

УДК 62-5

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ОТДЕЛЕНИЯ СГУЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ ФАБРИКИ ПАО «УРАЛКАЛИЙ»

**Билоус О.А.**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, e-mail: boa@msa.pstu.ac.ru*

С целью повышения энергоэффективности отделения сгущения сильвинитовой фабрики БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» по выпуску мелкозернистого хлористого калия были рассмотрены существующие недостатки работы насосных установок и предложены мероприятия, обеспечивающие рост энергоэффективности, снижение эксплуатационных затрат и времени простоя технологического оборудования. Осуществлен выбор частотного преобразователя Danfoss AQUA Drive FC202-132 в составе насосного агрегата. Выбран входной фильтр ACL-HI-150 для снижения гармоник. Для высоковольтных электродвигателей насосных установок предлагается установить устройство плавного пуска (УПП). Произведен выбор устройства УППВЭ-6-630-Б УХЛ4. Перечислены преимущества применения плавного пуска и останова электродвигателя (ЭД). При неисправности или невозможности запуска насосной установки с помощью преобразователя частоты предусматривается байпасный ручной запуск. Выполнено сравнение реальной (фактической) потребляемой мощности и потребляемой мощности после проведения мероприятий. Выполнено сравнение энергетической эффективности по существующему варианту и после принятия проектных решений по каждому мероприятию.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, насосные установки, частотный преобразователь, частотно-регулируемый привод (ЧРП), устройство плавного пуска (УПП)

## INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF PUMP UNITS AT THE INSPISSATION SECTION OF SYLVINITE FACTORY PAO «URALKALI»

**Bilous O.A.**

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: boa@msa.pstu.ac.ru*

With the aim of energy efficiency increasing at the inspissation section of sylvinitic factory BKPRU-3 PAO «Uralkali», which produce fine-grained potassium chloride, existing limitations of pump units functioning were considered. The arrangements on increasing of energy efficiency, and decreasing of operating costs and technological equipment downtime were proposed. The frequency converter Danfoss AQUA Drive FC202-132 as a part of pump unit was chosen. For decreasing harmonic components the input filter ACL-HI-150 was chosen. For high-voltage motors of pump units the installation of soft starters is recommended. Soft starter UPPVE-6-630-B UHL4 is chosen. Advantages of soft starting and stopping of electric drive are described. When appearing malfunction or impossibility of pump unit starting using frequency converter, bypass hand starting is provided. Real (actual) power consumption and power consumption after arrangements realization are compared. Power indices of existing variant of system and a variant after doing concrete design decisions on each arrangement are compared.

**Keywords:** energy efficiency, pump units, frequency converter, variable frequency drive (VFD), soft starter

Основным технологическим оборудованием отделения сгущения сильвинитовой фабрики БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» по выпуску мелкозернистого хлористого калия являются насосные установки (центробежного типа) и сгустители. Производственное отделение характеризуется круглосуточной работой. Управление запуском и остановкой двигателей технологического оборудования происходит вручную, так как системы автоматизации не установлены. Были выявлены следующие недостатки работы насосных установок:

- регулирование происходит дросселированием (напорными задвижками);
- насосы нагружены частично, время полной нагрузки невелико, регулирование части насосных установок производится часто;
- мощность используемых электродвигателей (ЭД) достаточно большая, в основном 132 кВт (0,4 кВ), 630 кВт (6 кВ). При

этом пуск двигателей производится прямым включением;

- насосные установки и трубопроводы выбраны с большим запасом по мощности в связи с дросселированием и гидродинамическими перегрузками при запуске электродвигателя;
- при нестабильном состоянии и при регулировании технологического процесса производятся частые запуски и остановки электродвигателей.

### Постановка задачи проектирования

Для повышения энергоэффективности отделения сгущения предлагается осуществление следующих мероприятий:

- 1) замена оборудования на более энергоэффективное;
- 2) модернизация существующего оборудования.

Необходимо учесть, что мероприятия должны обеспечить не только повышение

энергоэффективности, но и преследовать другие цели:

- не нарушать технологический процесс, а по возможности улучшить его эффективность;
- обеспечить более высокую надёжность оборудования;
- обеспечить возможность простого освоения и использования технологическим и обслуживающим персоналом;
- обеспечить возможность проведения текущего обслуживания и/или ремонтных работ, а также снизить время на проведение этих работ;
- обеспечить дополнительные функциональные возможности;
- обеспечить экономическую эффективность, обусловленную снижением потребления энергии и повышением использования энергоресурсов, снижением эксплуатационных затрат, а также снижением простоев технологического оборудования [1].

#### **Мероприятия по повышению энергоэффективности насосных установок**

Применение преобразователя частоты (ПЧ) в составе насосного агрегата позволяет просто задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снижение потерь транспортируемого вещества.

