

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИИ НА ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Иванов В.А., Щапова Л.В.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, математическое моделирование, реологические свойства нефти, оптимизация, генетический алгоритм, энергоэффективность.

Аннотация. В работе проведено исследование влияния реологических свойств нефти (плотности и кинематической вязкости) на результаты выбора оптимальных режимов работы при помощи генетического алгоритма. Создана математическая модель технологического участка магистрального нефтепровода, приведены результаты расчетов с использованием генетического алгоритма для определения оптимальных режимов работы участка нефтепровода на основе критерия удельного энергопотребления. Установлено, что на выбор оптимального режима работы технологического участка существенно влияет фактическая кинематическая вязкость нефти. В то же время, плотность перекачиваемой нефти не оказывает существенного влияния на результаты оптимизации.

STUDY OF THE INFLUENCE OF RHEOLOGY ON THE SELECTION OF OPTIMAL OPERATING MODES OF A MAIN OIL PIPELINE USING A GENETIC ALGORITHM

Ivanov V.A., Shchapova L.V.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: main oil pipeline, mathematical modeling, rheological properties of oil, optimization, genetic algorithm, energy efficiency.

Abstract. The paper studies the influence of the rheological properties of oil (density and kinematic viscosity) on the results of selecting optimal operating modes using a genetic algorithm. A mathematical model of a technological section of a main oil pipeline is developed. The results of calculations using the genetic algorithm to determine the optimal operating modes of the technological section based on the specific energy consumption criterion are presented. It is established that the actual kinematic viscosity of oil significantly influences the choice of the optimal operating mode for the technological section. At the same time, the density of the pumped oil does not have a significant impact on the optimization results.

Введение. Трубопроводный транспорт нефти представляет обширную сетевую инфраструктуру с множеством узлов отборов и подкачек. В связи с этим большое внимание уделяется оптимизации процессов технологического цикла транспортировки по магистральным нефтепроводам, заключающееся в выборе оптимальных режимов работы технологического участка (ТУ) магистрального нефтепровода. На сегодняшний день существует множество исследований посвященных поиску оптимальных режимов работы насосного оборудования [1-4]. Однако в данных работах не рассматривается влияние изменения реологических свойств нефти на результаты поиска оптимальных режимов. Таким образом, оптимальные режимы находятся только для нефти с точно заданными параметрами реологии. В процессе транспортировки реальные партии нефти

имеют сильно отличающиеся значения плотности и вязкости в зависимости от месторождения, температуры окружающей среды, состава и расположения партий.

Описание модели. В рамках проведения исследования в программной среде MATLAB Simulink была создана математическая модель технологического участка магистрального нефтепровода. В основе модели лежит уравнение баланса напоров и технологические ограничения. Моделируемый ТУ содержит 5 нефтеперекачивающих станций (по 4 насосных агрегата на каждой), на которых реализована последовательная схема включения насосов. Схема ТУ приведена на рисунке 1.

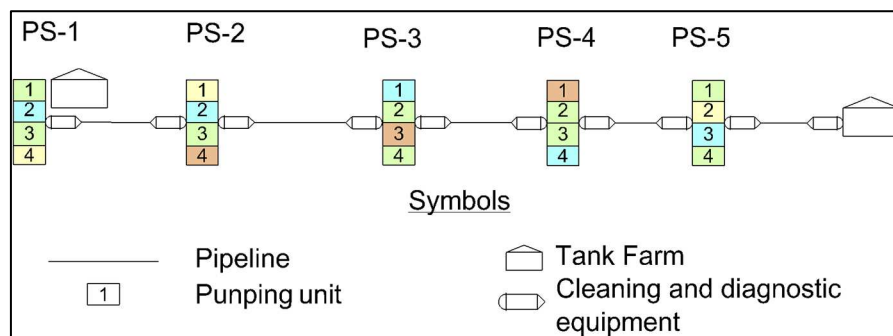


Рис. 1. Схема технологического участка магистрального нефтепровода

На рисунке 1 представлен пример схематизации ТУ для оперативного персонала. Зеленым цветом обозначено оборудование, находящееся в работе (включено), синим – в резерве, желтым – отключено (питание выключено), коричневым – в ремонте. Резервуарные парки расположены в начале и в конце ТУ (для обеспечения учета количества и контроля качества перекачиваемой нефти) и передают данные от измерительных и контролирующих приборов в информационно-диспетчерскую систему.

