

# Методы повышения энергоэффективности нефтепроводного транспорта



# Задачи повышения энергетической эффективности нефтепроводного транспорта

- Для разработки методов повышения энергоэффективности проведены анализ и объективная оценка мероприятий и исследований.
  - 1.2.1 Оптимальное планирование и управление режимами работы магистральных нефтепроводов
- Критерием планирования потребления электрической энергии при формировании заявки на год в ПАО «Транснефть» является соответствие технологических режимов перекачки нефти критерию минимальных удельных затрат на электроэнергию из всех расчетов на данную пропускную способность.
- Исходя из планового грузооборота, Компанией планируется равномерная поставка нефти, после чего производится расчет технологических режимов перекачки нефти в интервале от минимальной производительности нефтепровода до максимальной пропускной способности нефтепровода. Далее проводится оценка ряда режимов работы нефтепроводов с одинаковой производительностью, среди которых выбираются режимы с минимальным потреблением электроэнергии.
- План-график работы магистральных нефтепроводов на год, месяц разрабатывается на основе включенных в утвержденную главным инженером ОСТ карту технологических режимов работы магистрального нефтепровода, с учетом плана остановок и работы нефтепроводов со снижением режимов, а также работ, требующих изменения режимов работы нефтепроводов или снижения пропускной способности сроком на 1 час и более. Разработанный с учетом корректировки посуточный план-график с почасовой разбивкой является плановым заданием на месяц.
- Анализ практики планирования, управления и контроля режимов работы МН ПАО «Транснефть» сделал выводы, что ключевыми звеньями, влияющими на энергоэффективность работы МН, являются:

# 1.2.2 Использование сменных роторов и обточка

## колес

- В соответствии с правилами технической эксплуатации магистральных нефтепроводов осуществлялись требования, что оптимальные режимы в условиях недогрузки должны обеспечиваться использованием сменных роторов магистральных насосов, заменой действующих насосов на типоразмеры меньшей производительности.
- С целью увеличения числа оптимальных гидравлических режимов работы МН в начале 2000-х годов в ОСТ Компании была проведена работа по оптимальному выбору сменных роторов и обточенных колес. Оптимизация была проведена для того, чтобы энергетические показатели технологических режимов работы ТУ совпали с показателями линии оптимальных режимов. Тогда для выполнения ПГДН возможно использовать режимы без дросселирования, снизить удельный расход электроэнергии



## 1.2.3 Выбор метода расчета эффективности работы магистрального нефтепровода и магистральных насосных агрегатов

- В ходе исследований проведен сравнительный анализ межгосударственных стандартов национальных стандартов и др. нормативных и технических документов.
- Для повышения эффективности работы МН и МНА решаются оптимизационные задачи работы технологических участков МН с целью снижения энергопотребления и затрат при эксплуатации МН и МНА.
- Анализ литературы показал, что существуют различные виды целевых функций для оптимизации режимов работы МН и МНА, энергетические критерии, объем электроэнергии, мощность электрической энергии, удельное энергопотребления, затраты на энергопотребление, общие затраты на перекачку, КПД насосных агрегатов, КПД НПС, минимальное количество переключений с режима на режим (шт), минимальное отклонение от месячного плана потребления электроэнергии по энергосистемам, рассчитанного на текущий год (бюджетного плана) и т. д.
- Распространенным является критерий снижения энергопотребления. В рамках оптимизации работы МН и МНА при оценки ее эффективности могут быть выявлены различные неэффективные режимы работы МН и МНА с точки зрения энергопотребления. При отсутствии насосных агрегатов с регулируемой частотой вращения ротора насоса эксплуатация нефтепровода может происходить при различных режимах, смена которых происходит дискретно при изменении вариантов включения в работу насосов и перекачивающих станций. При этом возникает задача выбора наиболее целесообразных режимов, соответствующих наименьшим затратам электроэнергии на перекачку.
- В зависимости от уровня текущей загрузки нефтепровода из ряда оптимальных режимов должны выбираться те, которые обеспечивали бы выполнение планового объема транспортной работы за фоновое время. Для каждого



