьшились после очистки почти на 5%.

В качестве второго примера использования разработанной в диссертации рецептуры и технологии изготовления очистных гелей рассматриваются результаты очистки технологических трубопроводов насосной станции «Парабель» общей длиной 1,3 км. Максимальное уменьшение проходного сечения составляло 50%. В связи со сложной конфигурацией трубопроводов насосной станции использовался гельный поршень повышенной проходимости, изготовленный на основе слабосшитого водорастворимого полимера. Концентрация воды в гелевой системе составляла 98,2%.

ОГП изготавливался на концевом участке технологического трубопровода, расположенного между двумя задвижками. Перед началом испытаний была проведена контрольная перекачка нефти с известными физико-химическими характеристиками. Повторная перекачка производилась после окончания процесса вытеснения геля в резервуар-отстойник. Обработка полученных экспериментальных данных показала, что энергозатраты на перекачку упали на 5,6%, а в резервуары было принято 100 м³ механических примесей и 30 м³ воды (13% от общего объема очищенных трубопроводов). В заключительном разделе рассматривается технология очистки старых нефтепродуктопроводов большой протяженности с резервными нитками и большим количеством местных сопротивлений.

Апробация этой технологии производилась на НПП «Салават-Уфа» диаметром 500 мм и протяженностью 174 км накануне его капитального ремонта, потребовавшего провести предварительную очистку внутренней полости, вытеснить нефтепродукт и заполнить НПП водой. Вытеснение механических отложений и водяных скоплений производилось в резервуары-отстойники ЛПДС «Черкассы». В результате очистки было вытеснено 126 т грязи и разнообразных механических отложений (в пересчете на сухой вес) и 580 м³ воды.

В конце главы излагается разработанный нами технологический процесс очистки действующих МНПП гелевыми очистными устройствами. Использование гелевых поршней возможно в двух вариантах: путем запасовки поршня че-

рез камеру пуска-приема очистных устройств (рис.4а,б) и его вводом непосредственно в нефтепродуктопровод через вантуз (рис.5).

Гелевая композиция изготавливается из следующих компонентов:

- гелеобразователь – 10 %;
- вода (подкисленная до рН = 2,0) – 80 %;
- сшиватель – 10 %.

Приготовление гелевой композиции производится в следующем порядке:

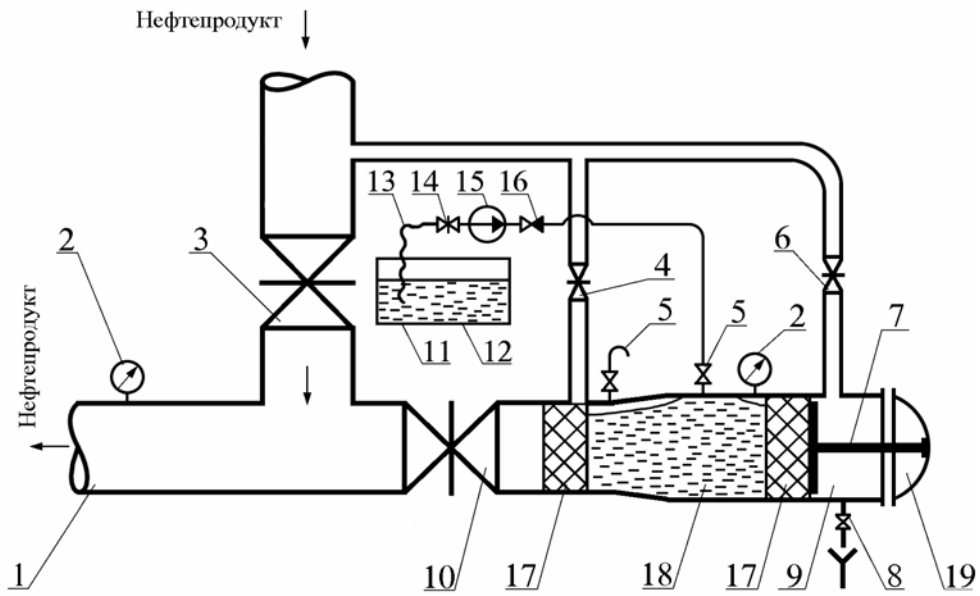
- гель изготавливается порционно, партиями по 100 кг;
- в приготовленный раствор засыпается 10 кг гелеобразователя при непрерывном перемешивании (в течение 2...3 мин) при помощи электродрели (мощностью 3-4 кВт) с миксерной насадкой;
- в емкость погружается приемный рукав шестеренчатого насоса и гелевая композиция перекачивается в место формирования ОГП.

В работе излагается технология ввода гелевой очистной системы в НПП, контроля за прохождением ОГП по трассе НПП и приема ОГП на конечном пункте. Разработана технология отбора проб нефтепродукта при прохождении ОГП, методы его приема и оценки ее массы или объема.

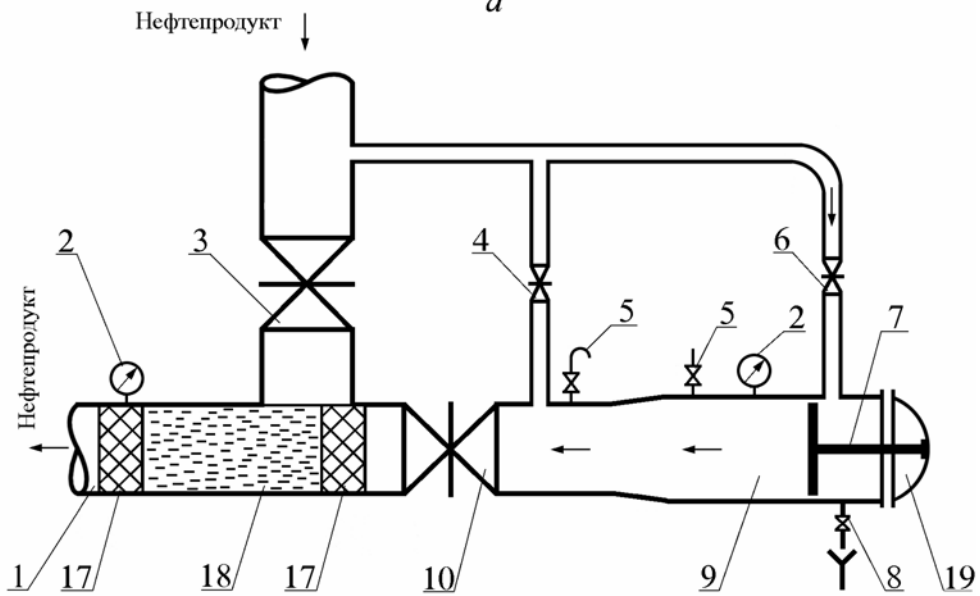
Пятая глава посвящена вопросам разработки теоретических положений ресурсосбережения путем оптимизации рабочих характеристик оборудования МНПП.

