

УДК 622.691.4

Д.Р. Макулов, В.В. Уланов, Р.А. Шестаков
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОТКАЧКАХ НА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

В данной статье рассматривается изменение режима работы магистрального нефтепродуктопровода при периодических откачках нефтепродукта на промежуточной перекачивающей станции.

Ключевые слова: откачка, подпор, перекачивающая станция, нефтебаза.

D.R. Makulov, V.V. Ulanov, R.A. Shestakov
Gubkin University of oil and gas, Russia, Moscow

INVESTIGATION OF THE OPERATING MODE OF THE OIL PRODUCT PIPELINE DURING PERIODIC PUMPING AT AN INTERMEDIATE PUMPING STATION

This article discusses the change in the operating mode of the main oil product pipeline during periodic pumping of oil products at an intermediate pumping station.

Keywords: pumping, backup, pumping station, tank farm.

Трубопроводный транспорт на сегодняшний день играет важнейшую роль в своевременном обеспечении потребителей необходимым количеством топлива. Так, нефтепроводы прокладывают от месторождений до нефтеперерабатывающих заводов или до других объектов потребителя. Благодаря трубопроводам осуществляется транспортировка колоссальных объемов нефти и нефтепродуктов в разные уголки не только страны, но и континента [1-3]. В последнее время также часто применяют перекачку только одного нефтепродукта по нефтепродуктопроводу.

Так как трубопроводы проходят вблизи большого количества населенных пунктов различных регионов, то для обеспечения потребителей от магистрального нефтепродуктопровода сооружаются трубопроводы отводы на местные нефтебазы. Для заполнения резервуаров используют периодические отборы нефтепродукта из магистрального трубопровода. Такие откачки можно производить как непосредственно с промежуточной перекачивающей станции, так и на линейном участке между станциями. При незначительных сбросах (откачках) расчет нефтепродуктопровода проводят без их учета. Однако периодическая откачка продукта из нефтепродуктопровода сильно влияет на параметры работы перекачивающих станций, находящихся после места откачки, так как при больших

объемах сброса меняется технологический режим перекачки. В таких случаях приходится проводить регулировку работы перекачивающих станций [4].

Поэтому исследование данных технологических процессов является важной задачей трубопроводного транспорта, решение которой позволяет сбалансировано использовать оборудование перекачивающих станций.

На перекачивающих станциях применяются регуляторы давления и расхода, которые способствуют поддержанию заданных параметров перекачки [1]. При откачке нефтепродукта происходит изменение расхода и, как следствие, остальных параметров перекачки на перекачивающих станциях расположенных после места откачки. Часть трубопровода до сброса (откачки) называется левой, а часть, находящаяся после откачки и до конечной или перевальной точки – правая.

Для определения параметров перекачки нефтепродукта при откачке на промежуточной нефтеперекачивающей станции используем систему координат относительного трубопровода, состоящего из n перекачивающих станций (НПС). Откачка будет вестись на НПС. Перекачка нефтепродуктов проводится в рабочей зоне с координатами $x \in [0; L]$.

Так как откачка происходит на промежуточной станции, то достаточно задать координаты и высотные отметки НПС $\{x_i, z_i\}$ (x_i - координата станции, км, z_i – высотная отметка, м)

Кроме того необходимо задать ряд других характеристик трубопровода и нефтепродукта:

- 1) ρ – плотность, кг/м³;
- 2) ν – кинематическая вязкость, м²/с;
- 3) D_k – внешний диаметр участка, мм;
- 4) p_n – начальное давление, МПа;
- 5) L – длина трубопровода, км;
- 6) δ_k – толщина стенки участка, мм;
- 7) Δ – абсолютная шероховатость стенки, мм;
- 8) G – массовый расход, млн. т/год;
- 9) q – расход откачки, м³/ч;
- 10) n – количество перекачивающих станций;
- 11) c – номер НПС, на которой осуществляется откачка.

На начальном этапе расчета вычисляется ряд параметров, необходимых для гидравлического расчета, а именно:

- внутренний диаметр трубопровода, принимаемый одинаковым на всем технологическом участке:

$$\circ d = D - 2 \cdot \delta; \quad (1)$$

- диапазон граничных чисел Рейнольдса:

$$- 10 \cdot \frac{d}{\Delta}; \quad (2)$$

$$- 500 \cdot \frac{d}{\Delta}; \quad (3)$$

- Объемный расход нефтепродукта до сброса (откачки):

$$- Q = \frac{G}{\rho}; \quad (4)$$

- Объемный расход нефтепродукта после откачки:

$$- Q_* = Q - q. \quad (5)$$

- Скорость течения нефтепродукта по трубопроводу:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad (6)$$

Далее производится базовый гидравлический расчет нефтепродуктопровода. Исходя из чисел Рейнольдса для начального расхода, определяется коэффициент гидравлического сопротивления – λ по классическим формулам гидравлики [5] или согласно нормативным документам [6].

Далее выбирается насосное оборудование по $Q - H$ характеристике существующих насосов, которое позволит перекачивать нефтепродукт в заданных рабочих параметрах, и определяются коэффициенты аппроксимации напорных характеристик по формулам [1].

Для определения количества работающих магистральных насосов, соединенных последовательно, рассчитываются потери до станции, где производится откачка [7]:

$$h = 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{L_c}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}. \quad (7)$$

Составляется уравнение баланса напоров для левой части нефтепродуктопровода:

$$h_{\text{нп}} + (c - 1) \cdot F(Q) = (z_c - z_0) + h_{\text{пс}} + 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{L_c}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}. \quad (8)$$

Из формулы (8) вычисляется подпор на станции, где осуществляется сброс (откачка) нефтепродукта.

