Оглавление

[СОЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ 2](#_Toc496884033)

[Формальное описание задачи календарного планирования работы системы нефтепроводов 3](#_Toc496884034)

[Формальное описание системы нефтепроводов 3](#_Toc496884035)

[Исходные параметры задачи календарного планирования работы системы нефтепроводов 4](#_Toc496884036)

[О понятии план-графика работы технологических участков 4](#_Toc496884037)

[Дополнительные ограничения и особенности. 6](#_Toc496884038)

[Задача календарного планирования работы нефтепроводов. 6](#_Toc496884039)

[Алгоритм 1. Задача составления план-графика работы системы «поставщик-труба-потребитель». 7](#_Toc496884040)

[Алгоритм 2. Задача составления план-графика работы системы «ТУ-РП-ТУ». 8](#_Toc496884041)

[Общая концепция. 8](#_Toc496884042)

[Генерация допустимых план-графиков. 9](#_Toc496884043)

[Модификации алгоритма с учетом возможных дополнительных условий. 11](#_Toc496884044)

[О выборе параметров алгоритма и компромиссе критериев. 12](#_Toc496884045)

[Алгоритм 3. Задача составления план-графика работы системы «Транснефть «Север». 14](#_Toc496884046)

# СОЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим систему нефтепроводов, которая перекачивает нефть от множества потребителей к множеству поставщиков.

Каждый поставщик отдает в систему нефть определенного качества (сернистость и плотность). Каждый потребитель может принимать нефть в определенном интервале качества. \*\*про это пока не говорим\*\*

Введем понятие технологического участка, как совокупность элементов линейной части магистрального нефтепровода (перегоны, НПС, лупинги и т.д.), эксплуатируемых в едином режиме работы.

Каждому технологическому участку может соответствовать множество режимов работы, которые определяют: расходы нефти через каждую трубу участка, расходы электроэнергии при использовании режима. Переключение с режима на режим осуществляется через переходный режим, который определяет: функции изменения расходов во всех трубах технологического участка, время перехода с режима на режим, расход электроэнергии при переходе.

Некоторые технологические участки, по которым происходит откачка из резервуарного парка непосредственно потребителю, могут работать в непрерывном диапазоне расходов.

Между технологическими участками располагаются резервуарные парки. Резервуарные парки способные аккумулировать нефть. Внутри резервуарных парков располагаются коллекторы, в которых возможно осуществлять смешение нефти. Каждый резервуарный парк разделен на группы резервуаров, в которых можно хранить лишь нефть в определенном интервале качества. Так же резервуарный парк может обладать рядом технологических ограничений, в силу которых не все группы резервуаров можно подключать ко всем коллекторам.

Помимо этого, в системе могут происходить ремонтные работы, задаваемые планом. Ремонтные работы накладывают ограничения на расходы через трубы и на емкости резервуаров в резервуарных парках.

ТРЕБУЕТСЯ.

Заданы следующие параметры:

1. Начальное состояние нефтепровода:
   1. Наличие нефти в трубах
   2. Наличие нефти в резервуарных парках
2. Объемы поставки нефти от поставщиков и качество поставляемой нефти
3. Объем потребления нефти потребителями и интервал допустимого качества потребляемой нефти
4. Режимы работы технологических участков и переходные режимы
5. План ремонтных работ
6. Параметры резервуарных парков:
   1. Список резервуаров и их объемы
   2. Список групп резервуаров и ограничения на качество хранимой в них нефти
   3. Технологические особенности работы резервуарных парков

При заданных параметрах необходимо построить оптимальный план-график работы технологических участков нефтепровода на заданный промежуток времени, минимизируя следующие критерии:

1. Количество переключений режимов работы технологических участков
2. Расход электроэнергии
3. Неравномерность перекачки
4. Разница между заданными и запланированными объемами перекачки по каждому поставщику/потребителю.
5. Разница м/у верхней границей допустимого качества нефти для потребителя и качества нефти, поставляемого потребителю

# Формальное описание задачи календарного планирования работы системы нефтепроводов

## Формальное описание системы нефтепроводов

Представим систему нефтепроводов (СНП) в виде направленного графа , где – множество ребер, а – множество вершин графа.

Множество соответствует множеству линейных частей СНП без разветвлений (далее, для упрощения, будем называть их трубами).

Для графа задано множество деревьев такое, что

Данные подграфы представляют технологические участки (далее ТУ).

