УДК 622.692.4

**С.В.САМОЛЕНКОВ**, *студент, samolyonkov@mail.ru*
**О.В.КАБАНОВ**, *канд. техн. наук, доцент, (812) 32288469*
*Санкт-Петербургский государственный горный университет*

**S.V.SAMOLENKOV**, *student, samolyonkov@mail.ru*
**O.V.KABANOV**, *PhD in eng. sc., associate professor, + (812) 32288469*
*Saint Petersburg State Mining University*

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТЕ НЕФТИ

Предложен алгоритм формирования задания на управление частотой вращения роторов насосов нефтеперекачивающей станции, обеспечивающий ее работу с максимальным КПД при изменении производительности и условий транспортирования нефти. Приведено математическое описание алгоритма и его геометрическая интерпретация на примере участка магистрального нефтепровода с одной нефтеперекачивающей станцией. Выполнено технико-экономическое сравнение предложенного способа управления с известными методами байпасирования, дросселирования, замены ротора.

***Ключевые слова***: способ управления, нефтеперекачивающая станция, транспорт нефти, энергосбережение, регулируемый привод.

# STUDY OF THE WAYS SAVING TO ENERGY AT TRANSPORT OF THE OILS

An algorithm for the formation of a job to control the frequency of rotor pumps pumping station, which provides her work with maximum efficiency and productivity change in the transportation of oil. The mathematical description of the algorithm and its geometric interpretation of the example section of the main pipeline with a pumping station. Feasibility of the proposed control method compared with the published methods baypasirovaniya, throttling and the replacement of the rotor.

***Key words***: control method, oil pumping station, transportation of oil, energy saving, controlled drive.

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2020 г., утвержденной Правительством РФ в 2003 г., динамика роста валового внутреннего продукта России должна опережать рост энергопотребления.

Для обеспечения необходимой эффективности работы нефтеперекачивающих станций (НПС) магистральные насосы следует эксплуатировать только в их рабочей зоне, а из всех возможных методов регулирования применять наиболее экономичный для конкретных условий эксплуатации.

Как объект управления нефтеперекачивающая станция, включающая центробежные магистральные нефтяные насосы, характеризуется факторами $A_0$, $A_1$, $A_2$, определяющими форму $Q$-$H$-характеристик насосов (здесь $Q$ – призводительность; $H$ – напор) и факторами $c_0$, $c_1$, $c_2$, $c_3$, определяющими форму характеристики КПД.*

В качестве параметра при определении алгоритма оптимального управлении работой нефтеперекачивающей станции

* *Колпаков А.Г.* Эксплуатация магистральных насосов: Учеб. пособие. Уфа, 1988. 116 с.

*Kolpakov A.G.* Operation of the main pumps: Training manual. Ufa, 1988. 116 p.

*Коршак А.А.* Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: Учебник для вузов / А.А.Коршак, А.М.Нечваль. СПб, 2008. 488 с.

*Korshak A.A.* Design and operation of gas-oil: A textbook for universities / A.A.Korshak, A.M.Nechval. Saint Petersburg, 2008. 488 p.

можно выбрать коэффициент полезного действия магистральной насосной установки, который в основном определяет и КПД станции.

Для аналитических расчетов режимов работы НПС во всех зонах гидравлического трения зависимости $H$-$Q$ для трубопровода и магистральных насосов можно получить в виде полиномов второй степени

$$H = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2, \qquad (1)$$

где $b_0$, $b_1$, $b_2$ – постоянные коэффициенты.

Паспортную характеристику $H$-$Q$ насосов НПС аппроксимируют полным полиномом второго порядка:

$$H = A_0 + A_1 Q + A_2 Q^2,$$

где $A_0$, $A_1$, $A_2$ – постоянные коэффициенты, величина которых зависит от типа , количества и схемы включения насосов.

Если соединяемые насосы разнотипны, то коэффициенты для их суммарной характеристики при последовательном соединении можно определить по формулам

$$A_0 = \sum_{i=1}^{s} a_{0i}\ ;\ A_1 = \sum_{i=1}^{s} a_{1i}\ ;\ A_2 = \sum_{i=1}^{s} a_{2i}\ .$$

При изменении частоты вращения ротора насосов, уравнение характеристики $H$-$Q$ магистральных насосов НПС примет вид:

$$H_{\text{пасп}} = A_0\left(\frac{n}{n_{\text{пасп}}}\right)^2 + A_1\frac{n}{n_{\text{пасп}}}Q_{\text{пасп}} + A_2 Q_{\text{пасп}}^2\ . \qquad (2)$$

Коэффициент полезного действия магистрального насоса можно определить по паспортным характеристикам насосов графически или аналитически после аппроксимации КПД полиномом

$$\eta = c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2 + c_3 Q^3, \qquad (3)$$

где $c_0$, $c_1$, $c_2$, $c_3$ – постоянные коэффициенты.

