

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ
ДИАПАЗОНА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСОВ**

Шабанов В.А., Кабаргина О.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
email: ShabanovVA1@yandex.ru*

В работе рассматривается определение нижней границы диапазона частотного регулирования насосных агрегатов магистральных нефтепроводов. Исследовано влияние режима работы магистрального нефтепровода и напорных характеристик регулируемых насосов. Выполнен расчет максимально возможного диапазона регулирования частоты вращения при одном регулируемом насосе на технологическом участке.

Ключевые слова: частотное регулирование, диапазон частотного регулирования, электропривод магистрального насоса, нефтепровод, технологический участок, режим перекачки, напорная характеристика

Одним из наиболее эффективных способов регулирования режимов работы магистральных нефтепроводов является частотное регулирование скорости вращения электродвигателей магистральных насосов (МН). При разработке частотных электроприводов МН наибольший интерес представляют требования к диапазону регулирования частоты вращения электродвигателей МН. В статье рассматривается методика определения максимального диапазона частотного регулирования МН при известных режимах перекачки.

В общем случае диапазон частотного регулирования зависит от режимов перекачки, от числа рабочих МН и числа промежуточных нефтеперекачивающих станций (НПС) на технологическом участке нефтепровода и других факторов. При заданных режимах перекачки диапазон частотного регулирования определяется производительностью трубопровода в двух режимах: в рабочем режиме трубопровода при номинальной частоте вращения регулируемого насоса (режим 1) и в рабочем режиме трубопровода при отключенном насосе (режим 2) [1, 2]. Производительность трубопровода в этих двух режимах зависит от числа и типа рабочих МН на всех НПС технологического участка нефтепровода, в пределах которого перекачка производится по системе «из насоса в насос» [3]. Рассмотрим методику определения диапазона частотного регулирования электропривода МН на примере технологического участка с тремя промежуточными НПС. Для упроще-

ния примем, что на каждой из НПС в работе по одному МН, а давления в трубопроводе и подпоры на входах МН в процессе регулирования не выходят за пределы допустимых значений. На рис. 1 приведены характеристика трубопровода (кривая 4), напорная характеристика головной насосной станции (кривая 1), суммарная напорная характеристика НПС1 и НПС2 (кривая 2) и суммарная напорная характеристика всех трех НПС (кривая 3). При построении напорных характеристик принято, что на всех НПС установлены насосы типа НМ 1250-260, а на головной станции установлен подпорный насос НПВ 1250-60 (кривая «подпор»).

