

# ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Л.Ф. Нурисламова, А.А. Юнусов, И.З. Мухаметзянов, И.М. Губайдуллин

## 1. Введение

Существенные затраты при транспортировке нефти приходится на энергопотребление технологическим оборудованием нефтеперекачивающих станций на всём протяжении участка магистрального нефтепровода. Поэтому в практике эксплуатации нефтепроводов актуальной является задача – определить схему включения насосов на НПС трассы, которая обеспечит прокачку заданного расхода с минимальными затратами на электроэнергию [1]. Решение данной задачи приведёт к снижению себестоимости транспорта нефти.

Прокачку заданного расхода можно осуществить различными способами – задавая различные варианты включения насосов на НПС, но стоимости вариантов включения могут различаться, причем различия существенны с точки зрения снижения себестоимости перекачки нефти.

Основная трудность при выборе оптимальных режимов заключается в многовариантности включения насосов (порядка  $10^8$  режимов включения) для реализации заданного расхода через ветви нефтепровода и в одновременном требовании осуществления выбора за короткое время, которое определяется производственной необходимостью. В связи с независимостью расчетов вариантов при поиске оптимальных режимов работы трубопровода целесообразно использование параллельных вычислений.

## 2. Постановка задачи

Участок магистрального нефтепровода – это совокупность нефтеперекачивающих станций (НПС) и соединяющих их отрезков линейной части магистрального нефтепровода. На каждой НПС установлено до 4-х магистральных насосных агрегатов (МНА) (рис. 1). Количество работающих насосов может изменяться от 0 до 3, где 0 означает, что на данной НПС не работает ни один насос. Возможны различные комбинации включения НПС и МНА для каждой НПС, при этом в зависимости от выбора комбинации суммарные энергозатраты сильно варьируются.

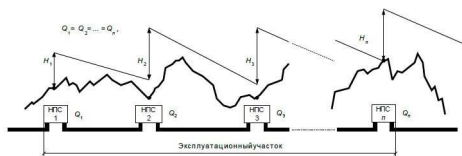


Рис. 1 Схематичное изображение напоров на выходах НПС участка МН

Ставится задача поиска оптимальных режимов работы участка магистрального нефтепровода, при котором выполняется плановая транспортировка нефти при минимально возможном суммарном энергопотреблении всех МНА участка. Для этого требуется провести оптимизацию допустимых режимов работы трубопровода и найти такой режим работы МН, при котором энергопотребление всех работающих МНА участка МН минимально. Критерием выбора оптимальных режимов из числа возможных согласно методике, изложенной в [2], служит выражение

$$E_{y\delta} = \left[ \frac{1}{\rho Q} N_{\text{ПОТР П}} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{n_{M_j}} \varphi_{jk} N_{\text{ПОТР } M_{jk}} \right] \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $N_{\text{ПОТР П}}$  – мощность, потребляемая подпорными насосами;

$N_{\text{ПОТР } M_{jk}}$  – мощность, потребляемая  $k$ -м магистральным насосом на  $j$ -й НПС;

$\varphi_{jk}$  – индекс состояния  $k$ -го магистрального насосного агрегата  $j$ -й НПС ( $\varphi_{jk} = 1$  при работающем насосе и  $\varphi_{jk} = 0$  при остановленном насосе);

$\rho$  – расчетная плотность нефти;

$Q$  – производительность нефтепровода при выбранном числе насосов.

## 3. Расчет режимов работы нефтепровода

Режим работы нефтепровода в пределах эксплуатационного участка определяется совместным решением уравнений, описывающих гидравлическую характеристику линейных участков трубопровода и напорную характеристику нефтеперекачивающих станций. При этом должны учитываться разрешенные давления, определяемые исходя из технического состояния трубопровода на каждом линейном участке, а также

ограничения на работу насосов.

Производительность нефтепровода при рассматриваемом режиме перекачки определяется из решения уравнения баланса напоров

$$h_{\Pi} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{n_M} \varphi_{jk} h_{M_{jk}} = \sum_{j=1}^n (1.02h_{ij} + \Delta z_j) + h_{OCT} \quad (2)$$

где  $h_{\Pi}$  – напор, развиваемый подпорными насосами;

$n$  – число линейных участков (нефтеперекачивающих станций);

$n_{Mj}$  – число магистральных насосов, установленных на  $j$ -й НПС;

$h_{M_{jk}}$  – напор, развиваемый  $k$ -м магистральным насосом  $j$ -й НПС;

$h_{ij}$  – потери напора на трение на  $j$ -м линейном участке трубопровода;

$\Delta z_j$  – разность геодезических отметок на  $j$ -м линейном участке;

$h_{OCT}$  – остаточный напор в конце эксплуатационного участка.

