

# МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВНЕДРЕНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

**Рудченко Ю.А.,**

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение» ГГТУ им. П.О. Сухого (Гомель, Беларусь)*

**Рудченко Г.А.,**

*преподаватель кафедры «Экономика и управление в отраслях» ГГТУ им. П.О. Сухого (Гомель, Беларусь)*

**Аннотация.** Статья посвящена вопросу повышения энергоэффективности работы электрооборудования. Приведен методический подход технико-экономического обоснования внедрения средств автоматического регулирования нагрузки электроприводов.

**Abstract.** The article is devoted to the issue of improving the energy efficiency of electrical equipment. The methodological approach of the feasibility study of the implementation of automatic control of the load of the actuator.

**Ключевые слова:** энергосберегающие технологии, топливно-энергетические ресурсы, энергоемкость производства, экономия электроэнергии, годовая экономия, срок окупаемости.

**Keywords:** energy-saving technologies, fuel and energy resources, energy intensity of production, energy saving, annual savings, payback period.

## Введение

К числу наиболее значимых проблем повышения эффективности функционирования субъектов хозяйствования на современном этапе экономического развития Республики Беларусь относится внедрение энергосберегающих технологий, позволяющих экономить невосполнимые топливно-энергетические ресурсы, снизить энергоемкость производства, уменьшить себестоимость производимой продукции. Одной из тенденций в области энергосберегающих технологий последних лет является применение частотно-регулируемых приводов (ЧРП) на основе асинхронных короткозамкнутых электродвигателей и полупроводниковых преобразователей частоты, снижающих потребление электрической энергии, повышающих степень автоматизации, удобство эксплуатации оборудования и качество технологических процессов.

## Расчет экономии электроэнергии от внедрения ЧРП насоса.

Познакомимся с методикой расчета экономии электроэнергии на конкретном примере. Для проведения расчета требуется собрать необходимые исходные данные.

### 1. Определение паспортных данных.

Вспомогательными данными для расчета являются паспортные данные насоса и его приводного двигателя, занесенные в таблицу 1.

**Таблица 1 – Паспортные (номинальные) данные насоса и его приводного двигателя**

Параметр	Значение
Мощность насоса, кВт	90
КПД насоса, %	0,65
Напор насоса, м	60
Подача насоса, м <sup>3</sup> /ч	15
Мощность двигателя, кВт	110
Ток двигателя, А	195
КПД двигателя, %	0,85
cos φ двигателя, о.е.	0,8

### 2. Снятие рабочих характеристик.

Под рабочей характеристикой понимается зависимость мощности потребляемой насосной установкой от расхода воды, т.е. от нагрузки насоса. Основные данные измеряются при различных режимах работы насосного агрегата с помощью соответствующих технических средств (ваттметра и расходомера) и помещаются в таблицу 2.

**Таблица 2 – Результаты замеров рабочей характеристики насоса при регулировании дроссельной задвижкой**

№	Мощность P, кВт	Расход воды Q, м <sup>3</sup> /ч
1	60,5	0
2	67,1	2
3	77	5
4	86,9	8
5	93,5	10
6	100,1	12
7	110	15

Замеры при закрытой напорной задвижке следует проводить максимально оперативно для исключения возможности перегрева насоса.

Замеры при открытой напорной задвижке желательно проводить во время максимального забора воды (в 8...10 ч и 18...20 ч при обслуживании коммунальной сферы, 13...15 ч для административных зданий и т.п.)

### 3. Снятие графика нагрузки.

Для получения информации о загрузке насоса в течение суток, определяется график его работы по периодам времени с приблизительно одинаковой нагрузкой (расходом воды). Для измерений используется расходомер. Измерения среднесуточного расхода производятся в течение 2-3 дней. По результатам таких замеров заполняется таблица 3. Полученные данные по суточному расходу усредняются и для наглядности строится график среднесуточного расхода воды (рис.1).