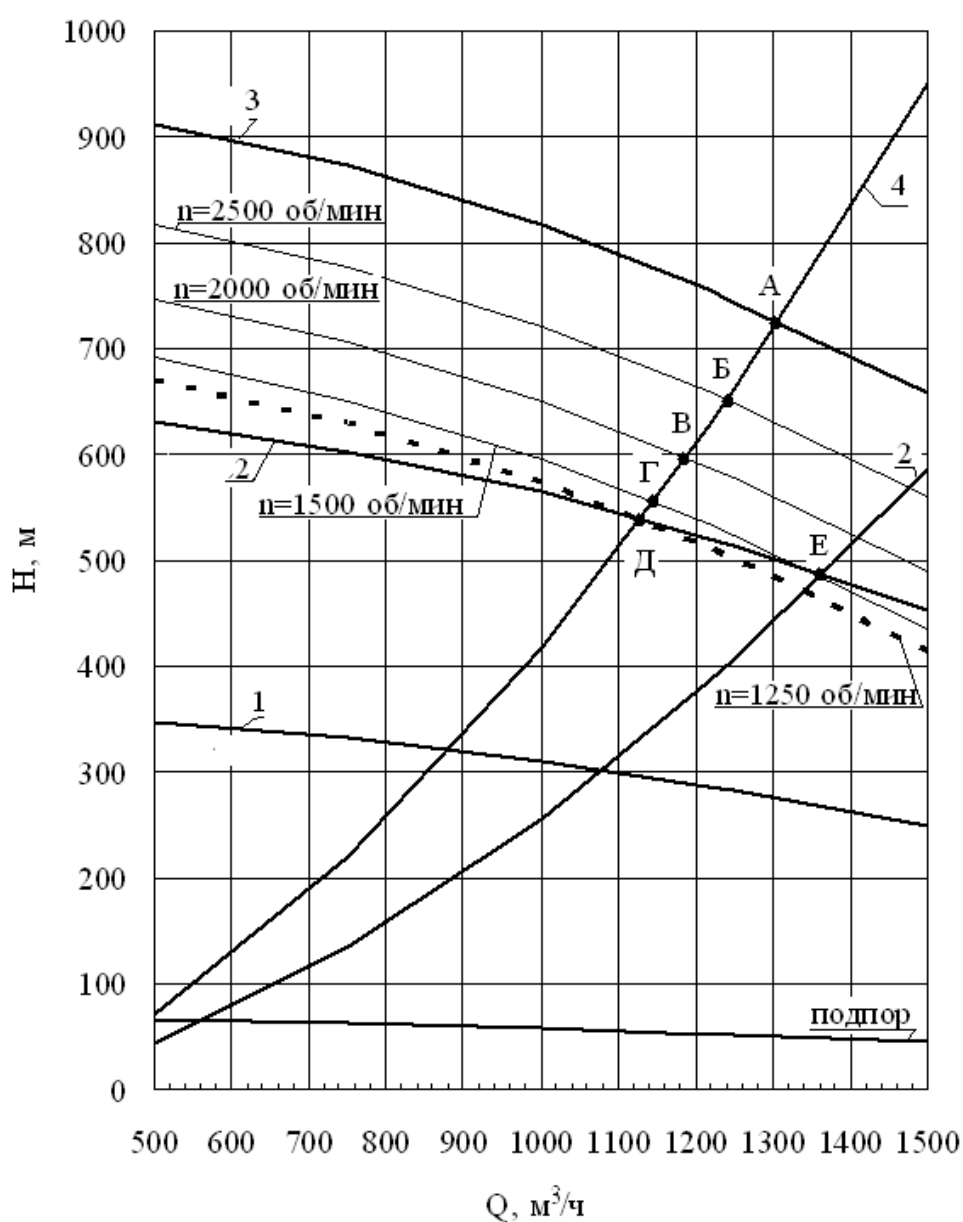


Рисунок 1. Совмещенные характеристики

Характеристики насосов на рис. 1 приведены при номинальной частоте вращения. При другой частоте вращения основные параметры насосного агрегата определяются по формулам подобия [4, 5]:

$$Q_0/Q_1 = n_0/n_1; H_0/H_1 = (n_0/n_1)^2, \quad (1)$$

где Q_0, H_0 – подача и напор насоса при номинальной частоте вращения n_0 ;

Q_1, H_1 – те же параметры при частоте вращения n_1 . При этом уравнение напорной характеристики насоса имеет вид

$$H = a \cdot \left(\frac{n}{n_{ном.}} \right)^2 - b \cdot Q^2, \quad (2)$$

где a, b – коэффициенты напорной характеристики регулируемого насоса;

n – число оборотов ротора насоса;

$n_{ном.}$ – номинальное число оборотов насоса.

Напорные характеристики насоса НМ 1250-260 при изменении частоты вращения приведены на рис. 2. В случае снижения частоты ниже некоторого значения характеристика насоса пересекает ось абсцисс в рабочем диапазоне подач, и напор, развиваемый насосом, снижается до нуля.