Напоры на входе и на выходе  $c$ -й перекачивающей станции должны удовлетворять технологически ограничениям по минимально допустимому подпору и максимальному напору:

$$\Delta H_c > \Delta H_{\min c} \quad (3)$$

$$\Delta H_{PCc} \leq \Delta H_{PC\max c} \quad (4)$$

Режим работы нефтепровода, отвечающий условиям (3) и (4) считается возможным, в противном случае режим отвергается. Найденные для всех возможных режимов работы нефтепровода величины  $E_{уд}$ , рассчитанные по формуле (1), наносятся на график в зависимости от  $Q$ , после чего через минимальные значения  $E_{уд}$  при каждом расходе проводится огибающая линия. Узловыми точками этой линии является множество рациональных режимов эксплуатации (рис. 2).

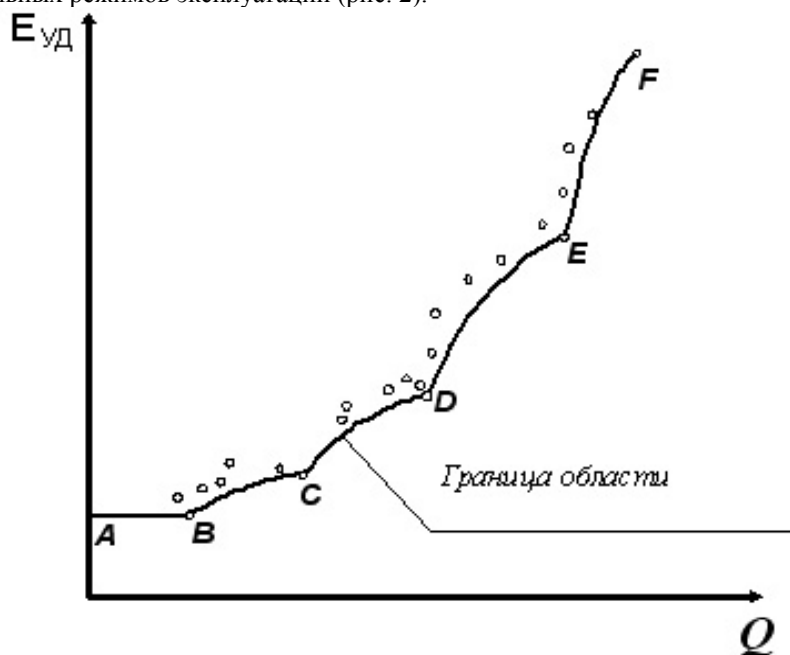


Рис 2 Определение границы области рациональных режимов

Использование режимов с минимальными значениями ЕУД позволит, во-первых, свести к минимуму энергозатраты при соблюдении объемов поставок нефти, во-вторых, снизить износ основного оборудования за счёт выбора менее напряжённых, с точки зрения работы оборудования, режимов технологической перекачки.

Разработаны алгоритмы расчета, позволяющие решить вышеуказанные задачи по определению режимов работы нефтепровода с учетом граничных условий (3)-(4), которые реализованы в программном комплексе ОПТИ РЭСТ, включающие в себя:

1. Задание трехмерной бинарной матрицы вариантов включений насосных агрегатов - каждому варианту включений насосных агрегатов соответствует матрица бинарных переменных, если в  $k$ -й комбинации насос  $i$  на НПС  $j$  работает, то  $\delta_{kji} = 1$ , иначе 0 [3].
2. Перебор всех возможных допустимых режимов комбинаций включения насосных агрегатов, обеспечивающих заданную производительность перекачки (с учетом подкачки и откачки нефти

- на трассе нефтепровода).
3. Подбор производительности по заданному варианту включения насосных агрегатов итеративным способом.
  4. Анализ каждого режима работы по критерию принадлежности к множеству допустимых режимов работы с учетом технологических ограничений.
  5. Поиск оптимальных режимов работы магистрального нефтепровода.
  6. Расчет эффективности использования электроэнергии при заданной комбинации насосно-силового оборудования на нефтеперекачивающих станциях.