Нефтепродуктопровод представляет собой единую систему, все элементы которой должны работать согласованно. Лишь в этом случае возможно достичь эффективной работы НПП как с точки зрения достижения максимальной производительности, так и снижения энергозатрат на перекачку.

В настоящее время в России наблюдается постоянный рост объемов перекачки нефтепродуктов. В то же время, ресурс многих трубопроводов исчерпан, что вызывает необходимость снижения рабочего давления. Поэтому актуальной является задача определения таких режимов, при которых достигается максимальная производительность НПП с учетом степени его изношенности. Не менее важно обеспечение энергоэффективных режимов перекачки.



a



б

Рис.4а,б. Схема формирования и запуска ОГП через камеру пуска-приема ОУ:
 1 – нефтепродуктопровод; 2 – манометр; 3 – задвижка на выходе перекачивающей станции; 4, 6 – байпасные задвижки камеры пуска-приема; 5 – вантуз; 7 - упор-ограничитель; 8 – дренажная задвижка; 9 – камера пуска-приема ОУ; 10 – задвижка на выходе камеры пуска-приема; 11 – емкость с гелевой композицией; 12 – гелевая композиция; 13 – линия подачи геля; 14 – приемная задвижка насоса; 15 – насос; 16 – обратный клапан; 17 – поролоновый поршень; 18 – ОГП; 19 – концевой затвор камеры пуска

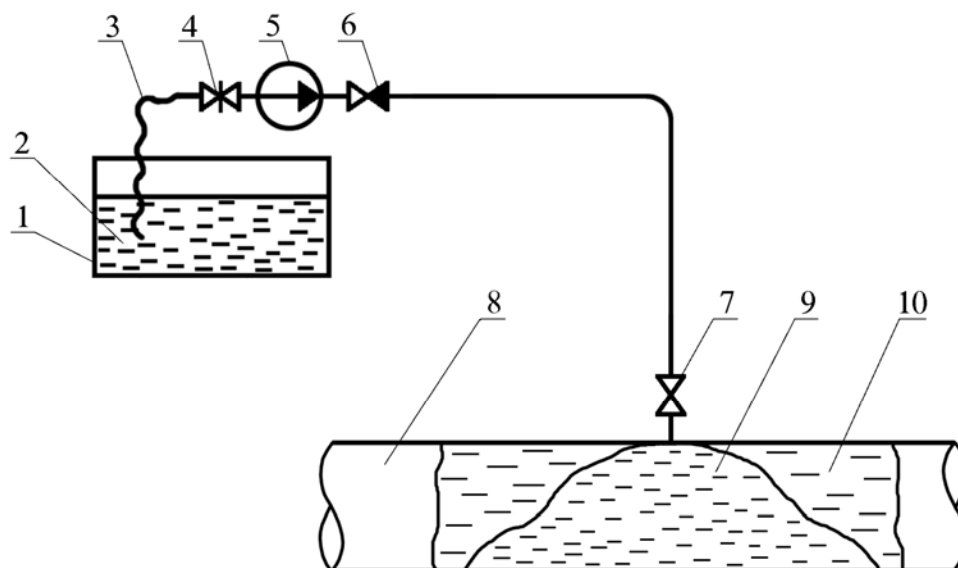


Рис.5. Схема формирования ОГП непосредственно в нефтепродуктопроводе:
 1 – емкость для приготовления гелевой композиции; 2 – гелевая композиция (гель); 3 – линия подачи геля (гофрированный шланг); 4 – задвижка; 5 – насос для закачки гелевой композиции; 6 – обратный клапан; 7 – вантуз для закачки ОГП; 8 – нефтепродуктопровод; 9 – формирующийся ОГП; 10 – нефтепродукт

Рассматривается задача в следующей постановке.

Гидравлическая характеристика трубопровода описывается зависимостью вида

$$\Delta P_i = \beta_i \cdot Q^2 + \Delta z_i \cdot \rho \cdot g \quad , \quad (2)$$

где ΔP_i – перепад давления на концах i -го линейного участка НПП, Па;

Q – расход нефтепродукта, м³/с;

β_i – гидравлическое сопротивление участка, Па·с²/м⁶;

Δz_i – разность нивелирных высот начала и конца участка, м.

Для упрощения записи мы принимаем размерную величину гидравлического сопротивления β в отличие от обычно используемого безразмерного коэффициента сопротивления λ , которые связаны между собой соотношением

$$\beta = \lambda \frac{8 \cdot L \cdot \rho}{\pi^2 \cdot D^5} \quad , \quad (3)$$

где L , D – длина и диаметр участка НПП;

ρ – плотность нефтепродукта.

Таким образом, величина β полностью определяет потери энергии на трение для данного конкретного участка с учетом как шероховатости внутренней поверхности трубопровода, так и его геометрических параметров. Примем $\beta = \text{const}$, пренебрегая увеличением сопротивления за рассматриваемый интервал времени из-за образования отложений.

Для удобства аналитического решения и повышения точности расчетов примем, что характеристика центробежных насосов описывается выражением

$$P_i = P_{i m} \left[1 - \left(\frac{Q_i}{Q_{i m}} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где $P_{i m}$ и $Q_{i m}$ – точки пересечения «Q-P»-характеристики i -го насоса с координатными осями. Номинальный режим насоса определяется из условия максимума гидравлической мощности насоса, т.е.

$$N = P \cdot Q = P_m \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_m} \right)^2 \right] \cdot Q \rightarrow \max, \quad (5)$$

поэтому при необходимости перехода к паспортным характеристикам номинальные значения напора и расхода можно рассчитать по соотношениям:

$$P_{i \text{ ном}} = \frac{2 \cdot P_{i m}}{3}, \quad Q_{i \text{ ном}} = \frac{Q_{i m}}{\sqrt{3}}.$$

Задача оптимизации разбивается на два этапа.

На первом определяются необходимые перепады давлений на каждой насосной станции, требуемые для обеспечения максимальной (или заранее заданной) производительности НПП при известных уровнях взлива (давлениях) резервуаров начального (P_0) и конечного (P_k) резервуарных парков. При этом каждую насосную станцию будем считать (независимо от наличия и количества подпорных насосов и количества и схемы подключения основных насосов) за один насосный агрегат, характеристика которого описывается соотношением (4).

На втором этапе по полученным значениям перепадов будем проводить оптимизацию схем включения или расходно-напорных характеристик насосов (дресселированием или регулированием частоты вращения рабочих колес) на каждой из станций.

