

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Павлодарского государственного университета имени С. Торайғыров

ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

№ 3 (2017)

Павлодар

А. Д Смаилова¹, В. В. Рындин²

¹магистр, ведущий инженер отделения обеспечения качеством ЦЗЛ-ОТК, АО «Казахстанский электролизный завод», г. Павлодар; ²к.т.н, профессор, кафедра «Механики и нефтегазового дела», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар
e-mail: ainelya_1991@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ СМЕНЕ РЕЖИМА РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

При проектировании магистрального нефтепровода насосное оборудование подбирается таким образом, чтобы при расчётной пропускной способности трубопровода рабочая точка системы «насосные станции – трубопровод» лежала в рабочей зоне насосов, то есть в области их максимального КПД. В этом случае работа насосов будет экономичной и затраты энергии на перекачку нефти будут минимальными. Однако по ряду причин положение рабочей точки системы «насосные станции – трубопровод» выходит за пределы экономичной зоны работы насосов, что приводит к перерасходу энергии на транспортировку нефти. В связи с этим смещение рабочей точки в область высоких КПД насосов при изменении режима работы нефтепровода является актуальной задачей эксплуатации магистральных нефтепроводов.

В статье дан анализ причин изменения технологических параметров магистральных нефтепроводов, описаны методы регулирования режимов работы нефтепровода и предлагается метод, снижающий затраты энергии на перекачку нефти по магистральному нефтепроводу.

Ключевые слова: энергия, магистральный нефтепровод, методы регулирования режимов, частота вращения, коэффициент полезного действия.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация магистрального нефтепровода характеризуется определенным режимом работы. Под режимом работы предполагается совокупность значений технологических параметров: пропускной способности трубопровода (расхода) и давления в трубопроводной системе.

Исходя из анализа классификаций методов регулирования режима работы нефтеперекачивающих станций (НПС) можно выделить основные факторы, непосредственно влияющие на изменение нагрузки на рабочих колесах центробежных насосов:

- ритмичность работы поставщиков и потребителей нефти;
- колебания плотности и вязкости при перекачке нефтей различных месторождений и разнородных нефтепродуктов, а также вызванные сезонными изменениями температуры грунта в зонах залегания трубопровода;
- уменьшение внутреннего диаметра трубопровода в результате отложения парафиновой корки;
- изменение схемы включения насосов, подключения резервуаров;
- ремонтные планово-предупредительные и внеплановые работы, связанные с аварийными ситуациями на нефтеперекачивающих станциях и линейной части магистрального трубопровода;
- пропуск очистных устройств.

Такая классификация наиболее полно отражает факторы, которые возникают в период эксплуатации трубопроводных систем и влияют на режим их работы. В зависимости от этих факторов изменяется режим течения нефти по трубопроводу, что приводит к смещению рабочей точки системы «НПС-нефтепровод» и к необходимости её регулировки для поддержания рабочей точки в зоне высоких кпд магистральных насосных агрегатов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходя из анализа причин изменения технологических параметров магистральных нефтепроводов, можно заключить, что при эксплуатации систем трубопроводного транспорта существует неравномерность режима работы данных систем, выраженная в изменении расхода и давления в нефтепроводе во времени.

При проектировании магистрального нефтепровода на основании технико-экономического обоснования выбирается метод регулирования режима работы магистрального нефтепровода. Необходимость регулирования режима работы системы «нефтеперекачивающие станции – магистральный нефтепровод» обусловлена экономией энергии на перекачку единицы объема (массы) нефти по магистральному нефтепроводу.

Смысл регулирования состоит в том, чтобы напорные характеристики Н магистрального нефтепровода и (НПС) пересеклись в рабочей зоне. Данная точка системы определяет рабочие точки отдельных насосов, входящих в систему.

Описание методов регулирования режима работы магистрального нефтепровода приводится во многих трудах, связанных с исследованием и описанием систем трубопроводного транспорта [2–5].

В частности, существует классификация методов регулирования режима работы НПС, способы их осуществления и анализ эффективности их применения в конкретных условиях эксплуатации.

Исходя из уравнения баланса напоров, для магистральных нефтепроводов, методы регулирования можно разделить на методы, связанные с изменением параметров НПС, и методы, связанные с изменением параметров магистрального трубопровода (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1 методы, связанные с изменением параметров нефтеперекачивающих станций, основываются на регулировании характеристик магистрального насосного оборудования нефтеперекачивающих станций, а методы, связанные с изменением параметров трубопровода, основываются на изменении гидравлического сопротивления трубопровода.



Рисунок 1 – Методы регулирования режимов работы нефтепровода, исходя из уравнения баланса напоров

Методы регулирования режимов работы нефтепровода можно также классифицировать по степени плавности регулирования: на методы плавного и ступенчатого регулирования (рисунок 2).



Рисунок 2 – Методы регулирования режимов работы НП по степени плавности регулирования

Изменение количества работающих насосов и изменение схемы соединения насосов на НПС. Данные методы являются ступенчатыми и задают варианты строго дискретного изменения расхода и давления. Для вариантов включения работающих магистральных насосов рассчитываются рабочие режимы. Кроме этого, необходимо учитывать крутизну гидравлических характеристик участков магистральных нефтепроводов, работающих при такой схеме регулирования.