- Алгоритм поиска рационального режима нефтепровода при заданном плане перекачки:
  - 1) задание характеристик перекачиваемой нефти, параметров линейной части, числа и характеристик установленных насосных агрегатов на каждой перекачивающей станции;
  - 2) задание ограничений на работу насосных агрегатов по давлениям и максимальной мощности электродвигателей;
  - 3) задание карты работы насосных агрегатов с указанием числа и типа работающих агрегатов на каждой перекачивающей станции;
  - 4) определение производительности трубопровода на каждом режиме с проверкой по всем технологическим ограничениям и выявлением перевальных точек по всем линейным участкам;
  - 5) выбираются режимы, которые обладают наименьшими удельными затратами и располагаются в узлах огибающей кусочно-выпуклой кривой;
  - 6) исходя из плана перекачки, выявляются два режима для циклической перекачки, определяются время работы на каждом режиме и удельные затраты энергии.

При расчете нормы потребления предлагается учитывать:

- энергетические характеристики и режимы работы насосных агрегатов перекачивающих станций на планируемых режимах перекачки;
- режимы работы нефтепроводов в плановом периоде;
- характеристики нефтепроводов;
- физико-химические свойства нефти;
- планируемый объем перекачки.

Приведенная методика планирует потребление электроэнергии с учетом фактического КПД насосного оборудования, характеристик линейной части МН (лупингов, параллельных ниток), изменений свойств перекачиваемой нефти, отличия расчетных потерь на МН от



- Структура потребления электроэнергии на МН:
  1. Минимально необходимый расход (на расчетно-оптимальном режиме). Расчетно-оптимальный режим – стационарный режим для существующего типа оборудования с расчетными характеристиками, удовлетворяющий критерию минимальных затрат электроэнергии для определенного объема перекачки и входящий в ряд оптимальных технологических режимов.
  2. Расход на циклическую работу МН, связанную с периодической остановкой перекачки.
  3. Расход, связанный с режимными затратами.
  4. Расход, обусловленный отклонением фактических характеристик МНА от паспортных (каталожных).
  5. Расход, связанный с неравномерностью работы, в связи с проведением ремонтных работ.
  6. Расход, связанный с технологическими затратами.

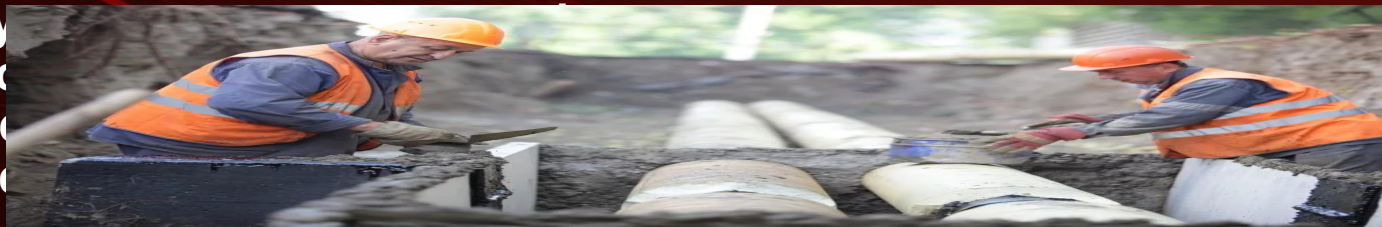
Указанный способ позволяет оценивать эффективность работы МН и МНА и выявлять неэффективные режимы работы МН и МНА, применение которых нежелательно. В соответствии с этой методикой предлагается вычислять указанные составляющие в фактическом энергопотреблении МН, на их основании оценивать энергоэффективность работы МН и определять пути ее повышения. При этом первая составляющая структуры энергопотребления является величиной, которой фактическое энергопотребление будет равно в идеальном случае. Величина остальных компонент характеризует отклонение фактического потребления от идеальной