При этих условиях формальная постановка задачи первого этапа выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} P_{2,i} - P_{1,i+1} = \beta_i \cdot Q^2; \\ P_{2,i} - P_{1,i} = P_{i \max} \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_{i \max}} \right)^2 \right] \end{cases}, \quad (6)$$

при ограничениях $P_{2,i} < P_{\text{доп}}$, $P_{1,i} > P_{\text{кав}}$, где $P_{\text{доп}}$ – максимально допустимое давление по условиям прочности, $P_{\text{кав}}$ – кавитационный запас.

Целью первого этапа является определение перепадов давлений между входом и выходом насосной станции $P_{2,i} - P_{1,i}$ при заданных давлениях в начале НПП ($P_0 = P_{1,1}$) и в пункте приема (P_k), Критерием оптимизации примем условие $Q \rightarrow \max$, при соблюдении ограничений по давлению, а варьируемые параметры – характеристики насосных станции $P_{i \max}$ и $Q_{i \max}$. Поскольку энергетические потери в линейной части однозначно определяются сопротивлением трубопровода и производительностью НПП, оптимизация по минимуму энергозатрат на этом этапе невозможна.

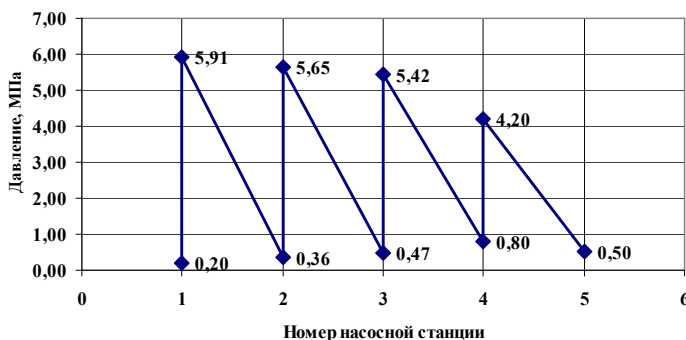


Рис 6. Пример расчета распределения давлений по трассе НПП при максимальной производительности $Q=430 \text{ м}^3/\text{ч}$

сосов.

Поиск максимума функции $Q = f(P_{i \max}, Q_{i \max}) \rightarrow \max$ проводился методами сопряженных градиентов. В результате проведенных расчетов получаем значение максимальной производительности НПП при соблюдении всех ограничений и распределение давлений по трассе НПП (рис.6).

На втором этапе проводится оптимизация подключения и регулирования установленных на станции насосов с целью получения ранее определенных их характеристик $P_{i \max}$ и $Q_{i \max}$ по критерию минимальных энергозатрат на привод на-

Заметим, что предложенный метод позволяет получать различные варианты распределения давления (с учетом разной степени износа участков НПП). Возможно также решение с отключением отдельных насосных станций (рис.7).

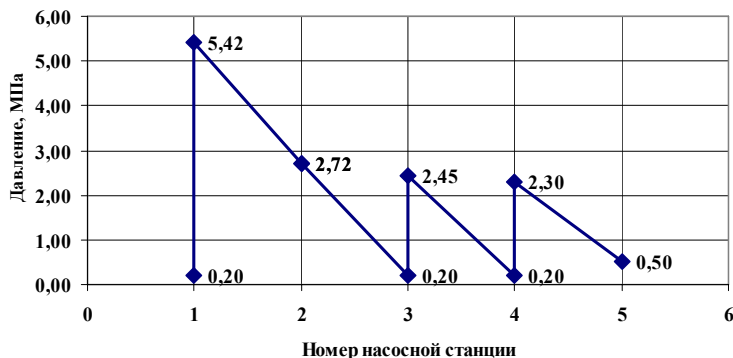


Рис 7. Один из вариантов распределения давления по НПП с отключением насосной станции №2

Перейдем ко второму этапу расчетов. Задача оптимизации энергозатрат сводится к определению таких комбинаций насосов, чтобы рабочая точка их общей характеристики была расположена максимально близко к рассчитанной на

первом этапе. Как правило, на НС установлены однотипные основные и подпорные насосы, и задача перебора вариантов не представляет особой сложности. Однако маловероятно, что полученная рабочая точка в точности совпадет с расчетной. Поэтому в настоящее время производится регулировка дросселированием или циркуляцией потока в обвязке насоса через байпас. Поскольку сопротивление трубопровода в наших предположениях является постоянной величиной, то будем относить местные сопротивления обвязки насосов (задвижек) к самим насосным агрегатам, а не к трубопроводу, как это принято в классической гидравлике. В этом случае характеристика насосного агрегата изменится следующим образом:

$$P = \alpha \cdot P_m \left[1 - \left(\frac{Q}{\gamma \cdot Q_m} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где α и γ коэффициенты дросселирования и циркуляции соответственно, $0 < \alpha, \gamma < 1$. Случай $\alpha = 1, \gamma = 1$ соответствует случаю без регулирования.

При подобных методах регулирования гидравлический КПД насоса снижается по отношению к случаю без регулирования

$$\eta_{\text{д\ddot{a}\ddot{a}}} = \eta \cdot \alpha \cdot \gamma, \quad (8)$$

где η – КПД насоса без регулирования при его работе в номинальном режиме.

На рис.8 представлены характеристики насоса НМ 500-300 при различных вариантах включения и регулирования. Как следует из графиков, расчетная рабочая точка для рассматриваемого случая находится несколько ниже характеристики двух последовательно включенных насосов. Поэтому следует воспользоваться одним из методов регулирования.

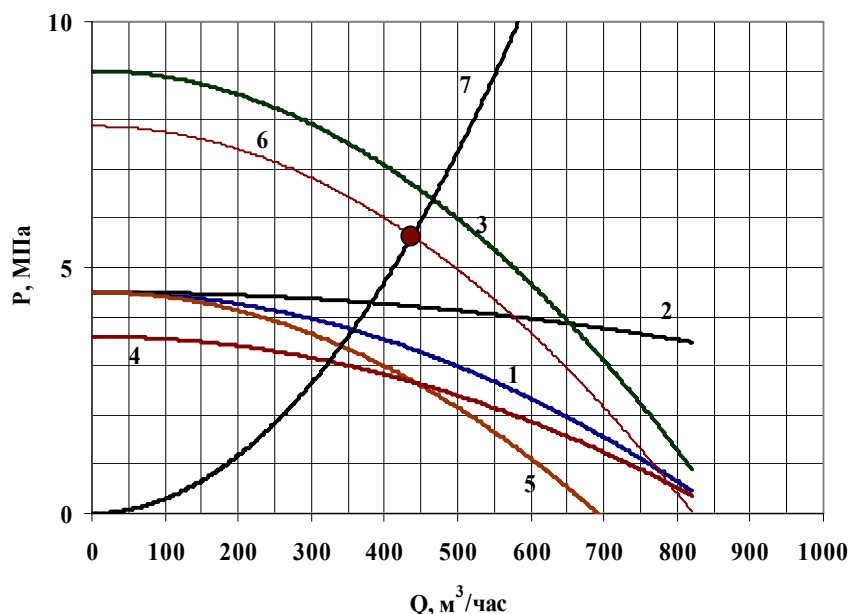


Рис.8. Характеристики насоса НМ 500-300 (1) и различных сочетаний их подключения и регулирования: 2 – параллельное подключение; 3 – последовательное; 4 – дросселирование потока с $\alpha=0,8$; 5 – циркуляция с выхода на вход при $\gamma =0,8$; 6 – скорректированная характеристика двух последовательно включенных насосов снижением частоты вращения; 7 – напорная характеристика участка трубопровода с сопротивлением $388,9 \text{ МПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$