Если рассматривать геодезические условия трассы магистрального нефтепровода, то для равнинного расположения магистрального нефтепровода и НПС наиболее приемлемым, с точки зрения энергоэффективности, является последовательное соединение центробежных насосов, а на НПС перед участком с большим статическим перепадом следует устанавливать полнонапорные насосы, включённые параллельно.

Данный метод управления характерен высокими потерями электроэнергии на переключение между режимами и относительно низким КПД ввиду того, что производительность насосов, равная производительности трубопровода, далека от значения номинальной производительности, при которой достигается максимальный КПД насоса.

Замена и изменение диаметра (обточкой) рабочего колеса насосов. Большинство магистральных центробежных насосов укомплектовано сменными рабочими колесами на 0,5; 0,7 и 1,25 от номинальной подачи, которые имеют различные гидравлические характеристики. Такой метод регулирования насосов нельзя считать плавным, так как частая смена колес насосов практически невозможна.

Метод регулирования обточкой рабочих колес центробежных насосов заключается в уменьшении (обточкой) наружного диаметра рабочих колёс. Данный метод имеет большой недостаток – нельзя вернуть прежний диаметр рабочего колеса, кроме того, обточка не допускается более чем на 20 %, в этом случае КПД падает не более чем на 1–3 %.

Дросселирование. Регулирование режима работы НПС дросселированием состоит в изменении сопротивления потоку жидкости путем сужения площади его поперечного сечения при помощи регуляторов давления, установленных на узлах регулирования НПС. Дросселирование осуществляют в напорном трубопроводе, так как дросселирование во всасывающем трубопроводе связано с возможностью возникновения кавитации [1].

Данный метод регулирования неэкономичен, т.к. НПС непроизводительно развивает излишний напор, что увеличивает стоимость транспорта нефти. Потери при дросселировании могут достигать 15–20 % от мощности затраченной электроэнергии на привод насосов [2].

Метод дросселирования целесообразно применять для насосов, имеющих пологую напорную характеристику, причем потери энергии на дросселирование не должны превышать 2 % энергозатрат на перекачку.

Перепуск части жидкости во всасывающую линию (байпасирование).

Метод регулирования перепуском (метод байпасирования) состоит в перепуске части жидкости с выхода насоса вновь на его вход. При этом происходит изменение характеристики трубопроводной системы, на которую работает насос и изменяется месторасположение рабочей точки НПС. Это влечёт за собой изменение режима работы нефтепровода и дополнительные потери энергии. При этом производительность нефтепровода всегда только снижается. В практике эксплуатации систем магистральных нефтепроводов данный метод применяется редко, и обычно приемлем на головных НПС, где пропуск осуществляется через резервуары [2].

Применение противотурбулентных присадок. Уменьшить гидравлическое сопротивление магистрального нефтепровода за счёт гашения турбулентных пульсаций. Но при прохождении через центробежные насосы НПС структура противотурбулентных присадок разрушается.

Регулирование изменением частоты вращения вала насоса.

Одним из наиболее эффективных и прогрессивных методов регулирования является регулирование скорости вращения рабочих колес нефтяных магистральных центробежных насосов.

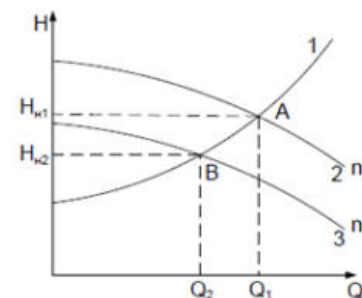
При проектировании нефтепроводной системы, предназначенной для транспортировки товарной нефти с месторождений до объектов развитой транспортной инфраструктуры, предполагается, с целью обеспечения устойчивой и надежной работы магистральных насосов в начальный период эксплуатации, использовать на НПС регулируемый привод магистральных насосов. При этом планируется регулировка частоты вращения ЦН в диапазоне от 60–70 % до 100 % [3]. Метод изменения частоты вращения основан на теории подобия центробежных машин:

$$\frac{Q_{н1}}{Q_{н2}} = \frac{n_1(\omega_1)}{n_2(\omega_2)}, \frac{H_{н1}}{H_{н2}} = \left(\frac{n_1(\omega_1)}{n_2(\omega_2)}\right)^2, \frac{N_{н1}}{N_{н2}} = \left(\frac{n_1(\omega_1)}{n_2(\omega_2)}\right)^3 \quad (1)$$

где $Q_{н1}$, $H_{н1}$ и $N_{н1}$ – подача, напор и потребляемая мощность магистрального насоса, соответствующая частоте вращения рабочего колеса n_1 (угловой скорости ω_1);

$Q_{н2}$, $H_{н2}$ и $N_{н2}$ – то же при частоте вращения рабочего колеса n_2 (угловой скорости ω_2).

При уменьшении частоты вращения характеристика насоса изменится и рабочая точка сместится из положения А в В (рисунок 3).



