

Горизонты развития энергоэффективной транспортировки нефти
Карсаков Кирилл Борисович, студент магистратуры, guil1698@yandex.ru, 89143413938
Че Чхан Соль, бакалавр, romache130@gmail.com, 89147984244

Владивостокский государственный университет
Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток

Аннотация

В данной статье рассмотрена проблема энергоэффективной транспортировки нефти с Сибирских месторождений по магистральному нефтепроводу «Восточная Сибирь – Тихий океан». Целью работы является сравнение агрегата, произведённого «Группой ГМП», с другими наиболее популярными моделями. Насосное оборудование оказывает огромное влияние на энергетические потери при транспортировке жидких углеводородов. Для наиболее точного определения проблемы разобраны основные характеристики уникального оборудования, установленного на нефтеперекачивающих станциях ВСТО. А также произведён сравнительный анализ данного оборудования с наиболее популярными зарубежными аналогами.

Ключевые слова

Нефть, транспортировка, последовательное соединение, параллельное соединение, энергоэффективность, насос

Horizons for the development of energy-efficient oil transportation
Karsakov Kirill Borisovich, master's student, guil1698@yandex.ru, 89143413938
Che Chkhan Sol, student, romache130@gmail.com, 89147984244

Vladivostok State University
Russian Federation, Primorsky Krai, Vladivostok

Annotation

This article examines the problem of energy-efficient transportation of oil from Siberian fields via the Eastern Siberia - Pacific Ocean main oil pipeline. The purpose of the work is to compare the unit produced by the GMP Group with other most popular models. Pumping equipment has a huge impact on energy losses during the transportation of liquid hydrocarbons. To most accurately determine the problem, the main characteristics of the unique equipment installed at ESPO oil pumping stations are analyzed. A comparative analysis of the equipment of this equipment with the most popular foreign analogues was also carried out.

Keywords

Oil, transportation, series connection, parallel connection, energy efficiency, pump

В 1878 году братья Нобели в Америке создали первый трубопровод, сделанный из металла. В последующие годы технология транспортировки нефти только совершенствовалась: улучшалось и изобреталось новое оборудование, увеличивались объемы перекачки и так далее. На территории Российской Федерации самым технологичным способом транспортировки жидких углеводородов, безусловно, является магистральный нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан» (далее ВСТО). Нефтепроводная система ВСТО была возведена компанией ОАО «АК «Транснефть» и, по своей сути, является уникальным сооружением. Достаточно указать, что давление в магистральном трубопроводе достигает 10 МПа, производительность нефтепровода на начальных этапах после окончания строительства достигала 30 млн т, планируется увеличение производительности до 80 т, протяженность нефтепровода составляет 4857 км. Трубопровод пролегает в сложных гидрогеологических условиях. Магистраль состоит из двух участков: город Тайшет – город Сковородино (данный участок получил название «ВСТО-1»), второй участок начинается в Сковородино и кончается в порту

Козьмино («ВСТО-2»). Остановимся более подробно на МН ВСТО.

Выбор последовательного или параллельного включения насосов в целях повышения эффективности работы перекачивающей системы