При дросселировании с $\alpha=0,877$ рабочая точка совпадет с расчетной, но при этом КПД насоса понизится на 12,7%, на такую же величину увеличатся энергозатраты. Поэтому оптимальным методом регулирования является изменение частоты вращения привода насосов. Для рассматриваемого примера частота вращения должна быть уменьшена на 5,86%, что приведет к экономии мощности в $(1,0586)^3=1,186$ раза или на 18,6%.

В следующем разделе рассматриваются варианты регулирования расходно-напорных характеристик насосных агрегатов.

Задача соответствия расходно-напорных характеристик насосного оборудования и трубопровода приобретает особую актуальность при изучении вопросов снижения энергоемкости технологических процессов транспорта нефтепродуктов. При проектировании НПП выбор характеристик оборудования осуществляется в предположении постоянства всех параметров как оборудования, так и транспортируемого продукта. В реальном же случае имеют место существенные отклонения характеристик технологического процесса от проектных (номинальных) значений по целому ряду причин, важнейшими из которых являются:

- 1) изменение гидравлических характеристик трубопровода вследствие образования отложений и увеличения шероховатости стенок трубопровода под действием коррозионных процессов;
- 2) различия в свойствах транспортируемых жидкостей (вязкость, плотность);
- 3) необходимость снижения рабочего давления в НПП по условиям прочности отработавших ресурс трубопроводов;
- 4) изменение объемов перекачки НПП, вызванное современными экономическими условиями в стране и введением элементов рыночных отношений.

Кроме того, периодически возникает необходимость существенного изменения производительности и рабочего давления НПП при проведении мероприятий по техническому обслуживанию (очистка от водных скоплений, прогон механических очистных устройств, диагностических приборов, выполнение работ по капитальному ремонту МНПП с заменой изоляции и т.д.).

Из всего сказанного выше следует, что рабочий динамический диапазон трубопроводной системы должен быть достаточно широк. В то же время, оборудование насосных станций допускает, в лучшем случае, ступенчатое переключение насосов, а более тонкая регулировка параметров производится либо дросселированием потока, либо перебросом части потока с выхода насоса на его вход через байпасную линию. Оба метода являются энергетически невыгодными по причине смещения рабочей точки из зоны максимального КПД системы «двигатель-насос-трубопровод».

Задача энергосбережения рассматривается в следующей постановке.

Учитывая, что НПП используется для коммерческой перекачки различных видов нефтепродукта и в строго определенных объемах, примем, что требуется перекачать объем Q_0 нефтепродукта за технологически разумное время и при рабочем давлении не выше допустимого по условиям прочности НПП и при использовании насосного оборудования с известными расходно-напорными характеристиками. Требуется определить оптимальные параметры транспортировки нефтепродукта, с точки зрения минимальных затрат энергии. Поскольку параметры взаимосвязаны, будем проводить оптимизацию только по одному из них, например по объемной производительности трубопровода G .

В этих условиях энергозатраты составят $N \cdot t$ кВт ч, где N – мощность, затрачиваемая на привод насоса, t – время, затраченное на перекачку. Очевидно, что $t = Q_0 / G$, а с учетом зависимости мощности привода от производительности $N = N(G)$ получим целевую функцию в виде

$$F(G) = \frac{N(G) \cdot Q_0}{G} \rightarrow \min \quad (9)$$

при ограничениях:

$$N < N_0;$$

$$H < H_{\text{пр}};$$

$$G < G_0,$$

где N_0 и G_0 - номинальные мощность двигателя и производительность насоса, H и $H_{\text{пр}}$ – текущий напор насоса и максимальный напор, определяемый по условиям прочности трубопровода.

Из соотношений (9) следует, что результат оптимизации зависит от вида функциональной зависимости $N(G)$. Так, при $N(G) = \text{const}(G)$ и $N(G) \sim G$ оптимальной будет максимальная производительность насоса. Однако уже при квадратичной зависимости вида $N(G) = A + B \cdot G + C \cdot G^2$ имеет место оптимальный расход, определяемый из условия

$$F(G) = \frac{A}{G} + B \cdot G \rightarrow \min \quad (10)$$

В частности, при $A \rightarrow 0$, т.е. в случае, когда при отсутствии расхода нет и потребления мощности, рекомендуемой производительностью будет минимальная, определяемая только производственной необходимостью. Однако в

этом случае вступают в действие факторы, не учитываемые простейшей моделью – например, увеличение скорости образования водных скоплений, что ведет к увеличению гидравлического сопротивления трубопровода и, как следствие, к повышению технологических энергозатрат.

Из приведенных соображений следует, что для проведения оптимизации требуется определить зависимость $N(G)$, что можно сделать либо расчетным путем, по расходно-напорным характеристикам насосного агрегата и трубопровода, либо путем инструментальных измерений в рамках проведения энергообследований.

В работе показано, что данная задача оптимизации может быть решена для каждого конкретного НПП.

Наиболее радикальным путем повышения энергоэффективности НПП является управление расходно-напорными характеристиками. Подобное регулирование позволяет изменять вид функциональной зависимости $N(G)$, а следовательно, не только оптимизировать производительность, но и смещать рабочую точку на характеристике всей трубопроводной системы в область максимальных значений КПД.

В работе рассматриваются способы плавного регулирования производительности. В частности, для частотно-регулируемого привода получены соотношения для оценки срока окупаемости в зависимости от режимов работы насосной станции:

$$\dot{O} = \frac{C_{\text{чрп}}}{8760 \cdot c \cdot N_{\text{ном}}} \cdot \left(\frac{G_{\text{факт}}^3}{G_{\text{ном}}^3 - G_{\text{факт}}^3} \right), \text{ лет}, \quad (11)$$

где $G_{\text{ном}}$ – паспортная производительность насоса, м³/час;

$G_{\text{факт}}$ – фактическая среднегодовая производительность НПП, м³/час;

$N_{\text{ном}}$ – мощность электропривода одного насоса, кВт;

c – текущий тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч;

$C_{\text{чрп}}$ – объем капитальных затрат на установку ЧРП, руб.