Производительность и напор магистрального насоса при максимальном КПД можно определить из уравнения (3), исследуя его на экстремум:

$$\frac{d\eta}{dQ} = 0 \Rightarrow \eta \to \max\ ;$$

$$\frac{d\eta}{dQ} = f'(\tilde{n}_0 + c_1 Q + c_2 Q^2 + \tilde{n}_3 Q^3)\ ;$$

$$c_1 + 2c_2 Q_{\max} + 3c_3 Q_{\max}^2 = 0\ ;$$

$$Q_{\eta\max} = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - 3c_1 c_3}}{3c_3}\ ;$$

$$H_{\eta\max} = A_0 + A_1 Q_{\eta\max} + A_2 Q_{\eta\max}^2\ .$$

Используя законы подобия турбомашин, можно построить линию максимальных значений КПД для выбранного насоса

$$H = \frac{H_{\eta\max}}{Q_{\eta\max}^2} Q^2\ . \qquad (4)$$

Совместное решение уравнений (1) и (4) позволяет установить режимные параметры насосной установки при максимальном КПД и ее работе на трубопровод с заданными параметрами.

В процессе эксплуатации производительность НПС меняется, следовательно, меняются и коэффициенты, а характеристика трубопровода на графике (рис.1) займет новое положение и оптимальный режим работы сместится в новую точку. Значения коэффициентов $b_0$, $b_1$, $b_2$ можно

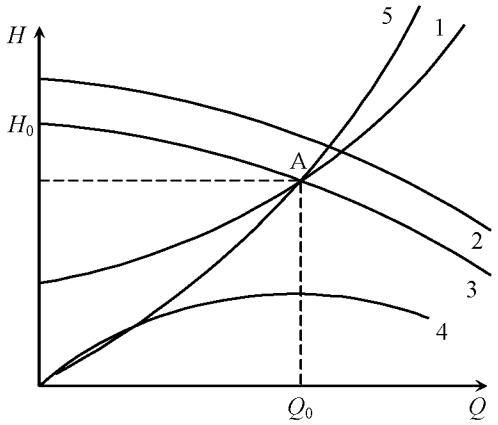



Рис.1. Совмещенная характеристика $H$-$Q$ нефтепровода и НПС:

1 – характеристика нефтепровода; 2 – паспортная характеристика магистральных насосов НПС; 3 – характеристика магистральных насосов НПС при изменении частоты вращения рабочих колес; 4 – характеристика η-$Q$ магистральных насосов НПС; 5 – линия максимальных КПД; $H_0$ и $Q_0$ – производительность и напор при максимальном КПД