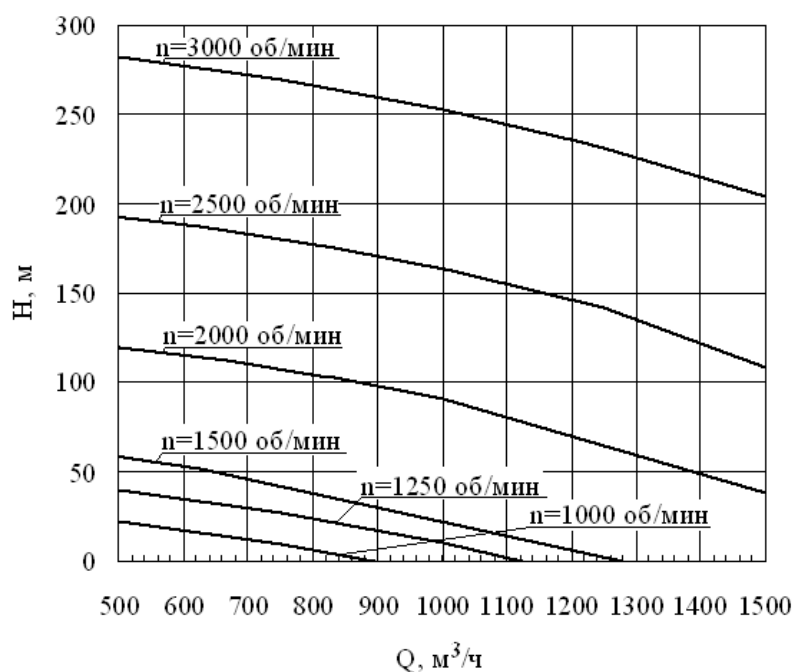


Рисунок 2. Характеристика насоса при регулировании частоты вращения

При работе всех насосов технологического участка с номинальной частотой вращения (режим 1) производительность трубопровода определяется точкой пересечения характеристики трубопровода 4 и суммарной напорной характеристики 3 (точка А на рис. 1) и равна $1300 \text{ м}^3/\text{ч}$. При снижении частоты вращения МН на НПС3 характеристика регулируемого насоса изменяется в соответствии с рис. 2 и рабочая точка на рис. 1 смещается по кривой 4 характеристики трубопровода, последовательно проходя по пути АБВГД. При некоторой частоте вращения регулируемого МН суммарная напорная характеристика трех НПС (показано пунктиром) пересечет характеристику нефтепровода в точке Д, подача в которой равна $1125 \text{ м}^3/\text{ч}$. При выключенном насосе на НПС3 (режим 2) подача трубопровода также определяется точкой Д, которая является точкой пересечения характеристики трубопровода 4 и суммарной напорной характеристики двух НПС (характеристика 2).

Найдем, при какой частоте вращения электродвигателя рабочая точка перейдет в точку Д. Это можно сделать графически и аналитически. При графическом способе строится семейство характеристик регулируемого насоса при разных частотах вращения (рис. 2). Из построенных характеристик выбирается характеристика, проходящая через точку с координатами $H = 0$ и $Q = 1125 \text{ м}^3/\text{ч}$. Частота вращения, при которой построена эта характеристика, и будет нижней границей диапазона регулирования.

При аналитическом способе нижний предел требуемого диапазона регулирования МН можно найти путем решения уравнения баланса напоров трубопровода и НПС, записанного при переменной частоте вращения регулируемого насоса. Но можно найти диапазон частотного регулирования и другим путем. Для этого воспользуемся уравнением (2). Запишем его для точки Д (рис. 1). Напор, развиваемый насосом на НПС3 в этой точке, равен нулю. Поэтому в точке Д обратный клапан в обвязке насоса НПС3 откроется и весь поток нефти пойдет через открытый обратный клапан, минуя насос. Это равносильно выключению насоса из режима перекачки.

Подставим в уравнение (2) значение $H = 0$ и решим полученное уравнение относительно числа оборотов n . При этом уравнение для нижней границы диапазона регулирования будет

$$n = n_{\text{ном.}} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{b}{a}}, \quad (3)$$

где Q – производительность трубопровода в режиме 2 при отключенном насосе на НПСЗ.

Уравнение (3) можно получить и путем использования теории подобия. Из уравнения напорной характеристики (2) при номинальной частоте вращения $n_{\text{ном}}$ определяется значение подачи Q_0 , при которой $H = 0$:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{b}{a}}. \quad (4)$$

Используя первое из уравнений подобия (1) находим нижнюю границу диапазона регулирования $n = n_{\text{ном}} Q / Q_0$. При подстановке (4) в это уравнение получим уравнение (3). При подстановке в уравнение (4) подачи в точке Д $Q_D = 1125 \text{ м}^3/\text{ч}$, получим значение $n = 1250 \text{ об/мин}$, полученное ранее графическим путем.

Из выражения (3) для диапазона частотного регулирования $D = (n_{\text{ном}}/n):1$ находим

$$D = \sqrt{\frac{a}{bQ^2}}, \quad (5)$$

где Q – в метрах кубических в час;

a – в метрах;

b – в метрах/(метр кубический в час)².

Подчеркнем, что по выражению (5) диапазон частотного регулирования рассчитывается при переходе от некоторого исходного режима к режиму с производительностью Q . Поэтому значение производительности Q в выражениях (3) и (5) определяется из уравнения баланса напоров, записанного без участия регулируемого насоса в режиме перекачки. При этом в выражениях (3) и (5) производительность Q подставляется для режима нефтепровода при отключенном регулируемом насосе, а коэффициенты a и b принимаются для регулируемого насоса.