Технологическим участкам соответствует множество режимов работы .

где – расход электроэнергии в единицу времени при работе ТУ на режиме ,

– множество расходов нефти в трубах в единицу времени при работе ТУ на режиме .

При этом, в рамках поставленной задачи, будем полагать, что каждый режим отличается от каждого режима значением расхода хотя бы в одной трубе ТУ.

– множество резервуарных парков;

– множество поставщиков;

– множество потребителей;

– множество точек ветвления трубопровода (в местах подключения подкачек/откачек к магистрали).

– попарно не пересекаются.

## Исходные параметры задачи календарного планирования работы системы нефтепроводов

Пусть задан интервал времени планирования .

Задан объем нефти , который нужно принять от поставщика / отдать потребителю на интервале времени (график транспортировки нефти).

Задан объем – максимальная емкость резервуарного парка .

Задан объем начального наличия нефти .

Задана функция , которая дает значение максимального расхода через трубу в момент времени (план остановок и работ на сниженных режимах).

В рамках данной задачи будем понимать под переключением режима работы ТУ следующее:

* переключение режима работы ТУ с режима на режим ,
* изменение расхода на ТУ .

– минимальное время между двумя соседними переключениями режима работы любого ТУ, .

– несокращаемое соотношение максимального количества переключений к промежутку времени. . .

Фактически, – это некоторый промежуток времени, на который условно разделяется период планирования. Так, например, если , то, как правило, ; при этом соотношение имеет следующий смысл: в течение каждого дня месяца можно произвести не более .

## О понятии план-графика работы технологических участков

Каждому ТУ поставим в соответствие упорядоченное множество , где

– план-график работы ТУ ;

– кортеж, обозначающий элемент план-графика работы ТУ ;

– множество расходов нефти в трубах на интервале времени ;

– длительность интервале времени для ТУ .

Отметим, что множество должно содержать один нулевой режим, такой, что расходы через все трубы участка равны 0.

Для упрощения введем кусочно-заданную функцию, возвращающую значение расхода в трубе в момент времени :

– функция, имеющая точки разрыва первого рода, в связи с чем введем понятие интеграла при условии . Обозначим точки разрыва функции на интервале за , при этом . Тогда интеграл функции есть сумма интегралов, взятых по частичным интервалам между точками разрыва:

Указанные множества должны удовлетворять следующим условиям:

1. Весь период планирования должен быть охвачен:

2. ТУ не может работать на режиме меньше, чем минимальное время работы режима:

3. Ограничение на пропускную способность для труб:

4. Комбинация расходов в трубах ТУ в каждый момент времени может принимать значение одной из заданных комбинаций, если такие комбинации заданы:

5. Резервуары не должны переливаться и опорожняться ниже нуля:

- множество ребер, входящих в вершину ,

- множество ребер, исходящих из вершины .

6. Количество переключений в определенный интервал времени на ТУ ограничено:

– n-ный интервал времени длины , в течении которого нельзя производить более переключений.

– промежуток времени, соответствующий элементу план-графика .

## Дополнительные ограничения и особенности.

Стоит сказать о некоторых особенностях план-графиков работы ТУ.

1. Фиксированные режимы работы.

В некоторых случаях (например, при очистке и диагностике трубопроводов, или с учетом особых пожеланий поставщиков/потребителей) возникает необходимость формирования таких план графиков работы, чтобы в заданные интервалы времени использовались конкретные режимы работы на некоторых ТУ (в случае, если ), либо через трубы были определенные расходы (в случае, если ).

Такая ситуация накладывает дополнительные ограничения на план-графики .

Пусть для каждой трубы заданы функции . Данная функция принимает значение фиксированного расхода в момент времени , либо в момент времени, когда фиксированный расход не задан. Вводится дополнительное ограничение:

2. Поставщики и потребители, подключенный непосредственно к РП.

В случае, если поставщик/потребитель подключен непосредственно к РП через ТУ с одной трубой , то, как правило план-график работы для такого ТУ задан, то есть , либо планируются равномерно на весь месяц: .

3. Соседние ОСТ.

Иногда рассматривается не вся система «Транснефть» в целом, а происходит выделение подсистемы, управляемой определенной организацией системы «Транснефть» (далее ОСТ). В таком случае точка, граничащая между двумя ОСТ, представляется, как некий виртуальный поставщик/потребитель. В некоторых случаях для ТУ , соединяющих систему с соседними ОСТ, так же задан план-график работы .