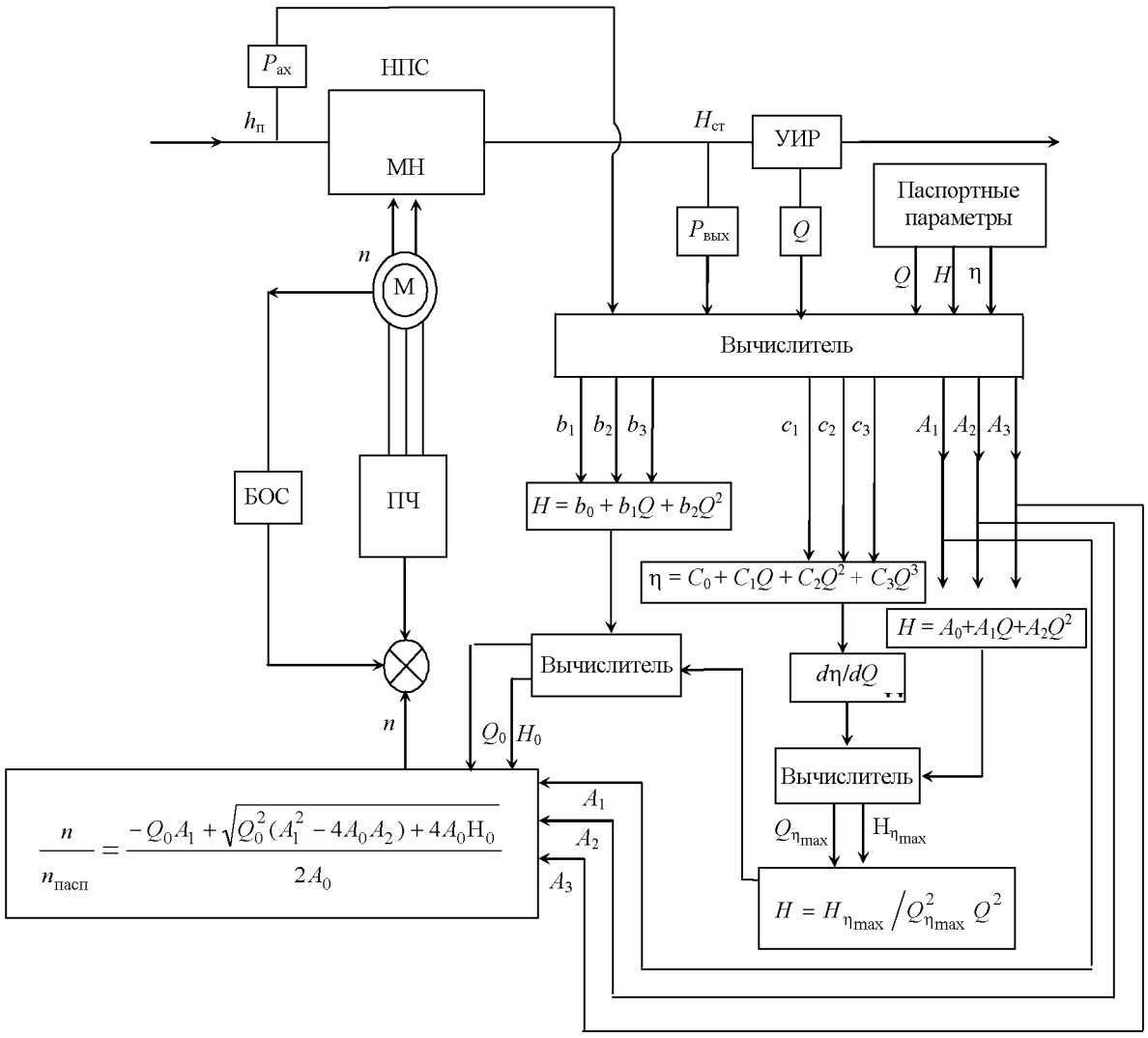



Рис.2.Функциональная схема работы системы оптимизации режимов эксплуатации НПС

МН – магистральные насосы; БОС – блок обратной связи; М – электродвигатель;
ПЧ – преобразователь частоты вращения вала электродвигателя; УИР – устройства измерения расхода

определить в процессе эксплуатации, измеряя $Q$ и $H$ и обрабатывая результаты измерений методами регрессионного анализа. В этом случае относительную частоту вращения, обеспечивающую работу НПС с максимальным КПД при разных режимах транспорта нефти, с учетом зависимости (2), можно записать в виде

$$\frac{n}{n_{пасп}} = \frac{-Q_0A_1 + \sqrt{Q_0^2(A_1^2 - 4A_0A_2) + 4A_0H_0}}{2A_0}.$$

Алгоритм оптимального управления системой нефтепровод – НПС на стадии проектирования и в процессе эксплуатации следующий:

1) определить максимальный КПД НПС, используя паспортные характеристики или данные испытаний;

2) построить линию рабочих режимов насосов с максимальным КПД;

3) построить характеристику трубопровода;

4) установить рабочий режим НПС с максимальным КПД;

5) определить частоту вращения вала насоса для этого режима, т.е.сформировать

сигнал задания для автоматической системы изменения частоты вращения;

6) измерять напор и производительность НПС в процессе работы, следить за изменениями характеристики трубопровода и корректировать частоту вращения.

## Выводы

1. Разработанный алгоритм обеспечивает работу НПС с максимальным КПД при изменении производительности и свойств перекачиваемой нефти.

2. Данный алгоритм может быть реализован на НПС, имеющих управляемый электропривод.

3. Использование разработанного алгоритма управления не только сокращает энергозатраты, но и улучшает динамические характеристики при запуске и остановке насосов.

4. Применение данного алгоритма позволяет производить запуск насосов под нагрузкой.

5. Разработанная система управления способствует повышению эффективности работы НПС сглаживания волн давления.