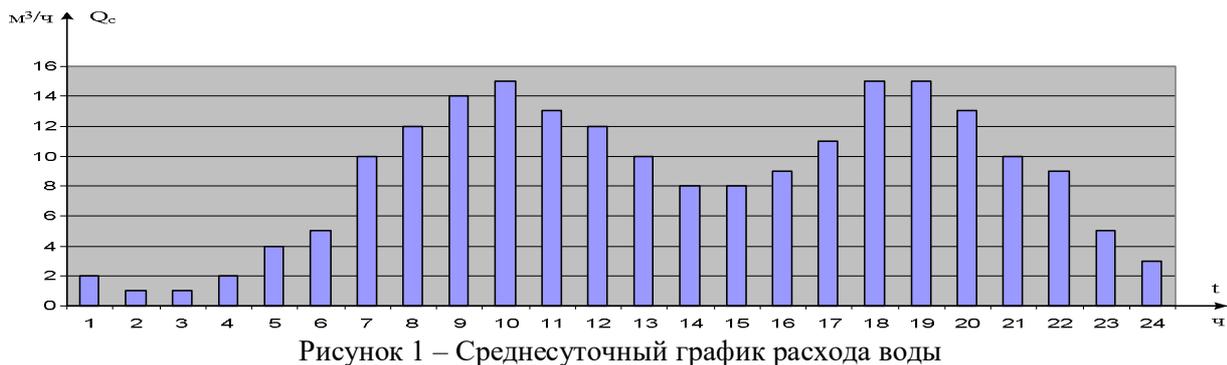
**Таблица 3 – Суточный расход воды**

Период времени усреднения t <sub>i</sub> , час.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Суточный расход Q <sub>i</sub> , м <sup>3</sup> /ч, (первый день измерений)	1	1	1	2	4	4	12	12	14	15	15	12	10	8	10	9	12	15	15	13	9	8	4	3
Суточный расход Q <sub>i</sub> , м <sup>3</sup> /ч, (второй день измерений)	3	1	1	2	3	5	9	11	14	15	12	12	11	8	8	9	11	15	15	13	9	9	4	3
Суточный расход Q <sub>i</sub> , м <sup>3</sup> /ч, (третий день измерений)	2	1	1	2	5	6	9	13	14	15	12	12	9	8	6	9	10	15	15	13	12	10	7	3
Средний суточный расход Q <sub>i</sub> ср, м <sup>3</sup> /ч	2	1	1	2	4	5	10	12	14	15	13	12	10	8	8	9	11	15	15	13	10	9	5	3

При затруднительности определения данных по суточному графику расхода воды (к примеру, из-за невозможности снятия данных о расходе каждые несколько часов или из-за отсутствия технических средств для автоматизации этого процесса, таких как самописец, регистратор и т.п.) допускается измерить только общий расход за несколько (7-10) дней и составить примерный вид суточного графика расхода воды. При этом необходимо учесть, что погрешность в вычислении величины сэкономленной электроэнергии составит 10...15 %. При расчетах принимается, что оборудование работает в режиме, при котором обеспечиваются нормальные параметры подачи воды, воздуха, газа с требуемыми давлением и температурой.

### 4. Построение рабочих характеристик.

По полученным данным, приведенным в таблице 2, строится характеристика-зависимость потребляемой мощности от расхода воды при регулировании дросселированием (характеристика 1 на рис. 2).



В этих же осях строится характеристика-зависимость потребляемой мощности от расхода при частотном регулировании (характеристика 2 на рис. 2) рассчитанная по формуле:

$$P = (Q/Q_{\text{ном}})^3 \cdot P_{\text{ном}}$$

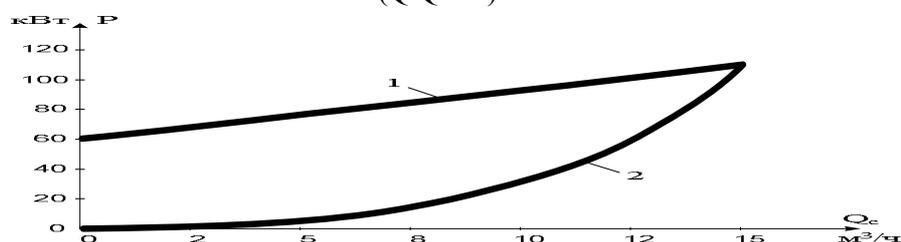
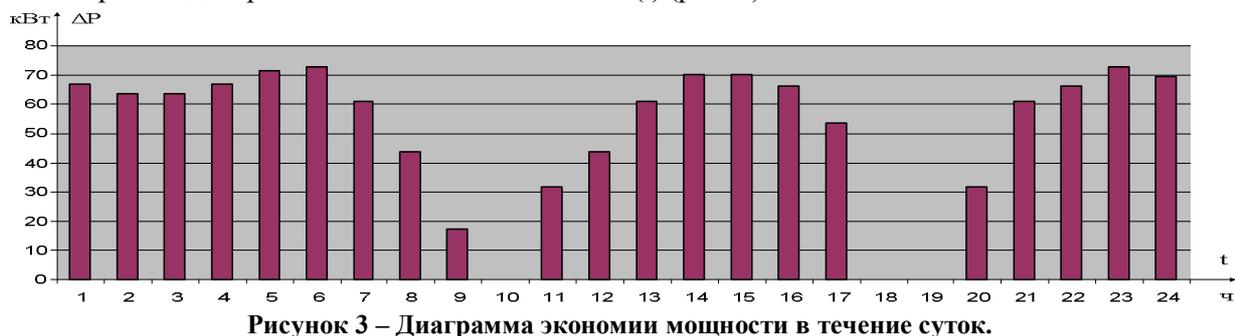


Рисунок 2 – Рабочие характеристики насоса: 1 – при регулировании дросселированием; 2 – при частотном регулировании

### 5. Построение диаграммы экономии мощности в течение суток.

Диаграмма экономии мощности в течение суток строится следующим образом. По диаграмме расхода воды (рис. 1) или по данным табл. 3 определяется значение расхода воды на первом интервале времени суток  $Q_1$ . Для данного значения  $Q_1$  по рабочим характеристикам насоса (рис. 2) определяется значение экономии мощности (как разница между мощностью потребляемой насосом при регулировании дросселированием и мощностью при частотном регулировании) на первом интервале времени суток  $\Delta P_1$ . Аналогично определяем экономию мощности  $\Delta P_i$  для остальных интервалов времени суток.