Далее проводится гидравлический расчет для расхода Q_* после откачки аналогично расчету для левой части нефтепродуктопровода.

Затем по потерям напора в трубопроводе определяется необходимый напор перекачивающей станции после откачки, по которому определяется режим работы станции, решается вопрос о регулировании.

Кроме того, необходимо определить значения критического расхода и откачки, при которых подпор перед станцией сброса будет минимальным, то есть

минимальный подпор, обеспечивающий безкавитационную работу магистрального насоса.

Критический расход определяется по балансу напора для левой части трубопровода по формуле:

$$Q_{кр} = \sqrt{\frac{\Delta H + (c-1) \cdot a - (z_L - z_0) - h_{nc(\min)}}{(c-1) \cdot b + 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{L_c}{d^5} \cdot \frac{8}{\pi \cdot g}}}, \quad (9)$$

где: a, b – коэффициенты насоса;

$h_{nc(\min)}$ – минимальный подпор, обеспечивающий безкавитационную работу магистрального насоса, м.

Важным условием является то, что при расчете критического расхода режим течения остается таким же, как и при заданном расходе, то есть коэффициент гидравлического сопротивления остается таким же, как при начальном расходе Q .

Для определения значения критической откачки необходимо составить уравнение баланса напоров для правой части трубопровода:

$$h_{nc(\min)} + (n+1-c) \cdot F(Q_{кр}) = (z_L - z_c) + h_{нЛ} + 1,02 \cdot \lambda_* \cdot \frac{L - L_c}{d} \cdot \frac{v_*^2}{2 \cdot g}, \quad (10)$$

где $F(Q_{кр})$ – дифференциальный напор, развиваемый НПС после откачки при критическом расходе.

Тогда, критическая откачка определяется по формуле:

$$q_{кр} = Q_{кр} - \sqrt{\frac{h_{nc(\min)} + (n+1-c) \cdot a - (z_L - z_c) - h_{пк(он)}}{(n+1-c) \cdot b + 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{(L_L - L_c)}{d^5} \cdot \frac{8}{\pi \cdot g}}}, \quad (11)$$

Определяется количеством последовательно включенных насосов, которое выбирается по потерям напора на линейном участке после станции.

Результаты расчета, произведенного с помощью ранее описанного алгоритма, показывают, что при значительных сбросах (откачках) нефтепродукта, потери напора на правом участке нефтепродуктопровода уменьшаются из-за уменьшения расхода, поэтому для сбалансированного использования насосных агрегатов перекачивающей станции и экономии электроэнергии необходимо проводить регулировку работы станции. Так как насосные станции технологического участка оборудуются преимущественно однотипными насосными агрегатами, поэтому при периодической значительной откачке невозможно проводить регулировку насоса применением частотного регулирования привода или обточкой колеса. В таких случаях регулировку производят с помощью отключения одного или нескольких насосных агрегатов.

Таким образом, было исследовано изменение технологического режима трубопровода при периодических откачках нефтепродукта на промежуточной

перекачивающей станции, определено, что при значительных откачках необходимо отключать часть насосных агрегатов для наиболее экономически эффективной работы перекачивающей станции.

Список литературы

1. Лурье М.В., Мастобаев Б.Н., Ревель-Муроз П.А., Сощенко А.Е. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов: Учебник для нефтегазовых вузов. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2019. – 434 с.
2. Дейнеко С.В., Алихашкин А.С., Шестаков Р.А., Уланов В.В. Основное технологическое оборудование и процессы транспорта нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]: учебное пособие – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – Режим доступа: <http://elib.gubkin.ru/content/23045> (дата обращения: 28.11.2020).
3. Ванчугов И.М. Компьютерное моделирование процессов смесеобразования при последовательной перекачке нефти и нефтепродуктов / В сборнике тезисов 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ - 2019» в 5 т. Т.2. – 2019. – С. 106-107.
4. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учебное пособие для вузов / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1988. – 368 с.
5. Лурье М.В. Теоретические основы трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Недра, 2017. – 477 с.
6. РД 24.040.00-КТН-062-14. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Магистральные нефтепроводы. Нормы проектирования. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2014. – 165 с.
7. Поляков В.А., Шестаков Р.А. Системный подход к проектированию трубопроводов [Электронный ресурс]: учебное пособие - М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – Режим доступа: <http://elib.gubkin.ru/content/22990> (дата обращения: 29.10.2020).

Сведения об авторах

Макулов Динар Ранисович – студент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, email: d.makulov99@yandex.ru

Уланов Валерий Владимирович – ассистент кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, e-mail: ulanov.v@gubkin.ru

Шестаков Роман Алексеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры нефтепродуктообеспечения и газоснабжения, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, e-mail: shestakov.r@gubkin.ru

About the authors

Makulov Dinar Ranisovich – Student of Gubkin University, Moscow, email: d.makulov99@yandex.ru

Ulanov Valeriy Vladimirovich – assistant of the department of Gas and Oil Pipelines Engineering and Operation National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, e-mail: ulanov.v@gubkin.ru

Shestakov Roman Alexeevich – Candidate of technical Sciences, senior lecturer of the petroleum products and gas supply department National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, e-mail: shestakov.r@gubkin.ru