## Задача календарного планирования работы нефтепроводов.

Проблема календарного-планирования следующая: для каждого сформировать план-график , удовлетворяющий ограничениям , при этом необходимо минимизировать следующие критерии:

1. Квадрат разности между планируемым и фактическим объемом нефти, который необходимо отдать потребителю / принять у поставщика:

– множество ребер, инцидентных вершине .

2. Расход электроэнергии на технологических участках:

3. Количество переключений режимов на технологических участках:

4. Равномерность перекачки нефти по каждой трубе:

где – средний расход через трубу на протяжение времени

# Алгоритм 1. Задача составления план-графика работы системы «поставщик-труба-потребитель».

Рассмотрим систему S, состоящую из одной трубы и соответственно из единственного технологического участка , соединяющей поставщика и потребителя (рис. 1).



Рисунок 1 Схема простейшей системы

Решим задачу для данной простейшей системы. Очевидно, что , обозначим эту величину – объем нефти, который необходимо перекачать по трубе . Предполагается, что .

Выберем число и разобьём период планирования на интервалы длиной (например, 10 минут).

Каждому интервалу сопоставим упорядоченное множество возможных расходов на этом интервале времени с учетом максимальной плана остановок и работ на сниженных режимах

Очевидно, что в случае, если в заданный интервал времени значение расхода в трубе фиксировано, то множество возможных режимов работы состоит из одного элемента.

Множество упорядочивается по возрастанию расходов, .

Введем переменные , где – номер итерации, обозначающие расход в трубе на интервале времени .

Процесс поиска оптимального решения заключается в итеративном увеличении переменных по следующей схеме:

1. Выбирается точка . Итерация . Присваиваются всем переменным начальные значения .
2. . Присваиваются всем переменным значения . Устанавливаются значения , :
   1. Производится попытка увеличить расход в трубе на интервале . Если , то переходим к пункту 2b. В противном случае, если , то решение найдено. Иначе присваиваем переменной значение ;
   2. . Если , то переходим к пункту 3. Иначе переходим к пункту 2c.
   3. . Если , то переходим к пункту 2a. Иначе переходим к пункту 2b.
3. Если , то решение найдено. Иначе переходим к пункту 2.

Схема последовательного увеличения переменных внутри итерации представлена на рисунке (рис. 2):



Рисунок 2 Схема последовательного увеличения расходов на интервалах времени

Данная схема позволяет формировать различные план-графики работы ТУ, путем выбора различных начальных точек. При этом, в худшем случае, нам понадобится итераций не более чем , включающих в себя простейшие операции сравнения и сложения, что говорит о полиномиальном росте сложности алгоритма относительно размера входных данных.

# Алгоритм 2. Задача составления план-графика работы системы «ТУ-РП-ТУ».

## Общая концепция.

Рассмотрим систему S, состоящую из двух труб и , составляющих два технологических участка и , соединенных через РП . Труба исходит от поставщика , труба приходит к потребителю (рис. 3).

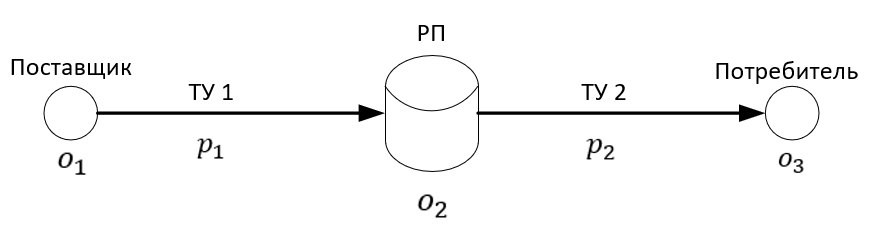


Рисунок 3 Схема ТУ-РП-ТУ

Рассмотрим «утопическую точку» для данной системы. «Утопическая точка» представляет собой постоянные расходы в трубе и , равные соответственно и . Однако, данное «утопическое» решение, как правило, не допустимо, в силу наличия ремонтных работ и отсутствия режимов, соответствующих данным расходам.

Пусть и – некоторые план-графики работы ТУ1 и ТУ2. Соответственно точка – это некоторое решение для заданной системы. Обозначим и «идеальные» план-графики работы ТУ1 и ТУ2 соответственно без учета РП («идеальные точки»), то есть фактически решение задачи «поставщик-труба-потребитель» (далее «ПТП») для каждого ТУ по-отдельности. Скорее всего, точка не будет удовлетворять ограничению на объем резервуарного парка. Введем следующее интуитивное предположение: «идеальная точка» для рассматриваемой системы будет лежать вблизи точки .