Режим работы системы управления магистрального нефтепровода характеризуется значением пропускной способности (объемами перекачиваемой нефти), а также значениями давления в контрольных точках данного участка. Кроме того, при расчетах режимов работы обычно учитываются реологические свойства нефти, количество и местоположение (технологический номер) задействованных в работе насосных агрегатов, а также другие параметры.

Расчет оптимальных режимов работы технологического участка нефтепровода. В качестве главного критерия оптимальности работы ТУ магистрального нефтепровода был выбран показатель удельного энергопотребления (E_{ud}). Режим работы ТУ определяется комбинацией станционных насосов, находящихся в работе. Таким образом, режим работы ТУ определяется вектором X . Каждый компонент вектора X представляет собой состояние насосного агрегата («0» – насос выключен, «1» – насос в работе), то есть $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, где $x_i \in \{0, 1\}$. Тогда задача оптимизации имеет следующий вид

$$E_{ud}(X) \rightarrow \min.$$

Кроме того, в задаче были поставлены дополнительные ограничения. На каждой нефтеперекачивающей станции ТУ в работе одновременно не может быть задействовано более двух насосных агрегатов, подключенных последовательно. Это обусловлено напорными характеристиками установленных насосов и ограничениями рабочего давления. Также на головной станции должен работать

хотя бы один насос для обеспечения условия бескавитационной работы оборудования. Для каждого ТУ разрабатывается карта технологических режимов работы с шагом в один насос, в качестве примера, было поставлено условие одновременной работы шести насосных агрегатов на всем ТУ.

Для поиска оптимальных режимов работы ТУ был выбран генетический алгоритм с параметрами: размер популяции – 50, количество поколений – 20, критерий останова – 5.

Оптимизация была проведена при трех различных значениях плотности и вязкости. При фиксированном значении $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ были взяты три значения вязкости $\nu_1 = 8 \text{ сСт}$, $\nu_2 = 10 \text{ сСт}$ и $\nu_3 = 12 \text{ сСт}$. А при фиксированной вязкости $\nu = 8 \text{ сСт}$ плотность была принята $\rho_1 = 860 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 850 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_3 = 830 \text{ кг/м}^3$.

Результаты расчетов приведены на рисунках 2 и 3.

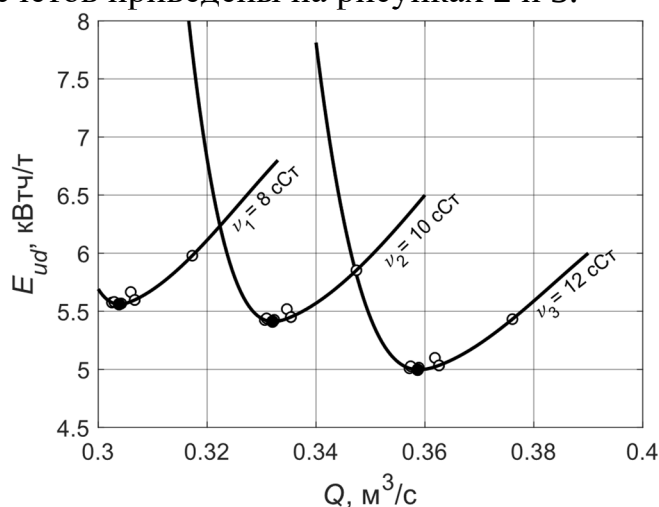


Рис. 2. Зависимость удельного энергопотребления от величины расхода при фиксированной величине $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$