1 – линия подобных режимов; 2 – напорная характеристика магистрального насоса при частоте вращения n_1 ; 3 – то же при частоте вращения n_2

Рисунок 3 – Совмещённая характеристика нефтепровода и насоса при изменении частоты вращения вала рабочего колеса

При регулировании режима работы НПС изменением частоты вращения рабочего колеса насосов происходит изменение $H-Q$ характеристик ЦН без изменения КПД. Точнее, при смещении напорной характеристики центробежного насоса пропорционально смещается характеристика КПД (рисунок 4). Поэтому этот метод более экономичный, но его реализация требует дополнительных капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования, с помощью которого можно менять частоту вращения рабочего колеса.

Применение данного метода на НПС систем магистральных нефтепроводов позволяет облегчить синхронизацию работы станций и избежать гидравлических ударов в нефтепроводе.

Изменение частоты вращения рабочего колеса центробежного насоса возможно осуществить в следующих трех случаях:

- применение двигателей с изменяемой частотой вращения (газовая турбина);
- установка на валу насосов специальных муфт с регулируемым коэффициентом проскальзывания (гидравлических, электромагнитных, токовых);
- применение преобразователей частоты переменного тока электродвигателей.

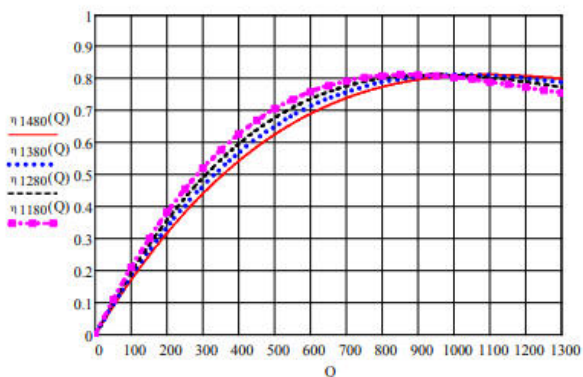


Рисунок 4 – $Q\eta$ -характеристики центробежного насоса для четырёх частот вращения рабочего колеса (1480, 1380, 1280, 1180 мин⁻¹)

Как видно из рисунка, максимумы характеристик $Q\eta$ для различных частот вращения равны, но соответствуют различным подачам насоса. Следует отметить, что изменять частоту вращения в широких пределах нельзя, так как при этом существенно уменьшается КПД насоса от номинального значения.

В настоящее время преобразователи частоты могут управлять электродвигателями по двум каналам, путем изменения частоты и напряжения. Напряжение может регулироваться двумя способами: амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) напряжения в звене постоянного тока и широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выпрямленного напряжения с помощью ключей инвертора.

ВЫВОДЫ

- 1 Дан анализ методов регулирования режимов работы нефтепроводов.
- 2 Наибольшими преимуществами обладает метод регулирования изменением частоты вращения, так как применение данного метода на НПС систем магистральных нефтепроводов позволяет облегчить синхронизацию работы станций и избежать гидравлических ударов в нефтепроводе.
- 3 Частотно-регулируемый привод в магистральных насосных агрегатах целесообразно применять при большой неравномерности перекачки нефти по трубопроводу в течение года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Адоевский, А. В.** Моделирование работы нефтепроводов, оборудованных системами сглаживания волн давления: автореф. дис. канд. технич. наук: 25.00.19 / А. В. Адоевский. – М., 2011. – 23 с.
- 2 **Богданов, Р. М.** Диагностика потребления электроэнергии в трубопроводном транспорте нефти [Электронный ресурс] / Р. М. Богданов // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 3.
- 3 **Караев, М. А.** Работа центробежных насосов на вязких жидкостях / М. А. Караев. – Баку : АГНА, 2005. – 175 с.
- 4 **Бувальный, Г. Е.** Как управлять транспортировкой нефти / Е. Г. Бувальный // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2007. – С. 84–85.
- 5 **Вайншток, С. М.** Трубопроводный транспорт нефти, в 2 т. / С. М. Вайншток. – М. : Недра, 2002. – Т. 1. – 407 с.

Материал поступил в редакцию 18.09.17.

А. Д. Смаилова¹, В. В. Рындин²

Магистральды мұнай құбырының жұмыс режимін өзгерту кезінде энергия шығынын төмендету

¹«Қазақстан электролиз зауыты», АҚ, Павлодар қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 18.09.17 баспаға түсті.

A. D. Smailova¹, V. V. Ryndin²

Reducing energy costs when changing the operation mode of the main oil pipeline

¹JSC «Kazakhstan Electrolysis Plant», Pavlodar;

²S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 18.09.17.

Магистральдық мұнай құбырын жобалау кезінде сорғы жабдықтары осылайша іріктеледі, бұл өткізу қабілетінің есеп айырысуында құбырдың жұмыс нүктесінің жүйесі «құбыр сорғы станциясы» сорғылардың жұмыс аймағында, яғни олардың максималды ПӘК-і жатуы тиіс. Бұл жағдайда сорғылардың жұмысы үнемді болады және мұнай айдауға арналған энергия шығындары төмен болады. Алайда, «құбыр сорғы станциясы» жұмыс нүктесі жүйесінің ережесі үнемді сорғылар жұмысының аймағы бірқатар