Точки и будут соответственно план-графиками перекачки объемов и , составленные для двух систем вида «поставщик-труба-потребитель». Данные точки, или близкие к ним, могут быть найдены при помощи произвольного алгоритма, например, при помощи [алгоритма 1](#_Алгоритм_1._Задача). Решение, удовлетворяющее , ищется вблизи точки , для чего используется «метод рандомизированных предпочтений».

Поиск осуществляется следующим образом:

1. Выбирается алгоритм поиска «идеальной точки» для задачи «ПТП»;
2. Методом рандомизированных предпочтений генерируется план-графиков работы системы, лежащих в области точки ;
3. Выбираем лучшее решение, основываясь на критериях .

## Генерация допустимых план-графиков.

Рассмотрим генерацию одного план-графика работы системы на основе метода рандомизированных предпочтений.

По аналогии с [алгоритмом 1](#_Алгоритм_1._Задача) для обоих труб рассматриваются интервалы времени и соответствующие им упорядоченные множества . Так же вводятся переменные . Для удобства обозначим , , и .

Пусть функция возвращают векторы и , которые являются, соответственно, решениями задачи перекачки объема через трубу 1 и 2 с фиксированными функциями расходов в этих трубах, найденными выбранным алгоритмом для задачи «ПТП».

Будем, в рамках данного алгоритма, обозначать функцию фиксированного расхода в трубах , где – итерация.

1. Итерация . Присваиваются всем переменным начальные значения
2. Итерация . Присваиваются всем переменным значения

Вводится обозначение

, показывающее значение объема нефти в РП в конце интервала времени (соответственно – объем нефти в РП в начале первого интервала). Ищется индекс

то есть наименьший индекс интервала времени, в конце которого объем нефти в РП выходит за допустимые границы;

1. Если индекс не существует, то допустимый план-график найден. В противном случае переходим к следующему шагу;
2. Формируется множество пар для каждой из которых выполняются три условия:

1) На данной паре режимов система может работать не менее, чем (либо до конца периода планирования), то есть:

где – ближайшее натуральное число, большее чем ;

2) Работая на данной паре режимов, РП не будет наполняться дальше, если резервуар перелился на интервале , или опустошаться дальше, если резервуар опорожнился ниже 0 на интервале , то есть: , где

3) На данной паре режимов система может работать не менее, чем (либо до конца периода планирования), не выведя объем нефти в резервуаре за границы допустимого интервала, то есть должно выполняться неравенство:

4) Это не должна быть пара режимов , т.к. полные остановки нефтепровода недопустимы.

1. Выбирается пара режимов . Возможны 2 варианта:
   1. Если , то это означает, что на этом шаге из всех вариантов возможно только отключение обоих трубопроводов. При этом, если пара не удовлетворяет условиям (1)-(3) пункта 4 при , то алгоритм не может найти допустимого план-графика; в противном случае , переходим к шагу 6.
   2. Если , то выбор происходит на основе вероятности выбора пары , которая определяется по следующей формуле:

где – особая функция предпочтения, которая тем больше, чем субъективно предпочтительнее выбор пары режимов на шаге . Данная функция должна быть выбрана человеком и может иметь произвольную природу, однако должна удовлетворять следующим условиям:

где под понимается, что субъективно предпочтительнее . Таким образом, случайно выбирается пара .

1. Выбирается число интервалов . Так же возможны два варианта:
   1. . В таком случае . Переходим к пункту 7.
   2. . Тогда выбираем такое время , которое будет удовлетворять следующим условиям:

1) Режим не должен работать меньше, чем (либо до конца периода планирования), и недопустим выход за пределы срока планирования, то есть:

2) Нельзя перелить или опустошить резервуар, то есть:

1. Присваиваются переменным значения

Если , то решение найдено. Иначе фиксируются все значения, левее точки :

Теперь, рассчитанные переменные и не будут изменяться для ,

т.к. расходы на этих интервалах времени зафиксированы.

1. Пересчитаем переменные и для

Возвращаемся к шагу 2.

После формирования наборов план-графиков, представленных векторами расходов и , , производится выбор лучшего план-графика на основе критериев .