Все магистральные трубопроводы делят на небольшие участки, которые называют эксплуатационными. Протяженность таких участков в среднем от 150 до 600 км. На границе между эксплуатационными участками возводят нефтеперекачивающие станции (далее НПС), которые работают по принципу «из насоса в насос». НПС устанавливаются на таких расстояниях по трассе трубопровода, чтобы дифференциальный напор, создаваемый насосами на станции, соответствовал потерям в трубопроводе с учетом разности высот расположения НПС. Кроме того, из условия прочности давление на выходе НПС не должно превышать предельное давление в трубопроводе, а также должен быть обеспечен необходимый подпор на следующей НПС для безкавитационной работы магистральных насосов. Отсутствие кавитации в магистральном нефтепроводе является одной из главных задач инженеров, проектирующих нефтяную нитку. На первой НПС (с резервуарным парком) подпор для магистральных насосов обеспечивается дополнительными насосами, которые так и называются подпорные насосы. Чтобы поддерживать устойчивую перекачку жидких углеводородов, на НПС, чаще всего, устанавливают три основных насоса и один резервный. Считается, что именно такого количества достаточно, чтобы справиться с непредвиденными событиями на нефтеперекачивающих станциях. В подавляющем большинстве случаев расход по трубопроводу в начале его эксплуатации составляет лишь часть от проектного и увеличивается по мере освоения месторождений. При этом линейная часть трубопровода строится сразу на полный проектный объем перекачки нефти, потому что в дальнейшем не получится изменить параметры трубопровода. Размещение НПС и насосы также выбираются из условий проектной перекачки продукта, но строятся сначала не все запроектированные НПС, а только необходимые для данной стадии развития нефтепровода. Так, например, для развития с расходом $0,5Q$ проектного вводятся в эксплуатацию НПС через 3 от проектных, а для развития $0,7Q$ – через одну, и только при полном развитии вводятся в эксплуатацию все НПС (рисунок 1).

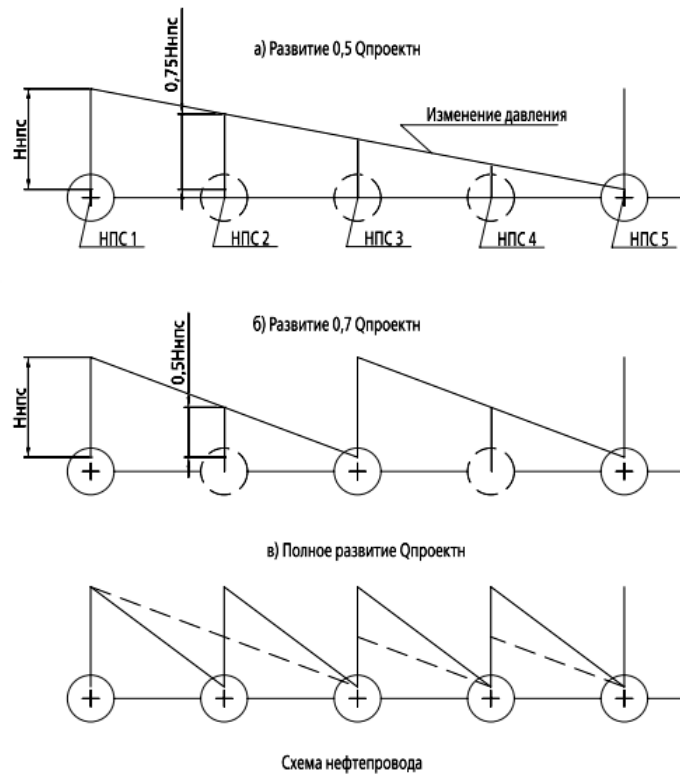


Рисунок 1 – Схемы использования НПС в зависимости от мощности магистрального нефтепровода

Согласно законам гидромеханики, предпочтительным для равнинного расположения НПС является последовательное соединение полнорасходных насосов (рисунок 2), для участков НПС с большим статическим перепадом высот – параллельно работающие полнонаборные насосы (рисунок 3) [1]. Тип насоса и его конструкция выбираются согласно схемы подключения насосов на НПС. Как правило, для последовательной схемы применяются насосы одноступенчатые двухстороннего входа типа ВВ1, а для параллельной – многоступенчатые ВВ3 или ВВ4 [2]. Большинство трубопроводов, пролегающих на территории России, оснащены насосами типа ВВ 1, так как располагаются на равнинной местности. Магистральный нефтепровод ВСТО не является исключением и так же оснащён насосами типа ВВ1.