# Оценка увеличения межремонтного интервала трубопровода вследствие использования ЧРП

- Применение ЧРП исключает циклическую перекачку и снижает перепады давления. При этом снижается скорость развития дефектов в теле трубы и уменьшается число дефектов, требующих ремонта.
- Прогнозируемая годовая цикличность определяется как наибольшее значение приведенной цикличности нагружения за последние 3 года работы на всем участке между соседними резервуарными парками.
- Срок безопасной эксплуатации – период работы трубопровода, в течение которого гарантируется его безотказная работа при разрешенном (допустимом) рабочем давлении, нормативных внутренних и внешних воздействиях и устранении дефектов, выявленных по результатам технического диагностирования.
- При оценке влияния ЧРП на увеличение предельного срока безопасной эксплуатации и межремонтного интервала срок безопасной эксплуатации трубопровода необходимо определять на конец исследуемого года для двух

нагру  
трубо  
иссле  
сведе



нагруж  
сходны  
ля этого



мое по

- Если трубопровод эксплуатируется с использованием ЧРП, то в качестве прогнозируемой годовой цикличности нагружения участка МН Ng должна быть принята фактическая цикличность нагружения NЧРП, определенная по методике для работы МН с использованием ЧРП.
- Фактическая цикличность нагружения принимается равной приведенной годовой цикличности нагружения за соответствующий период. Таким образом, количество ремонтов по устранению дефектов участка трубопровода между соседними станциями в год уменьшается пропорционально коэффициенту снижения цикличности нагружения.
- Уменьшение количества дефектов, подлежащих ремонту, должно определяться с учетом информации о параметрах фактически имеющихся дефектов и их развития во времени под влиянием цикличности нагружения.
- Для точного расчета и/или рассмотрения полного перечня дефектов трубопровода требуется определение точной величины уменьшения количества дефектов, подлежащих ремонту, которое должно определяться с учетом информации о параметрах фактически имеющихся дефектов и их развитии во времени под влиянием цикличности нагружения.
- Для этого применяем методику, разработанную АО «Транснефть-Диаскан». Методика позволяет применить информацию о параметрах фактически имеющихся дефектов в трубопроводе по известному значению коэффициента снижения цикличности нагружения, для расчетов развития дефектов во времени, и определения уменьшения количества дефектов, подлежащих ремонту в течение всего срока службы трубопровода.
- Так как коэффициент снижения цикличности нагружения определяется отдельно для каждого участка трубопровода между соседними станциями, то снижение затрат на ремонт трубопровода также должно определяться отдельно для каждого участка между соседними



# Оценка экономической эффективности применения ЧРП

- Усовершенствованная методика оценки экономической эффективности применения ЧРП магистральных насосов на НПС позволяет оценивать экономическую эффективность (срок окупаемости) применения ЧРП путем упрощенного экономического расчета экономии затрат на оплату электроэнергии с учетом изменения продолжительности межремонтных циклов трубопровода на основании данных о цикличности нагружения и изменения межремонтных сроков и сроков службы электродвигателей.
- Разработанные алгоритмы по определению изменения продолжительности межремонтных циклов трубопровода на основании данных о цикличности нагружения и определения снижения затрат на проведение текущих и капитальных ремонтов ЭД при использовании ЧРП (экономия затрат на проведение текущих ремонтов) представлены далее.
- Критерием выбора применения ЧРП для системы нефтепроводов ПАО «Транснефть» является условие гарантийной работы электроники ЧРП. Выводится лучший вариант расстановки ЧРП по агрегатам и НПС с точки зрения минимальности этого самого срока окупаемости.
- Методика прошла многовариантную апробацию для расчета различных нефтепроводов. В качестве примера расчета представлены результаты расчетов по методике на примере двух технологических участков (ТУ) магистральных нефтепроводов, эксплуатируемых в настоящее время без использования ЧРП: ТУ «Бердяуш – Нурлино» АО «Транснефть-Урал» МН «НКК» и ТУ «Торгили – Чаши» АО «Транснефть-Сибирь» МН «УБКУА».