## Модификации алгоритма с учетом возможных дополнительных условий.

Рассмотрим дополнительное условие данной задачи. Пусть к РП, помимо ТУ1 и ТУ2 подключены поставщики и потребители, для которых задан план-график работы на весь период планирования. Пусть заданы величины – суммарная подкачка и откачка нефти в РП по всем поставщикам и потребителям на конец интервала времени . Тогда, приведенный выше алгоритм модифицируется следующим образом:

1. На шаге 2 величина рассчитывается, как
2. На шаге 4 условие (3) заменяется на совокупность условий:
3. На шаге 6b условие (2) заменяется на совокупность условий:

Помимо этого, может быть введено дополнительное условие на минимальный и максимальный уровень РП в парке. Обозначим – максимальный и минимальный уровень РП в парке, такие, что , , , .

Тогда необходимо модифицировать подготовку данных для алгоритма следующим образом:

## О выборе параметров алгоритма и компромиссе критериев.

Для использования алгоритма генерации допустимых план-графиков, помимо выбора алгоритма решения задачи «ПТП» необходимо так же выбрать функцию (шаг 5b) и способ выбора количества интервалов (шаг 6b).

Рассмотрим некоторый интервал времени момент времени , для которого необходимо выбрать пару режимов работы системы. Можно, например, сказать, что наиболее предпочтительной парой режимов работы, будет пара режимов, наиболее «близкая» к паре, которая используется на интервале . В качестве показателя «близости» можно взять евклидово расстояние между двумя парами точек . Тогда, в рамках обозначений алгоритма (пункт 5):

где – число, обеспечивающее неравенство нулю знаменателя дроби. Увеличивая или уменьшая это число, можно регулировать степень толерантности функции к разнице между режимами и максимальное значению вероятности выбора самой лучшей пары. Данная функция обеспечивает возможность выбора режимов даже с очень большой дистанцией, что дает алгоритму возможность «исследовать» окрестность вокруг «идеальной» точки.

Стоит учитывать, что выбор режимов с нулевым расходом в трубах, где не предусмотрена остановка является не технологичным, следовательно, на выбор комбинаций с такими режимами необходимо накладывать штрафы. Например, можно вообще исключить такие комбинации из множества , если после их исключения множество не останется пустым.

Способ выбора количества интервалов времени так же должен быть задан человеком. Например, можно выбирать так, чтобы в конце интервала объем нефти в резервуарном парке был ближе всего к заданному значению (например, 50%), либо работать двумя данными режимами максимально долго, насколько это возможно. Однако, строго заданный способ выбора времени значительно уменьшает «исследовательскую» способность алгоритма. Поэтому, рекомендуется выбирать случайно, либо рандомизировано, основываясь на уже описанном принципе – чем больше субъективная предпочтительность альтернативы, тем больше вероятность ее выбора.

Важным вопросом является выбор компромиссов критериев. Одним из вариантов такого компромисса является взвешенная линейная свертка нормированных критериев. Обозначим критерии для каждой трубы , как соответственно.

В рамках нашего представления план-графиков в виде векторов критерии будут иметь следующую форму:

1. Критерий :

Наибольшее значение, которого можно достичь для данного критерия:

где обозначает объем, который необходимо перекачать по данной трубе в рамках описания данного алгоритма.

1. Критерий

где – расход электроэнергии на ТУ (т.к. в данном случае ТУ состоит из одной трубы, то ТУ отождествляется с трубой) при используемом режиме с расходом .

Очевидно, максимальный расход электроэнергии будет происходить на максимальных режимах:

1. Критерий :

где функция .

Максимальное количество переключений достигается при переключении на каждом интервале, то есть:

1. Критерий :

При этом максимальное значение данного критерия будет достигаться в том случае, если в каждый интервал времени расход будет наиболее сильно отличаться от среднего значения, то есть:

После нормировки критериев производится их взвешенная линейная свертка, и суммарный критерий по трубе будет:

где – функция, возвращающая вектор критериев для трубы , а – вектор-столбец весов каждого из критериев.

После вычисления и для труб и , необходимо найти компромисс между этими двумя критериями, что так же можно сделать взвешенной линейной сверткой, получив суммарный критерий для системы:

где – функция, возвращающая вектор суммарных критериев для каждой из труб, а – вектор-столбец весов каждого из суммарных критериев.

# Алгоритм 3. Задача составления план-графика работы системы «Транснефть «Север».