Расчеты по приведенной формуле для ряда НПП дают срок окупаемости внедрения ЧРП от 1,8 до 2,5 лет.

В некоторых случаях оказывается более выгодным использование более дешевых способов плавной регулировки производительности насосных агрегатов. Кроме высокой стоимости ЧРП присущи и другие недостатки – необходимость квалифицированного обслуживания и качественного электроснабжения. Проблемы совместимости с отечественными энергосетями, наводок и радиопомех также не решены полностью. Поэтому становится актуальной задача поиска альтернативных методов управления технологическими параметрами насосных агрегатов НПП.

В следующем разделе этом качестве рассмотрен механический регулируемый привод, принцип действия которого основан на использовании вязких свойств рабочей жидкости, реализованный в дисковых муфтах и гидромуфтах. Отсутствие твердых фрикционных поверхностей позволяет данным устройствам обеспечивать рабочий ресурс в сотни тысяч часов, техническое обслуживание заключается в периодической смене рабочей жидкости, а вопросы совместимости с энергосистемой вообще не стоят. К тому же, стоимость механических муфт в требуемом диапазоне мощностей в 6-8 раз ниже, чем систем с ЧРП, что является основным преимуществом при технико-экономическом обосновании проекта системы регулирования.

Принципиальной особенностью приводов рассматриваемого типа является равенство вращающих моментов на ведущем и ведомом валах муфты, что следует непосредственно из физических законов механики. Поэтому очевидно, что потери энергии в муфте зависят от отношения частот вращения ведомого и ведущего валов:

$$\eta = \frac{N}{N_0} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M}{2\pi \cdot n_0 \cdot M} = \frac{n}{n_0}, \quad (12)$$

где N_0 и N – мощность на ведущем и ведомом валах, Вт;

n_0 и n – частота вращения валов, об/с;

M – передаваемый момент вращения, Н·м.

На первый взгляд кажется, что регулирование с помощью подобных устройств энергетически невыгодно, т.к. при снижении скорости вращения ведомого вала в два раза относительно ведущего на нагрев рабочей жидкости затрачивается 50% передаваемой мощности. Однако применительно к центро-

бежным насосам и другим устройствам с кубической зависимостью мощности от частоты вращения, данный тип регулирования оказывается энергетически оправдан.

Проведенное теоретическое исследование показало, что потери в муфте скольжения составляют

$$\Delta N(s) = N_1 - N_2 = \frac{2 \cdot P_m \cdot Q_m}{3 \cdot \sqrt{3}} (s^2 - s^3) \quad (13)$$

или

$$\Delta N(s) = N_0 (s^2 - s^3), \quad (14)$$

где N_0 – мощность, передаваемая муфтой при $s=1$, т.е. в номинальном режиме;

$s = \frac{n}{n_0}$, n_0 – номинальная частота вращения двигателя.

Очевидно, функция (14) имеет экстремум:

$$\Delta N(s) = \max \quad \text{при} \quad s = \frac{2}{3},$$

т.е. $n=1920$ об/мин при стандартном значении $n_0=2880$ об/мин.

При этом максимальные потери мощности составляют

$$\Delta N_{\max} = N_0 \left(\frac{4}{9} - \frac{8}{27} \right) = 0,148 \cdot N_0. \quad (15)$$

Таким образом, потери мощности на муфте не превышают 14,8% от номинальной мощности привода (рис.9). В частности, для насоса марки НПС-200-

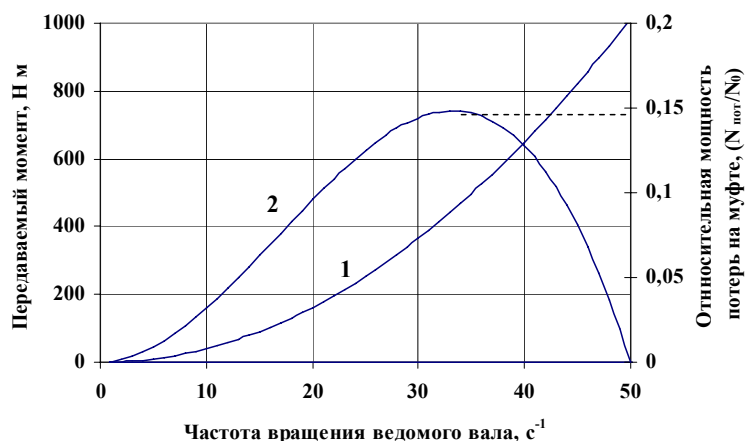


Рис.9. Зависимости передаваемого крутящего момента (1) и потерь мощности в муфте (2) от частоты вращения ведомого вала

700 с приводным двигателем мощностью 400 кВт потери гарантированно не превысят $0,148 \cdot 400 = 52$ кВт. С учетом того, что потери на дросселирование на

рассматриваемом конкретном НПШ могут достигать 123 кВт номинальной мощности, вариант регулирования производительности с использованием муфт представляется более чем привлекательным.

Снижение частоты вращения на треть от номинальной соответствуют снижению производительности насоса в 1,33 раза, напора в $1,33^2=1,76$ и гидродинамической мощности насоса в $1,33^3=2,35$ раза. Этот режим является самым невыгодным с точки зрения энергозатрат, однако даже в этом случае имеется преимущество данного метода регулирования по сравнению с обычно применяемым дросселированием потока.

При более глубоком регулировании отключение необходимо, т.к. начинает преобладать снижение КПД электродвигателя при малых нагрузках, но даже в этом случае преимущества муфт сохраняются, т.к. пуск насоса происходит практически без нагрузки и при небольших значениях пусковых токов.

Оценки показывают, что при использовании разработанных рекомендаций затраты электроэнергии снизятся примерно на 14% без нарушения графика поставок нефтепродуктов.

В шестой главе диссертации рассмотрены вопросы снижения затрат на энергоресурсы собственных нужд и методы сокращения потерь нефтепродуктов при транспортировке и хранении в резервуарных парках.

Конкурентоспособность отрасли зависит не только от объема потребляемых на производство энергоресурсов, но и от их стоимости. В настоящее время практически вся потребляемая энергия и энергоресурсы являются покупными, т.е. поставляются сторонними организациями. Отсюда вытекает зависимость объектов МНШ от таких монополистов энергетического рынка, как «ЕЭС России» и «Газпром», что негативно сказывается как на финансовых затратах, так и на возможности планирования производства.