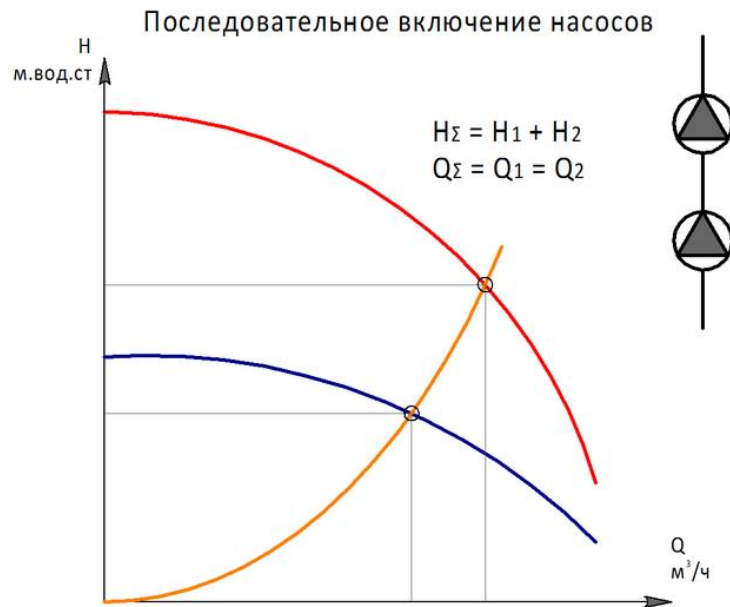


Рисунок 2 – Схема последовательного подключения насосного оборудования и график характеристик при данном типе подключения

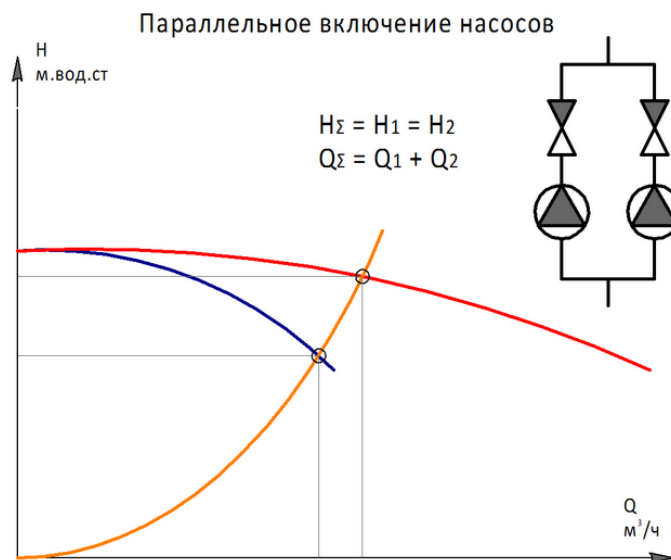


Рисунок 3 – Схема параллельного подключения насосного оборудования и график характеристик при данном типе подключения

Повышение энергоэффективности насосов для магистрального транспорта нефти

Для роста мощности нефтеперекачивающих систем необходимы инновационные решения в насосном оборудовании, к которому предъявляются повышенные требования по эффективности, надежности и безопасности. Для нефтепровода ВСТО были созданы уникальные насосные агрегаты силами предприятий российского холдинга «Группа ГМС» в содружестве с ведущими мировыми производителями комплектующих для насосных агрегатов: Siemens, Voith, EagleBurgmann (Германия) и ОАО «Элсиб», ЗАО «Газхолдтехника» (Россия) и др. Уникальное оборудование состоит из: насоса, гидромолты или частотного преобразо-

вателя, приводного двигателя, локальных систем жизнеобеспечения агрегата: маслосистемы, системы сепарации и охлаждения рабочего и смазочного масла, системы жизнеобеспечения торцовых уплотнений, системы автоматического контроля за работой агрегата и его управления. Отличительной особенностью созданного агрегата по отношению к аналогичным агрегатам, устанавливаемым ранее на первой очереди рассматриваемого магистрального нефтепровода, является число оборотов насоса и привода.

В новом оборудовании «Группы ГМС» число оборотов насоса составляет 3000 об/мин, такое же количество оборотов и у привода, поэтому отсутствует необходимость устанавливать дополнительное оборудование. У ранее установленных моделей частота вращения насоса лежала в пределах от 2400 до 2800 об/мин, частота вращения привода – 1500 об/мин. Разность частоты вращения насоса и привода вынуждала устанавливать мультипликатор, а это приводило к:

- увеличению габаритов насосного агрегата и насосной станции в целом и, как следствие, капитальных затрат;
- снижению коэффициента полезного действия оборудования, в среднем, на 1,0...2,0%;
- необходимости увеличения производительности маслоустановки со сложной системой охлаждения масла.

