

УДК 621.34.07:621.65:620.9

А.П. Усачев, технический директор (ООО «Сибирь-мехатроника» г.Новосибирск).

Об использовании уравнений подобия в технико-экономических расчетах при частотном регулировании насосными агрегатами.

Одним из основных направлений повышения энергоэффективности в условиях технической модернизации является внедрение в практику водоснабжения и водоотведения частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП). Основная доля потребления электроэнергии приходится на подъем и перекачивание воды насосными станциями водоснабжения и водоотведения.

Традиционно регулирование параметров (расходы, напоры) на многих объектах до настоящего времени осуществляется путем дросселирования. В результате, непроизводительные затраты электроэнергии достигают 20-30%, а иногда и выше. Принимая решения об использовании ЧРП, необходимо заранее знать, какая экономия энергии может быть получена и представлять себе, в какие сроки окупится это мероприятие. Однако зачастую решения принимаются на основании рекомендаций фирм производителей или неграмотно выполненного расчета.

Довольно часто неграмотность проявляется в вольном использовании известных уравнений подобных режимов (уравнений подобия), связывающих подачу Q , напор H и мощность N центробежного насоса в зависимости от изменения частоты вращения его рабочего колеса n .

Данные уравнения имеют простой и потому очень привлекательный для использования вид:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \quad (1)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \quad (2)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3; \quad (3)$$

$$КПД_2 = КПД_1 \quad (4)$$

К сожалению, данные уравнения зачастую используются абстрактно, не зависимо ни от чего и каждое само по себе.

При использовании уравнений подобных режимов необходимо помнить, что **соотношения (1)-(4) определяют изменение параметров рабочей точки «1» при изменении частоты вращения рабочего колеса насоса со значения n_1 на значение n_2 и не более того.**

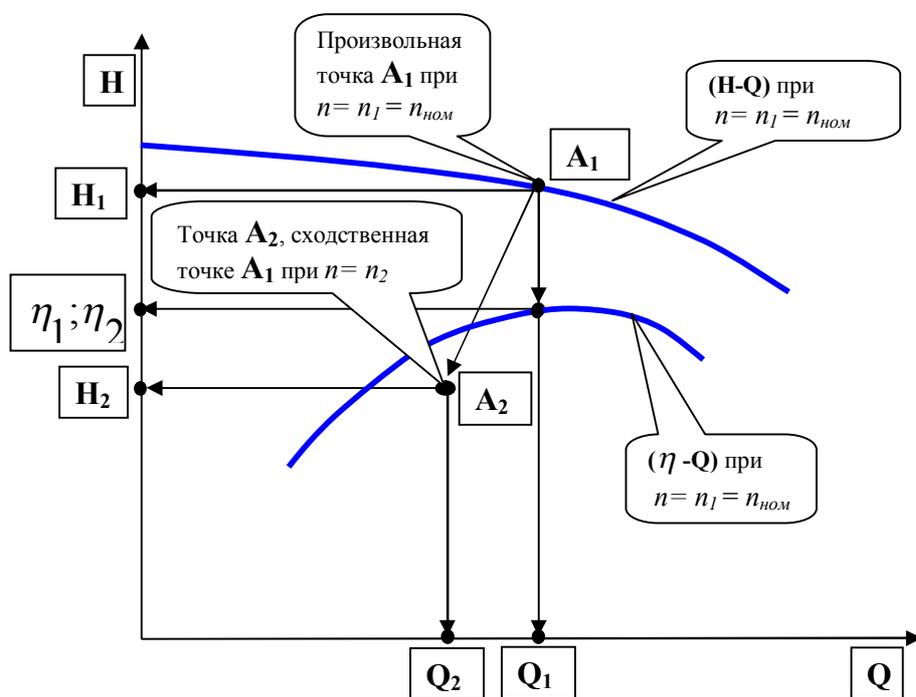


Рис.1. Изменение параметров рабочей точки A_1 (H_1, Q_1) при изменении частоты вращения с $n = n_1$ на $n = n_2$ (точка A_2 (H_2, Q_2)) в соответствии с уравнениями подобия:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1};$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2;$$

$$\eta_2 = \eta_1$$

На рис.1 показано как изменит свое положение рабочая точка A_1 , если изменить частоту вращения насоса. Точка переместится в положение A_2 в соответствии с уравнениями подобия (1)-(4).

При изменении числа оборотов, исходная точка будет смещаться по вполне определенной траектории, которая называется **параболой подобия** (рис. 2).