Во многих отраслях промышленности наблюдается тенденция к переходу на автономные энергетические источники. Однако в настоящее время не существует единого мнения о целесообразности подобного шага, поскольку далеко не во всех случаях автономная энергетика оправдывает затраты в далекой

перспективе. Поэтому в каждом отдельном случае необходим детальный анализ всех составляющих проекта.

Существуют два основных препятствия для рентабельного использования автономного энергообеспечения на объектах МНПП: 1) высокие значения пусковых токов приводных двигателей, что вынуждает в несколько раз увеличивать номинальные мощности энергоисточников, а значит, и их стоимость, и 2) отсутствие потребителей тепловой энергии в летнее время.

Стоимость электроэнергии, вырабатываемой собственными источниками, определяются, в основном, стоимостью топлива и КПД применяемого приводного двигателя.

Расчеты показывают, что стоимость электрической энергии от автономных источников при работе на газовом топливе значительно ниже, чем от сетей ЕЭС. Учет затрат на закупку оборудования и материалов, монтаж и обслуживание автономной электростанции (ЭС) приводит к увеличению реальной стоимости вырабатываемой электроэнергии.

В качестве критерия выбора типа электростанции предлагается упрощенная формула расчета дополнительной валовой прибыли, учитывающая основные параметры и паспортные данные электростанции. Предлагаемый критерий является более объективным, чем общепринятый «срок окупаемости». При невысоком общем ресурсе ЭС срок окупаемости может быть равен или даже превышать время общего ресурса, и тогда этот критерий вообще теряет смысл.

Критерии «срок окупаемости» и «дополнительной валовой прибыли» рекомендуют различные типы автономных ЭС. Наиболее предпочтительными по первому критерию являются мощные ЭС, однако срок окупаемости у них равен 5-9 годам.

По второму критерию оптимальными являются маломощные газопоршневые электростанции, мощностью 0,2...1,0 МВт. Приемлемыми по обоим критериям являются надежные (ресурс 200000...300000 часов) газопоршневые импортные электростанции средней мощности ~1 МВт.

В расчетах предполагалось, что автономные энергоблоки используются исключительно для выработки электроэнергии. В действительности, и это предусмотрено конструкциями большинства автономных электростанций, тепло

выхлопных газов может эффективно утилизироваться для отопления и горячего водоснабжения ЛПДС и прилегающих населенных пунктов.

В шестой главе показано, что требуемая максимальная тепловая мощность для обеспечения типовой средней ЛПДС составляет около 640 кВт, а электрическая – около 3000 кВт. Автономные же энергоблоки дают приблизительно одинаковую мощность тепловой и электрической энергии, и, таким образом, проблема избытка тепловой энергии остается.

Перевод объектов МНПП на автономное энергообеспечение требует проектной проработки, предусматривающей, в том числе, и определение места строительства энергоблоков (котельной, электростанции, трансформаторных подстанций), а также трасс энергетических коммуникаций (теплопроводов, силовых кабелей). Вопрос оптимального размещения энергообъектов имеет большое значение, поскольку известно, что потери в линиях коммуникации могут достигать от 7% (электросети) до 30% (теплопроводы). В качестве критерия оптимизации места расположения энергообъекта предлагается использовать условие минимума потерь энергии. Поставленная задача решена в непрерывном пространстве решений и в пространстве Минковского. Расчет проводится путем последовательных приближений по итерационным соотношениям.

Предложенный метод оптимизации расположения энергоблоков может быть применен не только к выбору расположения источников тепловой энергии, но и для определения расположения любых других первичных (электростанции) и вторичных (трансформаторы) источников, в которых потери в линиях передачи энергии являются известными функциями расстояния.

Использование покупной электрической энергии с необходимостью требует четкого планирования объемов ее потребления на ближайшее будущее, как правило, на год, т.е. тот срок, на который осуществляется заключение договора на поставку энергии с энергоснабжающей организацией.

Наблюдавшееся в недавнем прошлом снижение объемов перекачки нефтепродуктов сопровождалось значительной неопределенностью в планировании объемов поставок нефтепродуктов на ближайшее будущее. Это обстоятельство, с учетом того, что до 85% затрат электроэнергии ЛПДС приходится

на процесс перекачки, приводило к аналогичной неопределенности в планировании количества заказываемой электроэнергии.

Отклонения объемов запланированной и фактически затраченной энергии ведут к начислению штрафных надбавок к тарифам, по которым производится оплата электроэнергии. Поэтому при составлении договоров с энергосистемами следует устанавливать такие договорные величины энергопотребления, которые обеспечивали бы минимальные потери при вынужденной выплате надбавок к тарифу. Фактические значения расхода энергии являются случайными величинами, законы распределения которых установить весьма затруднительно. В такой ситуации для научно обоснованного выбора договорных величин энергии целесообразно применение теоретико-игровых методов.

В работе показано, что даже при полном отсутствии информации о вероятности фактического потребления энергии на последующий период теория игр позволяет получить ряд возможных решений, каждое из которых в определенном смысле оптимально.

Приблизить получаемые решения к оптимальным возможно при наличии статистических данных по фактическому потреблению энергии предприятием за предыдущие периоды. Применение теоретико-игровых методов позволяет принимать обоснованные решения при заключении договоров на поставку электроэнергии. Учитывая, что стоимость энергии непосредственно связана с себестоимостью продукции и составляет значительную ее часть, оптимизация объема поставки заказываемой энергии позволяет увеличить рентабельность производства и прибыль предприятия.

В заключительной части шестой главы проводится анализ реализованных к настоящему времени мероприятий по снижению энергоемкости объектов МНПП ОАО «Уралтранснефтепродукт».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработаны рецептуры гелевых систем, предназначенных для очистки нефтепродуктопроводов различной степени изношенности. Предложены методы изготовления очистных гелей, позволяющие регулировать продолжительность их существования в зависимости от вида перекачиваемых нефтепродук-

тов и конструктивных особенностей нефтепродуктопроводов. Разработана промышленная технология применения гелевых очистительных систем с учетом особенностей эксплуатации конкретных участков МНПП. Установлено, что при очистке МНПП очистными гелевыми поршнями энергозатраты на перекачку уменьшаются на 3-5%.

2. Разработан метод оценки количества внутритрубных отложений в нефтепродуктопроводах на основе ретроспективного анализа изменения их гидравлических характеристик и предложена методика определения оптимальной периодичности очистки нефтепродуктопроводов, основанная на минимизации энергозатрат на перекачку нефтепродуктов. Показано, что периодическая очистка МНПП с учетом анализа изменения гидравлического сопротивления уменьшает затраты на перекачку не менее, чем на 3%.