Приоритетными при создании оборудования являлись задачи обеспечения энергоэффективной и надежной работы агрегатов, что достигнуто за счет создания экономичного насоса и выбора соответствующих комплектующих. По конструкции насос – двухпоточный с полуспиральным подводом и спиральным отводом (либо с направляющим аппаратом и спиральным отводом), межопорный, горизонтальный, с уплотнениями торцового типа, опорными и упорным подшипниками скольжения [4]. При достижении стадии полного развития нефтепровода ($1 \cdot Q_{ном}$) экономичность агрегата «Группы ГМС» составляет 90%, что ничуть не уступает ведущим образцам Западных производителей (рисунок 4).

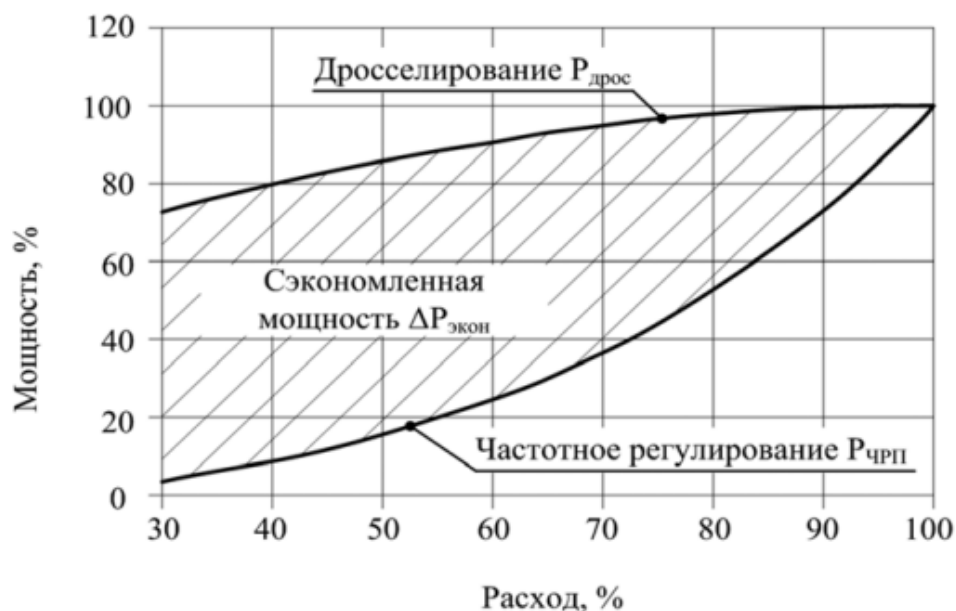


Рисунок 4 – График зависимости мощности насоса «Группы ГМС» от расхода

Но стоит отметить то, что высокую экономичность оборудования необходимо поддерживать не только на этапе максимальной производительности магистрального нефтепровода, но и на всех предшествующих этапах, когда подача насоса значительно меньше заявленной (номинальной). Чаще всего для регулирования экономичности насосного оборудова-

ния использовались сменные колёса различного диаметра. Процедура замены колёс позволяла немного повысить экономичность используемого агрегата, а также снизить его виброактивность. Тем не менее принципиально это картины не меняло. Решение задачи было найдено за счет применения не только сменного рабочего колеса, но и установки дополнительно направляющего аппарата [3]. Чтобы инженеры пришли к данному решению, был проведён целый комплекс работ теоретических и исследовательских работ применения различных вариантов направляющего аппарата с применением численных методов СФХ. Результатом долгих изнурительных исследований стал тот факт, что экономичность насоса на $0,5 \cdot Q_{\text{ном}}$, $0,7 \cdot Q_{\text{ном}}$ и $1 \cdot Q_{\text{ном}}$ является практически идентичной. Не стоит забывать о том, что при работе насосного оборудования необходимо регулировать подачу. Известны два способа регулирования подачи: дросселированием потока и изменением частоты вращения ротора насоса. После проведения сравнительного анализа двух описанных методов становится очевидным тот факт, что энергосбережение способом регулирования частоты вращения ротора является наиболее эффективным. С результатом полного анализа можно ознакомиться в статье «Сравнение эффективности способов регулирования насосных агрегатов» А.Ф. Фахретдинова [5].