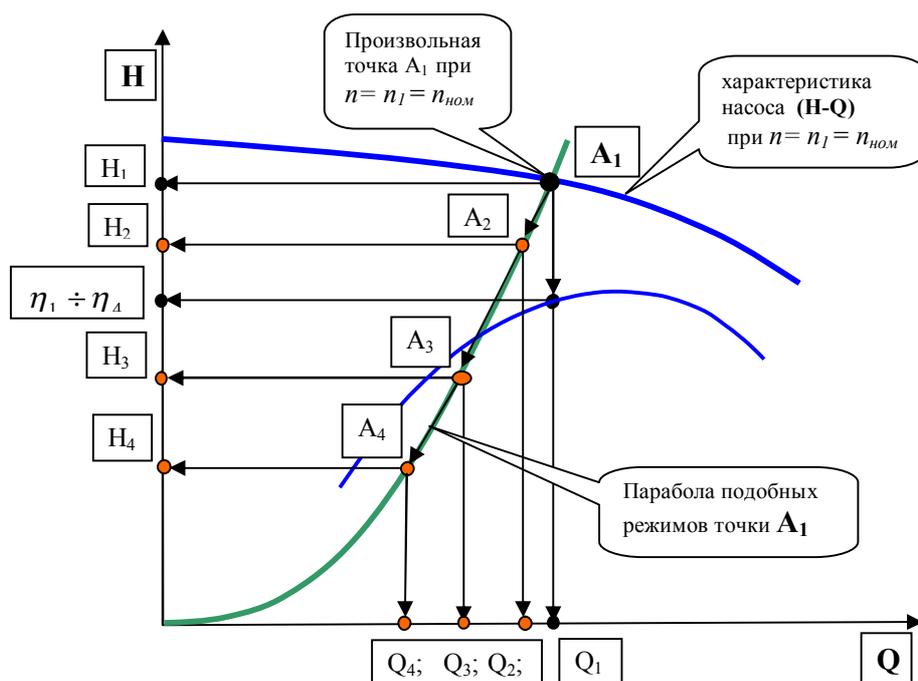


Рис.2. При изменении частоты вращения, точка A_1 смещается по траектории (точки A_2, A_3, A_4), которая называется **параболой подобных режимов**. Сами точки называют **сходственными точками по частоте**. Все точки на параболе имеют равный КПД, в связи, с чем ее также называют **линией постоянного КПД**. Параметры всех точек связаны уравнениями подобных режимов (1) – (4).

Парабола подобия может быть построена по простой зависимости:

$$\frac{H}{H_1} = \frac{n^2}{n_1^2} = \frac{Q^2}{Q_1^2}, \text{ преобразуя, получим: } H = \frac{H_1}{Q_1^2} \cdot Q^2,$$

где H_1 и Q_1 параметры исходной точки на плоскости $(H-Q)$.

Уравнения подобных режимов определяют порядок нахождения новой напорной характеристики насоса при изменении частоты вращения. При построении новой характеристики (рис. 3) каждой точке старой характеристики A_1, B_1, C_1 будет соответствовать точка на новой характеристике с иными напором и расходом A_2, B_2, C_2 для $n=n_2$; A_3, B_3, C_3 для $n=n_3$ и A_4, B_4, C_4 для $n=n_4$.

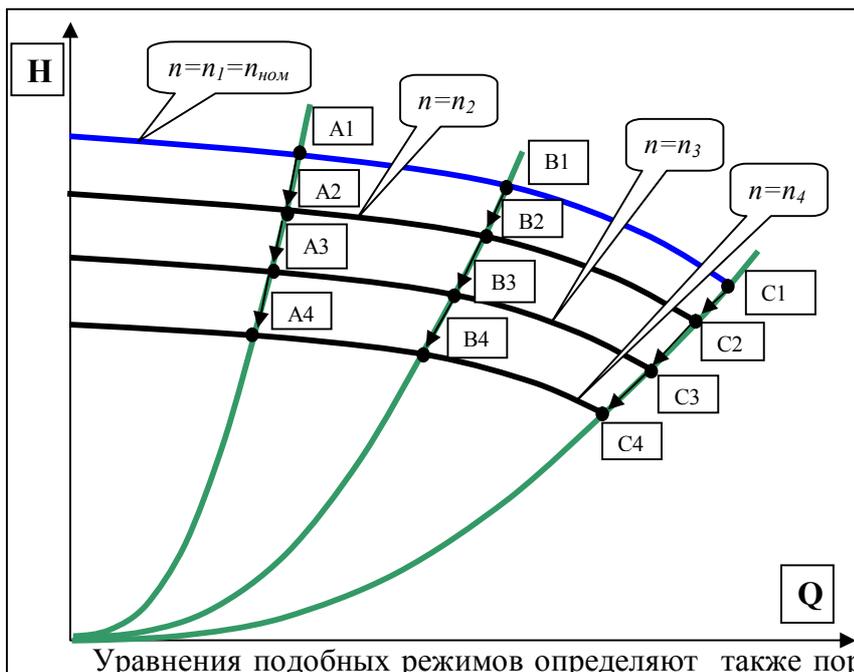


Рис.3. Пересчет напорных характеристик при изменении частоты вращения по уравнениям подобных режимов.

Уравнения подобных режимов определяют также порядок нахождения зависимости КПД от подачи для новой напорной характеристики (рис.4).