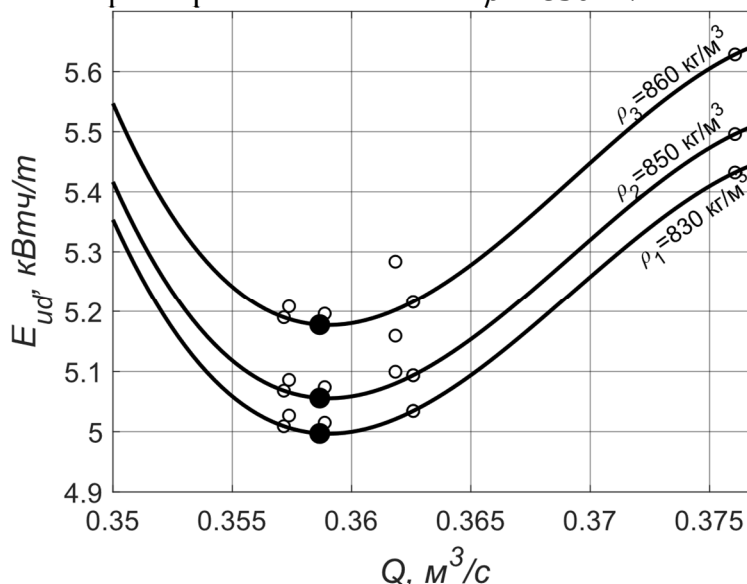


Рис. 3. Зависимость удельного энергопотребления от величины расхода при фиксированной величине $\nu = 8 \text{ сСт}$

На рисунке 2 символом (закрашенные окружности) показаны значения удельного энергопотребления для трех различных режимов работы выбранных в качестве оптимальных при помощи генетического алгоритма при фиксированной плотности. Полыми точками отмечены значения удельного энергопотребления для

неоптимальных режимов работы ТУ. При этом все три оптимальных режима работы ТУ соответствуют различным векторам X , то есть различным наборам технологического оборудования.

Таким образом, можно сделать вывод, что при поиске оптимальных режимов работы ТУ необходимо учитывать значение вязкости транспортируемого через ТУ нефтепродукта.

На рисунке 3 символом (закрашенные окружности) показаны значения удельного энергопотребления для трех различных режимов работы выбранных в качестве оптимальных при помощи генетического алгоритма при фиксированной вязкости. Полыми точками отмечены значения удельного энергопотребления для неоптимальных режимов работы ТУ. При этом все три оптимальных режима работы ТУ соответствуют одинаковым векторам X , то есть одинаковым наборам технологического оборудования.

В данном случае влияние величины плотности транспортируемого через ТУ нефтепродукта на результаты поиска оптимальных режимов по критерию удельного энергопотребления не обнаружено.

Приоритетной задачей функционирования нефтепроводных предприятий на современном этапе является оптимизация использования производственных ресурсов, направленная на повышение эффективности эксплуатации оборудования. Полученные в настоящем исследовании результаты могут быть использованы специалистами служб главного технолога в целях повышения эффективности эксплуатации магистральных нефтепроводов.

Заключение. В настоящей работе проведено исследование влияния реологических свойств нефти на результаты поиска оптимальных режимов работы ТУ. Выявлено, что изменение кинематической вязкости существенно влияет на результаты выбора оптимальных режимов работы на всем диапазоне расходов. В свою очередь плотность перекачиваемой нефти влияет только на показатель удельного энергопотребления, но не изменяет набор технологического оборудования, обеспечивающий эффективную транспортировку нефти.

Список литературы

1. Носиков Н.А., Макаричев Ю.А. Оптимизация энергосбережения режима перекачки магистрального нефтепровода // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2025. – Т. 33, №1(85). – С. 76-88. – DOI: 10.14498/tech.2025.1.6.
2. Соболев С.А., Фаттахов Р.Б., Арсентьев А.А. Оптимизация работы насосных станций в часы пиковой нагрузки энергосистемы // Нефтяное хозяйство. – 2022. – №7. – С. 61-65. – DOI: 10.24887/0028-2448-2022-7-61-65.
3. Ревель-Муроз П.А., Фридлянд Я.М., Кутуков С.Е., Гольянов А.И. Оценка гидравлической эффективности нефтепроводов по данным мониторинга технологических режимов эксплуатации // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – Т. 9, №1. – С. 8-19. – DOI: 10.28999/2541-9595-2019-9-1-8-19.
4. Мызников М.О. Оптимизация режимов и энергоресурсосбережение при транспортировке углеводородов // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2017. – №12(72). – С. 52-57.

Сведения об авторах:

Иванов Вадим Андреевич – старший преподаватель;

Щапова Лия Владимировна – старший преподаватель.