Принимая во внимание число НПС, тип применяемых роторов магистральных насосов и комбинацию их включения, количество возможных режимов эксплуатации нефтепровода может достигать несколько миллионов. Например, для эксплуатационного участка с 6 станциями общее количество режимов равно  $N = (2^4 - 1) \times 2^{4 \cdot 6} = 251\,658\,240$ . Последовательная программная реализация данного алгоритма требует значительных ресурсов и расчет занимает порядка полутора часов.

#### 4. Параллельная реализация

Основное время работы занимают генерация матрицы режимов и выбор допустимых режимов работы нефтепровода, но эти этапы можно распараллелить по данным. Для данной методологии лучше всего подходят технологии OpenMP, OpenCL и CUDA. На данный момент реализована версия, использующая OpenMP.

Основные отличия между параллельной и последовательной версией показаны на диаграммах 1 и 2.

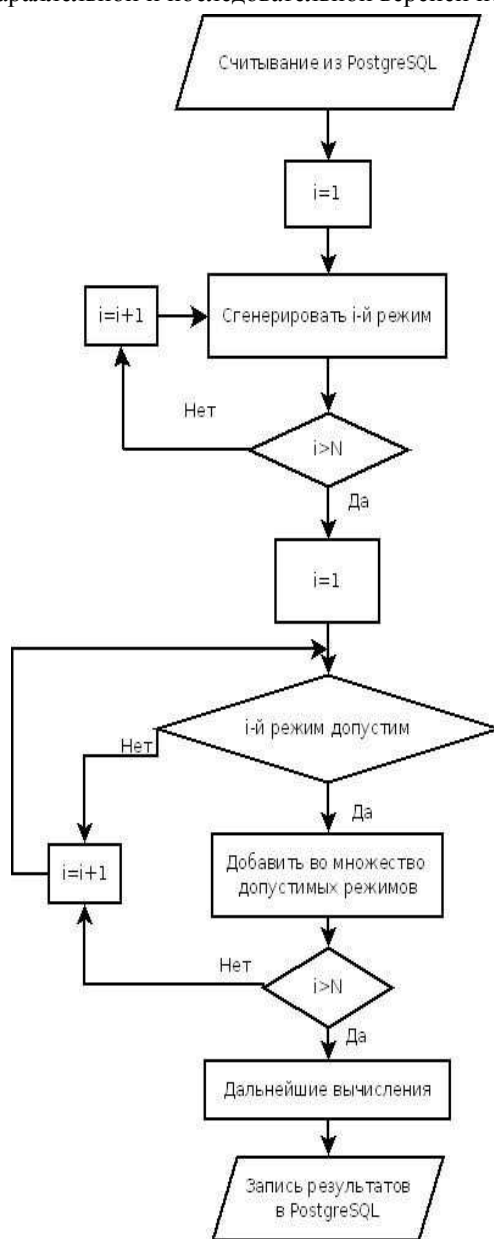


Рис. 3 Диаграмма 1. Последовательный алгоритм

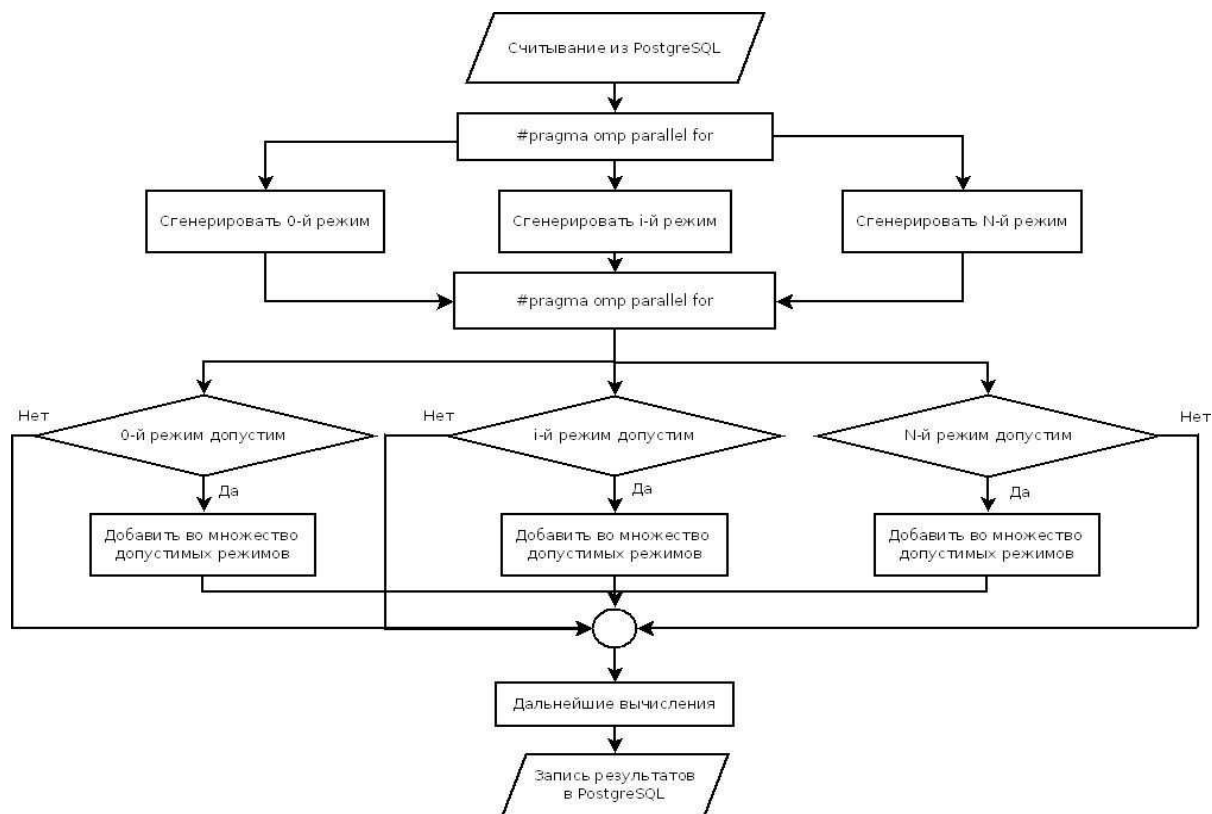


Рис. 4 Диаграмма 2. Параллельный алгоритм

Вычислительный эксперимент проводился на компьютере со следующими характеристиками: AMD Phenom X4 940 3.1 GHz, 3Gb RAM. По сравнению с последовательной программой параллельная при 4-х потоках (omp\_set\_num\_threads(4)) проработала в 3.8 раз быстрее, вместо полутора часов(90 минут), что сопоставимо со временем, необходимым для принятия технического решения.