- Исходными данными, необходимыми для выполнения расчетов, являются: карта технологических режимов; данные по соблюдению режимов работы (СРР); параметры трубопровода (фактический диаметр по участкам, шероховатость); сжатый профиль трассы трубопровода; типы и основные параметры ЭД (номинальная мощность, номинальное напряжение, КПД, коэффициент мощности); паспортные данные НА (с указанием фактических диаметров роторов НА; фактического КПД насоса при номинальной подаче); фактические характеристики насосов (графические зависимости напора и КПД от подачи); тарифы на электроэнергию и мощность; затраты на обслуживание преобразователей частоты и затраты на работы, связанные с проектированием, монтажом, наладкой ПЧ на НПС; затраты на один текущий ремонт электродвигателя, на один капитальный ремонт электродвигателя (или затраты на ремонт обмотки статора); данные об уменьшении количества дефектов, подлежащих ремонту вследствие снижения цикличности нагружения; число отремонтированных дефектов на технологического участка и стоим



- Расчеты, выполненные для двух технологических участков, показали, что все три составляющие снижения затрат: снижение затрат на оплату электроэнергии, на ремонт электродвигателей и на ремонт трубы соизмеримы. Не учет любого из них приводит к существенному увеличению расчетного срока окупаемости использования ЧРП.
- Разработан программный комплекс для комплексной оценки эффективности использования частотно-регулируемого электропривода на нефтеперекачивающей станции технологического участка, внедряемый в системе нефтепроводов.
- Объектом автоматизации являются выполнение расчетов хранения, обработка результатов расчетов и выдача отчетных документов по оценке эффективности использования ЧРП и гидромуфт на НПС технологических участков МТ по методике РД-29.160.30-КТН-071-15 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов».
- Методика оценки эффективности применения частотно-регулируемого электропривода на объектах магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть» с учетом дополнительных требований к исходным данным: учет стоимости ЧРП, эксплуатационных затрат, стоимости строительно-монтажных и пуско-наладочных работ, затрат на ремонты по устранению дефектов

- Оптимизационные расчеты выполняются путем варьирования числа и места установки НА с ЧРП [88] (рисунок 3.7).
- Для этого намечаются варианты расстановки НА с ЧРП. Для каждого варианта выполняется технологический расчет и определяется коэффициент снижения цикличности нагружения; снижение затрат на оплату электроэнергии; снижение затрат на проведение ремонтов электродвигателей; снижение затрат на ремонт трубопровода технологического участка и срок окупаемости ЧРП.
- Варианты не должны существенно отличаться по цикличности нагружения и величине коэффициента снижения цикличности нагружения.
- Результаты расчета затрат и срока окупаемости ЧРП получены при выборе ЧРП, когда число ЧРП и место их расположения на НПС технологического участка выбирается без выполнения оптимизационных расчетов. При этом срок окупаемости ЧРП может оказаться завышенным.
- Для снижения срока окупаемости ЧРП должен выполняться следующий (второй) этап расчетов, во время которого проводится оптимизационный расчет по