3. Предложен метод расчета эффективности применения частотно-регулируемого привода на насосных станциях НПП, основанный на построении гидравлической характеристики НПП по экспериментальным данным и реальных расходно-напорных характеристиках насосных агрегатов, полученных по результатам энергообследований. Предложен способ оценки эффективности применения ЧРП в зависимости от рабочих режимов НПП и насосов. Установлено, что использование ЧРП позволяет сократить энергопотребление на 5-18%, в зависимости от фактической загрузки нефтепродуктопроводов.

4. Рассмотрены возможности снижения энергозатрат на транспортировку нефтепродуктов с использованием регулируемых муфт вязкого трения. Проведены исследования энергетических характеристик муфт, и показано, что регулирование производительности нефтепродуктопроводов при помощи данных устройств является более выгодным, по сравнению с частотно-регулируемым приводом в случае загрузки НПП на 3-10% ниже проектной производительности. При большем снижении производительности более оправдано применение ЧРП.

5. Разработан метод оптимизации режимных параметров магистральных нефтепродуктопроводов по критерию минимальных энергетических затрат на перекачку с учетом ограничений по допустимому давлению и кавитационному запасу. Предложен аналитический метод расчета и регулирования характери-

стик насосных станций при различных комбинациях имеющихся в наличии насосных агрегатов. Установлено, что применение данного метода позволяет увеличить КПД насосной станции до максимально возможного значения при существующем парке оборудования.

6. Проведено обоснование целесообразности использования автономных энергоисточников на объектах МНПП и разработан метод их территориального размещения с целью снижения непроизводительных потерь энергии. Показано, что предложенные рекомендации позволяют сократить потери в энергетических коммуникациях до 30%, повысить надежность энергоснабжения и уменьшить стоимость потребляемой тепловой и электрической энергии.

7. Разработан критерий оценки экономической целесообразности перевода энергообеспечения предприятий МНПП на собственное автономное энергоснабжение. Показано, что по условиям предложенного критерия наиболее предпочтительным вариантом являются когенерационные энергоблоки на основе газопоршневых двигателей, при необходимости секционированных для получения требуемой мощности.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ахмадуллин К.Р., Фаритов А.Т., Худякова Л.П. Коррозионные свойства топлив и ингибиторная защита нефтепродуктопроводов и оборудования // ИПТЭР, Сборник научных трудов. - 1998.- С. 44-46.
2. Ахмадуллин К.Р., Труфакина М.М., Гареев М.М. Применение полимерных гелей в технологических процессах транспорта нефти. // Проблемы сбора, подготовки и магистрального транспорта нефти: Материалы международного семинара (ВНИИСПТНефть, сентябрь 1988 г.) -С. 29-31.
3. Ахмадуллин К.Р., Гумеров А.Г., Векштейн М.Г. Инструкция по применению гелевых очистных устройств на магистральных нефтепродуктопроводах. – Уфа: ИПТЭР, 1992.-55с.
4. Ахмадуллин К.Р., Галимуллин Г.М., Кайгородова Л.Т. РД 153-3904-001-96. Правила сдачи нефтепродуктов на нефтебазы, АЗС и склады ГСМ по отводам магистральных нефтепродуктопроводов. - Уфа, 1995.-20 с.
5. Ахмадуллин К.Р., Гумеров А.Г., Новоселов В.Ф. Перспективы применения полимерных гелей в трубопроводном транспорте // Межвузовский сборник научных статей. Нефть и газ.-Уфа: УГНТУ, 1997. -№1.-С. 159-160.
6. Ахмадуллин К.Р., Новоселов В.Ф. Оценка степени загрязненности трубопровода по данным эксплуатации // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. -1997.-№11-12. -С. 19-21.
7. Ахмадуллин К.Р., Гумеров А.Г., Векштейн М.Г. Методы обеспечения безаварийной эксплуатации магистральных нефтепродуктопроводов // Ма-

- териалы Конгресса нефтегазопромышленников России.-Уфа: ИПТЭР, 1998.-С. 31-32.
8. Ахмадуллин К.Р., Султанов М.Х. Комплексный подход к организации и проведению системы технического диагностирования магистральных нефтепродуктопроводов // Материалы Конгресса нефтегазопромышленников России.-Уфа: ИПТЭР, 1998.-С. 34-37.
 9. Ахмадуллин К.Р., Бусыгин Г.Н., Гараева В.А. Создание и функционирование централизованной системы технического обслуживания и ремонта в ОАО «Уралтранснефтепродукт»// Материалы Конгресса нефтегазопромышленников России.-Уфа: ИПТЭР, 1998.-С. 47-48.
 10. Ахмадуллин К.Р., Байков И.Р. Опыт использования полимерных систем для очистки нефтепродуктопроводов // Транспорт и хранение нефтепродуктов.- 1998.-№7.-С.17-20.
 11. Ахмадуллин К.Р., Байков И.Р., Смородов Е.А. Оптимизация периодически очистки нефтепродуктопроводов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1999.-№8.-С.8-12.
 12. Ахмадуллин К.Р., Гумеров А.Г., Векштейн М.Г. и др. РД 153-39.4-041-99. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепродуктопроводов. - М.:Нефть и газ, 1999.-164 с.
 13. Ахмадуллин К.Р., Шаммазов А.М., Коршак А.А., Основы трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. -Уфа, УГНТУ, 2000.-160 с.
 14. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Безуглый С.В., Зайниев А.В. Применение автономных источников тепло- электроснабжения на объектах магистральных нефтепродуктопроводов: экономическая целесообразность // Энергосбережение и энергоэффективность: Материалы III российского энергетического форума (Уфа, 2003.).-С. 44.
 15. Ахмадуллин К.Р., Перспективы увеличения транспорта светлых нефтепродуктов с Востока на Запад. // Тезисы докладов II Конгресса нефтегазопромышленников России (26-28 апреля 2001 г.)-Уфа: ИПТЭР, 2001.- С.23.
 16. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х. Ахметьянов М.А. Матчин В.К. О системе энергосбережения в ОАО "Уралтранснефтепродукт" // Тезисы докладов III Конгресса нефтегазопромышленников России (22-25 мая 2001 г.)-Уфа: ИПТЭР, 2001.- С.55.
 17. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Завадский А.Р., Ахметьянов М.А., Синага-туллин И.Н. Центральная база производственного обслуживания. Повышение эффективности и качества технического обслуживания, ремонта и диагностики объектов МНПП. // Тезисы докладов III Конгресса нефтегазопромышленников России (22-25 мая 2001 г.)-Уфа: ИПТЭР, 2001.-С.56.
 18. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Еременко С.А. Проблемы и методы повышения надежности магистральных нефтепродуктопроводов // Тезисы докладов III Конгресса нефтегазопромышленников России (22-25 мая 2001 г.)-Уфа: ИПТЭР, 2001.- С.57.
 19. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Еременко С.А. Пиядин М.Н. Завадский А.Р. Проблемы и методы повышения надежности эксплуатации резервуаров ОАО "Уралтранснефтепродукт" // Тезисы докладов III Конгресса нефтегазопромышленников России (22-25 мая 2001 г.)-Уфа: ИПТЭР, 2001. С.59.

20. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Безрук А. В. Анализ работы УУНП и выполнение требований РД 153-39-011-97 при учете нефтепродуктов // Тезисы докладов III Конгресса нефтегазопромышленников России (22-25 мая 2001 г.).- Уфа: ИПТЭР, 2001 г.-С.63.
21. Ахмадуллин К.Р., Энергоаудит и энергосбережение в ОАО «Уралтранс-нефтепродукт» //10-ая Международная специализированная выставка «Газ-Нефть 2002». Перспективы развития трубопроводного транспорта России: Тезисы докладов конференции.-Уфа:Транстэк, 2002г.- С. 92.
22. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Кашапов И.Г., Матчин В.К., Газизов Б.Р. Автоматизированная информационная система мониторинга МНПП. // Тезисы докладов IV Конгресса нефтегазопромышленников России (г. Уфа, 20-23 мая 2003г.).-Уфа: Транстэк, 2003.-С.9-10.
23. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Матчин В.К. Технология переиспытания действующих магистральных нефтепродуктопроводов (на примере МНПП Уфа - Камбарка). // Тезисы докладов IV Конгресса нефтегазопромышленников России (г. Уфа, 20-23 мая 2003г.).-Уфа:Транстэк, 2003. -С. 44-47.
24. Ахмадуллин К.Р., Воробьев ВА, Хажиев Р.Х., Еременко С.А., Матчин В.К. Технология локализации и сбора нефтепродукта при авариях на подводных переходах магистральных трубопроводов зимний период. // Тезисы докладов IV Конгресса нефтегазопромышленников России (г. Уфа, 20-23 мая 2003г.).- Уфа:Транстэк, 2003. -С. 203-207.
25. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Безрук А.В. Состояние коммерческого учета нефтепродуктов в ОАО «Уралтранснефтепродукт» // Тезисы докладов IV Конгресса нефтегазопромышленников России (г. Уфа, 20-23 мая 2003г.).- Уфа:Транстэк, 2003. -С. 211-213.
26. Ахмадуллин К.Р., Воробьев В.А., Абдрахманов А.Р. Повышение эффективности управления трудовыми ресурсами на предприятиях трубопроводного транспорта нефтепродуктов. // Тезисы докладов IV Конгресса нефтегазопромышленников России (г. Уфа, 20-23 мая 2003г.).-Уфа:Транстэк, 2003. -С. 229-231.
27. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Безуглый С.В., Леонов А.В., Зайниев А.В. Повышение надежности систем электроснабжения объектов магистральных нефтепродуктопроводов ОАО «Уралтранснефтепродукт» // Уралэнерго-2004: Тезисы докладов IV Российского энергетического форума.-Уфа:Транстэк, 2004.-С. 83-86.
28. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Безрук А.В. Об опыте работ по внедрению поточных средств коммерческого учета нефтепродуктов на МНПП ОАО «Уралтранснефтепродукт» // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – М., 2002. – Вып. 1 - 2. - С.18-19.
29. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Еременко С.А. Выполнение плана диагностических работ в 2001г. и перспектива на 2002г. в ОАО «Уралтранснефтепродукт» // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – М., 2002. – Вып. 1 - 2. - С.23-27.
30. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Кашапов И.Г. Состояние внедрения и эксплуатации систем контроля утечек // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – М., 2002. – Вып. 3. - С. 8-11.

31. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х. Целесообразность испытаний труб аварийного запаса // Обеспечение работоспособности и безопасности трубопроводов. - Уфа: ИПК при Администрации Президента РБ, 2002. - С.22-25.
32. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х. Стенд для испытаний труб аварийного запаса // Обеспечение работоспособности и безопасности трубопроводов. - Уфа: ИПК при Администрации Президента РБ, 2002. - С.26.
33. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х. Гидравлическое испытание действующего магистрального нефтепродуктопровода // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – М., 2002. – Вып. 12. - С.3-8.
34. Ахмадуллин К.Р., Байков И.Р., Смородов Е.А. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003.-275 с.
35. Ахмадуллин К.Р. Методы расчета и регулирования режимов насосных станций магистральных нефтепродуктопроводов // Нефтяное хозяйство.- 2004.- № 2.-С.33-38.
36. Ахмадуллин К.Р., Шаммазов А.М. Регулирование характеристик насосных агрегатов нефтепродуктопроводов с использованием гидромурфт и дисковых муфт // Изв. вузов. Нефть и газ.-2004.-№ 3.-С. 23-29.
37. Ахмадуллин К.Р., Шаммазов А.М. Разработка теоретических положений ресурсосбережения при транспортировке нефтепродуктов путем оптимизации рабочих характеристик оборудования // Изв. вузов. Нефть и газ.-2004.-№ 4.- С. 23-29.
38. Ахмадуллин К.Р., Шаммазов А.М. Теоретические положения ресурсосбережения при транспортировке нефтепродуктов посредством оптимизации характеристик МНПП // Транспорт и хранение нефтепродуктов.- 2004.- №5-6.-С.5-11.
39. Ахмадуллин К.Р. Экспериментальное определение энергоэффективности насосных станций магистральных нефтепродуктопроводов // Изв. вузов. Нефть и газ. - 2005.- № 2.
40. Патент на полезную модель № 37011. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов / К.Р. Ахмадуллин, Р.Х. Хажиев.- Заявка № 2002123457. Приоритет от 20.08.02.
41. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Павлов А.А., Квашнин В.Д., Матчин В.К. Устройство для очистки внутренней поверхности магистральных трубопроводов и определения проходимости трубопроводов при их подготовке к внутренней диагностике (пионерный снаряд Ду 350-500). Решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2004105507/12(005652). Приоритет от 16.02.2004.
42. Ахмадуллин К.Р., Хажиев Р.Х., Теньков В.Н., Бикбулатов Р.А., Кевлер А.А., Ермаков В.В. Насосная станция. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке №2004134425/22(037455). Приоритет полезной модели от 12.11.04.
43. Ахмадуллин К.Р., Байков И.Р., Шакиров Б.М. Состав очистного гелеобразного поршня для очистки трубопроводов и способ его формирования. Уведомление о положительном результате формальной экспертизы по заявке №2004119473/06(020905).