При этом также:

- снижаются величины пусковых токов электродвигателя вплоть до уровня номинальных, что исключает необходимость применения устройств плавного пуска;
- снижается потребление реактивного тока из питающей сети;
- практически не нарушается характер обтекания потоком элементов проточной части, что не приводит к возникновению неравномерности и пульсаций потока, обратных токов и, как следствие, к повышению динамического воздействия на элементы конструкции [4].

Регулировать частоту вращения ротора магистрального насосного агрегата можно двумя способами: регулирование частоты вращения при помощи гидромолоты и путём изменения частоты тока, который питает электродвигатель, преобразователем частоты. Каждый из способов, разумеется, имеет свои сильные и слабые стороны.

Решение о комплектации рассматриваемых агрегатов принимается генеральным проектантом объекта и Заказчиком в каждом конкретном случае отдельно путем комплексного анализа влияния методов регулирования на все составляющие НПС. На первом участке магистрального нефтепровода (ВСТО-1) регулирование частоты оборотов ротора происходит при помощи частотного преобразователя, на втором участке (ВСТО-2) – при помощи гидромолоты. Для проведения испытаний созданных магистральных насосов инженерами "Группы ГМС" был разработан специальный стенд, на котором проводились испытания. Установленная мощность стенда достигает 14 МВт. Тестовое оборудование представляет собой натуральную модель нефтеперекачивающей станции (далее НПС) и предусматривает комплексное испытание всех элементов и систем агрегата на всех режимах работы, а том числе на аварийных. В 2019 году компания "АК "Транснефть" завершила строительство трёх последних промежуточных НПС на участке ВСТО-1 (НПС №2, 5, 7), после чего данный участок магистрального нефтепровода вышел на проектную производительность в 80 миллионов тонн нефти в год. В 2020 году на участке ВСТО-2 были открыты НПС-23 и НПС-26, наличие которых позволило выйти на мощность в 50 миллионов тонн нефти в год. На всех выше перечисленных НПС установлены насосные агрегаты, которые были рассмотрены в данной статье. Результаты всевозможных проверок подтвердили технические характеристики нового оборудования.

В заключение следует отметить, что проблема повышения энергоэффективности магистрального транспорта нефти – вопрос, требующий комплексного подхода и коллективного

взаимодействия всех участников проекта: Заказчика, генерального проектанта нефтепровода, разработчика насосов и поставщиков основного комплектующего оборудования для насосных агрегатов. Это особо сложная научно-техническая задача, для решения которой инженерам помогает только накопленный за годы работы по созданию подобных перекачивающих систем, а также применение современных программных средств по вычислительной гидромеханике, инструментов твердотельного моделирования, конечно, элементарного анализа и т.п.

Список использованных источников

1. Твердохлеб И.Б., Визенков Г.В., Бирюков А.И., Беккер Л.М. Нефтяные магистральные насосы: параллельное или последовательное включение на НПС / Наука и технологии. – № 2. – 2011. – С. 17–19.
2. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. ANSI/API Standard 610.
3. Патент РФ №57393 «Центробежный насос с рабочим колесом двустороннего входа».
4. Твердохлеб И.Б., Визенков Г.В., Бирюков А.И. Новые возможности энергоэффективной транспортировки нефти / Территория нефтегаз. – №6. – 2012. – С. 98–100.
5. Фахретдинов А.В. Сравнение эффективности способов регулирования насосных агрегатов / Форум молодых учёных. – №11 (27). – 2018. – С. 779–783.