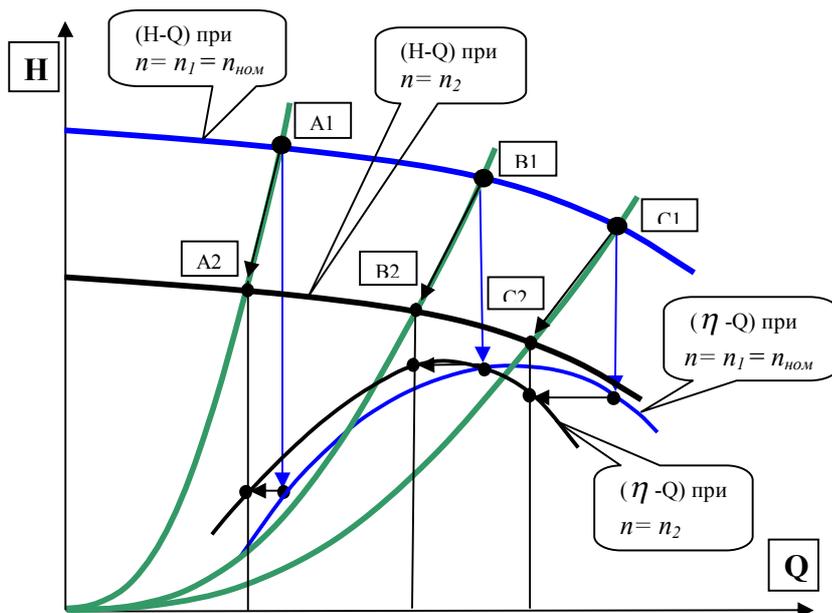


Рис.4. Построение зависимости КПД от подачи ($\eta-Q$) при изменении частоты вращения с $n = n_1$ на $n = n_2$ с использованием уравнений подобных режимов.

Уравнения подобных режимов дают возможность также определять КПД произвольной рабочей точки A_1 при $n = n_2 \neq n_{ном}$ (рис.4). Для этого по параболе подобных режимов точки A_1 определяют сходственную точку $A_{сходств.}$ на напорной характеристике при $n = n_{ном}$ и далее, соответствующее ей значение КПД, которому согласно уравнению (4) и равно КПД точки A_1 .

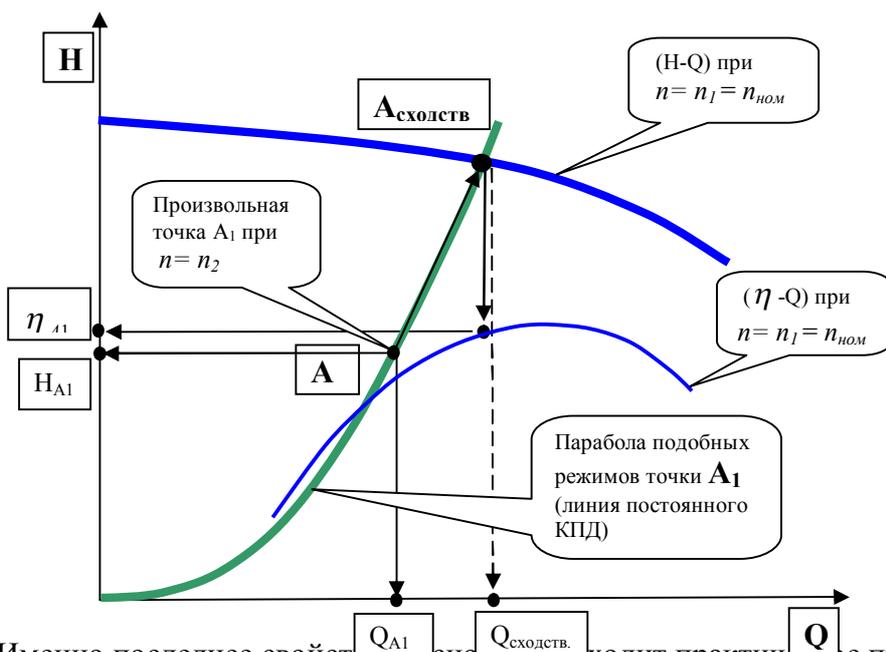


Рис.5. Определение КПД произвольной рабочей точки A_1 при $n = n_2$ с использованием уравнений подобных режимов(1) – (4).

Именно последнее свойство в основном находит практическое применение в технико-экономическом обосновании частотного регулирования. Оно требуется для определения КПД насоса при частотном регулировании.

В основе расчета экономии электроэнергии лежит формула мощности, потребляемой насосом

$$N_{НАС} = \frac{H_{НАС} \cdot Q}{367 \cdot \eta_{НАС}}.$$

Если при регулировании дроселированием КПД насоса определяется по паспортным характеристикам, то при частотном регулировании КПД насоса приходится определять.

Некоторые авторы рекомендуют использовать типовой график зависимости изменения КПД от подачи при частотном регулировании [1]. Другие принимают допущение о постоянстве КПД [2].

А можно просто грамотно воспользоваться уравнениями подобных режимов.

1. "Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода", Минтопэнерго России и Главгосэнергонадзора, г.Москва, 1997 г.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. Москва, Энергоатомиздат, 2006г.