Оценим возможные значения диапазона регулирования при разном числе рабочих насосных агрегатов на технологическом участке. В зависимости от числа насосных агрегатов будет изменяться производительность нефтепровода. Поэтому вместо числа насосов можно варьировать производительность. Так как МН работают с высоким КПД при изменении подачи в пределах рабочей зоны

$(1,2-0,8) \cdot Q_{ном}$, где $Q_{ном}$ – номинальная подача насоса, то производительность нефтепровода будем варьировать в пределах этой рабочей зоны. Расчеты диапазона регулирования по выражению (5) в предположении, что на технологическом участке установлены одинаковые насосы с одинаковыми значениями a и b , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Диапазоны регулирования

$Q/Q_{ном}$	1,2	1,1	1	0,9	0,8
bQ^2	83,5	70,2	58,0	47,0	37,1
D	-	2,1	2,3	2,6	2,9

При переходе к режиму с производительностью $Q = 1,1Q_{ном}$ в качестве исходного принят режим $Q = 1,2Q_{ном}$. В общем случае в качестве исходного режима может быть принят любой режим с большей производительностью, так как от производительности в исходном режиме максимально возможный диапазон регулирования не зависит. Данными табл. 1 неудобно пользоваться для определения диапазона регулирования в случаях, когда требуемая производительность трубопровода отличается от значений, принятых в таблице. Поэтому представим зависимость диапазона регулирования от производительности нефтепровода графически (рис. 3).

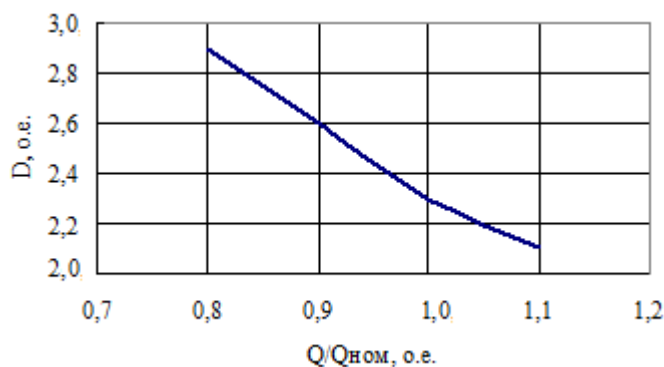


Рисунок 3. Зависимость диапазона регулирования от производительности нефтепровода

График $D = f(Q)$ (рис. 3) позволяет определить максимально возможный диапазон регулирования при переходе от исходного режима к режиму с любой меньшей подачей при условии, что давления, напоры и подпоры находятся в допустимых пределах и не ограничивают диапазон частотного регулирования.

Выводы

1. Максимально возможный диапазон регулирования частоты при частотно-регулируемом электроприводе МН определяется значением производительности нефтепровода при отключенном регулируемом насосе и коэффициентами напорной характеристики регулируемого насоса.

2. Чем выше производительность трубопровода при отключенном регулируемом насосе, тем меньше диапазон регулирования. Так как производительность трубопровода растет с увеличением числа насосов, то с увеличением числа насосов максимально возможный диапазон регулирования уменьшается.

3. Чем круче характеристика регулируемого насоса (чем больше значение bQ^2 по отношению к коэффициенту a), тем меньше диапазон регулирования.

4. Для частотно-регулируемого электропривода насоса типа НМ-1250 максимально возможный диапазон частотного регулирования находится в интервале от 2,0 до 3,0 в зависимости от режима работы нефтепровода.

При подготовке статьи использованы результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Влияние режима работы трубопровода на диапазон частотного регулирования электродвигателей магистральных насосов // Проблемы строительного комплекса России: материалы 14-й Международной науч.-техн. конференции /14-ой специализированной выставки «Строительство. Коммунальное хозяйство. Энергосбережение». – Уфа, 2010. – С. 57-58.

2. Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Определение диапазонов регулирования скорости вращения магистральных насосных агрегатов // Электротехнические комплексы и системы: межвузовский науч. сб. – Уфа: УГАТУ, 2009. – С. 145-150.

3. Галеев В.Б., Карпачев М.З., Харламенко В.И. Магистральные нефтепродуктопроводы. – М.: Недра, 1988. – 296 с.

4. Нечваль А.М. Основные задачи при проектировании и эксплуатации магистральных нефтепроводов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005. – 81 с.

5. Колпаков Л.Г. Центробежные насосы магистральных нефтепроводов. – М.: Недра, 1985. – 184 с.