Строится диаграмма экономии мощности  $\Delta P(t)$  (рис. 3).



### 6. Рассчитывается экономия электроэнергии

$$\Delta W = \sum(\Delta P_i \cdot \Delta t_i) \cdot T_{\text{год}},$$

где  $T_{\text{год}}$  – количество дней работы насоса за год.

Таким образом, для рассматриваемой ситуации годовая экономия электроэнергии при работе насоса с регулируемым электроприводом, по сравнению с регулированием дросселированием, составит 447511,9 квт. ч /год.

#### Расчет экономической эффективности внедрения ЧРП насоса

На этапе предварительных оценочных расчетов экономической эффективности внедрения ЧРП насосов, воспользуемся методикой, изложенной в [2, с. 12].

Расчет единовременных затрат на внедрение мероприятия представлен в таблице 4.

**Таблица 4 – Капиталовложения на внедрение мероприятия по энергосбережению**

Наименование оборудования и работ	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Преобразователь частоты мощностью 110 кВт	шт.	1	7000	7000,0
Стоимость электротехнических устройств и КИП	%	3	–	210,0
Транспортные расходы	%	2	–	144,2
Стоимость монтажных работ	%	5	–	367,7
Стоимость пуско-наладочных работ	%	3	–	220,6
Итого:	–	–	–	7942,5

Экономия денежных средств в результате внедрения мероприятия в соответствии с [1, с. 12] рассчитывается на основании информации о стоимости тонны условного топлива по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \Delta B_{\text{год}} \cdot C_{\text{топ}},$$

где  $\Delta B_{\text{год}}$  – годовая экономия условного топлива от внедрения регулируемого электропривода, т. у.т./год;

$C_{\text{топ}}$  – стоимость 1 тонны условного топлива, 220 USD/т. у. т. (по данным [2], курс доллара по отношению к белорусскому рублю на дату расчетов составил 1,9946 руб.).

Годовая экономия условного топлива от внедрения регулируемого электропривода в соответствии с [1, с. 13] рассчитывается по формуле:

$$\Delta B_{\text{год}} = \Delta W \cdot b_3 \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot 10^{-6},$$

где  $b_3$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г. у. т./кВт. ч;

$k_{\text{пот}}$  – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных сетей) в системе ГПО «Белэнерго».

Годовая экономия условного топлива составит:

$$\Delta B_{\text{год}} = 447511,9 \cdot 281,8 \cdot (1 + 8,85/100) \cdot 10^{-6} = 137,27 \text{ т у. т.}$$

Тогда годовая экономия в стоимостном выражении составит:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 137,27 \cdot 220 \cdot 1,9946 = 60235,72 \text{ руб./ год}$$

Срок окупаемости единовременных капитальных вложений в мероприятие по энергосбережению определяем по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{отм}} / \mathcal{E}_{\text{год}},$$

где  $K_{\text{отм}}$  – единовременные капитальные вложения, руб.;

$\Delta_{\text{год}}$  – годовая экономия текущих затрат на электропотребление, руб./год.

$$T_{\text{ок}} = 7942,5/60235,72 = 0,13 \text{ года}$$

Для рассматриваемого мероприятия Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь установлен средний расчетный срок окупаемости капиталовложений 4-6 лет [2]. Проведенные расчёты показали экономическую целесообразность рассматриваемого мероприятия. Столь низкий срок окупаемости обусловлен резко переменным характером графика нагрузки насоса в рассматриваемом примере расчета.

#### **Заключение**

В заключение следует отметить, что если график нагрузки насоса постоянный и электродвигатель выбран правильно, то установка преобразователя частоты не будет оправдана, так как двигатель будет постоянно работать в максимально эффективном режиме без необходимости регулирования скорости вращения. Также применение преобразователей частоты с редко используемым, пусть и неэффективным, вентиляционным или насосным агрегатом может быть экономически нецелесообразно, т.к. не принесет существенной экономии электроэнергии из-за малого времени работы оборудования.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий [Электронный ресурс]: утв. Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь, 11 мая 2017 г. // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь – Минск. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/supervision/framework/2468-рекомендации-по-составлению-гэо-2016>. – Дата доступа: 27.05.2018.
2. Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/>. – Дата доступа: 27.05.2018.