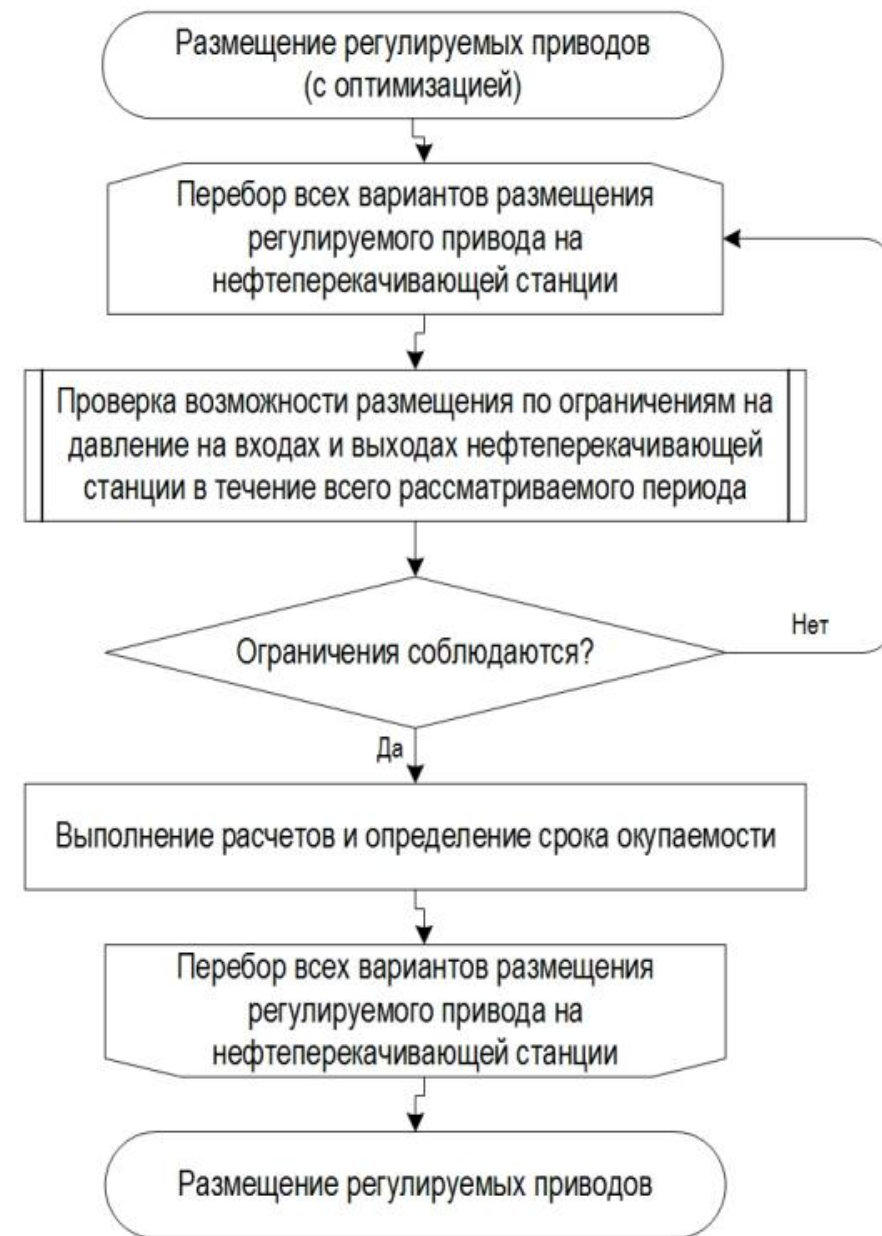


Рисунок 3.7 – Алгоритм размещения регулируемых приводов(с оптимизацией)

Критерием оптимизационных расчетов является минимум срока окупаемости всех ЧРП технологического участка. Оптимизация производится методом перебора вариантов, путем варьирования числа и места расположения ЧРП на НПС технологического участка с выполнением расчетов для каждого варианта.

При оптимизационных расчетах по уточнению числа и мест установки ЧРП следует рассматривать следующие варианты:

- снижение общего числа ЧРП, выбранных на первом этапе;
- одновременная установка ЧРП на всех или части НПС, которые были выбраны на первом этапе.

Достоинством установки ЧРП на НПС, которые были выбраны на первом этапе, является возможность до минимума снизить число включений НА и цикличность нагружения;

- установка одного или нескольких ЧРП только на головной НПС.

Достоинством установки ЧРП на головной НПС является возможность работы технологического участка МН на режимах с производительностью от

минимальной, обеспечиваемой при работе с одним ПНА, до величины, обеспечиваемой одним ПНА и одним МНА на головной НПС;

- установка ЧРП на головной и промежуточных НПС. Достоинством установки ЧРП на промежуточных НПС является возможность обеспечивать работу технологического участка МН при меньших давлениях в трубопроводе.

При установке ЧРП на головной и промежуточных НПС необходимо учитывать сбросы/подкачки и величины их изменения. При наличии сбросов/подкачек на технологическом участке МН ЧРП следует устанавливать до сброса и/или после подкачки.

При расположении подкачки на последнем перегоне между промежуточной НПС и конечным пунктом рассматривается вариант установки ЧРП на НПС, расположенной до места подкачки. При определении числа ЧРП на НПС следует учитывать, что увеличение числа НА с ЧРП может повысить КПД НА при изменении частоты вращения, однако при этом возрастают суммарные затраты на ЧРП.

Последовательность оптимизационных расчетов зависит от результатов расчетов на первом этапе и может отличаться на разных технологических участках. В общем случае, при оптимизации уменьшается общее число требуемых ЧРП и принимается одновременная работа НА с ЧРП на разных НПС.

После этого проверяются варианты установки одного или нескольких ЧРП только на головной НПС и варианты