### 5. Выводы

Разработан алгоритм распараллеливания поиска оптимальных режимов работы участка магистрального нефтепровода с целью минимизации энергозатрат при соблюдении объёмов поставок нефти. Создан программный комплекс ОПТИ РЭСТ, реализующий данный алгоритм, и проведен вычислительный эксперимент для ряда технологических участков, который показал снижение затрат на энергопотребление на 7,3%. За счет распараллеливания программы рассматриваются всевозможные режимы работы участка магистрального нефтепровода за приемлемое время, достаточное для принятия решения. В дальнейшем планируется выполнять расчет на более высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных системах и разработать более эффективный алгоритм распараллеливания перебора матрицы вариантов включения насосов.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Р.Р. Гафаров, О.Е. Данилин Двухуровневая система оптимизации работы нефтеперекачивающих станций на участке магистрального нефтепровода //Нефтегазовое дело, 2008. №2. Т. б. С. 105 -112.
2. П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак и др. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. - Уфа: "ДизайнПолиграфСервис", 2002. - 658с.
3. А.Г. Гумеров, А.А. Шутов, К.Ю. Штукатуров, В.Т. Федоров, И.В. Стрижков "Разработка методических основ программного комплекса математической модели действующего неизотермического нефтепровода" // Нефтегазовое дело, - 2006, [http://www.ogbus.ru/authors/Gumerov/Gumerov\\_4.pdi](http://www.ogbus.ru/authors/Gumerov/Gumerov_4.pdi)"- 15 с.