Важное достоинство ЧРП и УПП – это снижение эксплуатационных затрат, которое имеет несколько составляющих:

- снижение величины пусковых токов электродвигателей до уровня номинальных и, соответственно, исключения вредного воздействия этих токов на питающую сеть;
- практическое исключение из работы дросселей, заслонок, различного рода клапанов (только для ЧРП);
- исключение гидроударов в гидравлической сети, плавное изменение подачи, то есть исключение или существенное снижение динамических воздействий на технологическое оборудование и сети;
- продление срока службы подшипников и других вращающихся частей, поскольку механизмы, снабженные преобразователями частоты, в течение длительного времени работают с частотами вращения меньшими номинальных. В результате значительно снижаются эксплуатационные расходы и уменьшаются возможности аварийности всего оборудования в целом.

Также необходимо отметить, что ПЧ и УПП не используются в одиночку, их используют в качестве основы для автоматической системы диспетчерского управления (АСДУ), что кроме экономии электроэнергии, позволяет осуществить такие функции как:

- автоматическое переключение на резервный агрегат при аварии основного;
- автоматическое подключение резервных агрегатов при недостаточной производительности;
- автоматическое чередование включенных агрегатов через заданные интервалы времени для обеспечения равномерного износа;
- автоматическое изменение режима работы (производительности) с возможностью полной остановки и автоматического запуска;
- возможность запуска и останова каждого агрегата кнопками в режиме ручного управления прямым пуском от сети или пуском от ПЧ или УПП;
- обеспечение оперативного съема данных о работе оборудования (в том числе и об аварийных ситуациях) и управление с диспетчерского пульта.

Насосные установки в данном отделении делятся по классу напряжения на высоковольтные и низковольтные, а также и функционально по участию в технологическом процессе. Практически половина насосных установок является дублирующей. Используется схема «рабочий/резервный», то есть в работе только одна насосная установка из пары. При неисправности одной насосной установки производится переход в работе на другую.

Функционально насосные установки перекачивают рассол из сгустителей в зумпфы, из сгустителей на флотомашину, в сгустители после отработки. Базовый подход при реализации такой задачи предусматривает периодическое включение/выключение насосных агрегатов либо дроссельное регулирование. Частое включение/выключение насосных агрегатов ведет к повышенному износу системы, а также к возникновению необоснованного энергопотребления.

#### **Высоковольтные насосные установки**

Для высоковольтных электродвигателей насосных установок предлагается установить устройство плавного пуска УППВЭ-6-630-Б УХЛ4 [5].

При обследовании и сборе данных были произведены замеры токовых нагрузок. Средние токовые нагрузки практически неизменны, при работе  $I_{\text{НАГР СР}} = 38\text{А}$  (для ЭД мощностью 630 кВт),  $I_{\text{НАГР СР}} = 32\text{А}$  (для ЭД мощностью 500 кВт). Насосные установки работают в режиме «запасной/резервный». В работе постоянно только один из двух насосов. Переход на работу другого насоса осуществляется при аварийных ситуациях или по плану работы оборудования.

На существующих насосных установках установлены электродвигатели типа

ДАЗО4-450У6МУ1. Двигатели предназначены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6000 В. Вид климатического исполнения двигателей ДАЗО-У1. Номинальный режим работы – продолжительный.

Соединение двигателей с приводным механизмом осуществляется посредством муфты. Пуск двигателей прямой. Изменение направления вращения осуществляется только из состояния покоя. Допускаются два пуска подряд из холодного состояния или один пуск из горячего состояния, интервал между последующими пусками не менее трех часов, количество пусков для двигателей ДАЗО не более 10000 за период эксплуатации и не более 500 пусков в год.

Использование УПП является альтернативой ЧРП, несмотря на утрату гибкости при регулировании расхода.

Для объектов, имеющих в своем составе несколько ЭД, широко применяется групповое устройство плавного пуска, осуществляющее поочередный плавный пуск ЭД. Групповое устройство плавного пуска характеризуется продолжительностью паузы между пусками.

Возможность плавного пуска и останова электродвигателя дает следующие преимущества:

- формирование пусковых характеристик электродвигателей (плавный пуск, безаварийный пуск электродвигателей в условиях предприятий с дефицитом мощности, реверсирование, торможение, останов);
- оптимизацию пусковых и тормозных моментов для безударных разгонов и остановок приводных механизмов, увеличение срока службы подшипников, редукторов, ремней и других деталей машин;
- обеспечение рационального распределения производственных мощностей в системах электроснабжения предприятий (управление режимами работы ЭД в соответствии с технологической необходимостью эксплуатации электромеханических комплексов);
- защиту электрического и механического оборудования;
- применение передовых технических решений;
- широкий диапазон функциональных возможностей;
- максимальную информативность;
- удобство эксплуатации.

Высоковольтное устройство плавного пуска компактнее, чем высоковольтный преобразователь частоты. В связи с этим монтаж значительно проще и занимает меньше времени [4].

Устройство плавного пуска реализует все необходимые функции. В том числе все виды защит и дополнительные, благодаря встроенным модулям.

В комплект поставки входит: щит автоматики плавного пуска, щит коммутационный, дистанционный пульт управления, паспорт, руководство по эксплуатации, схема электрическая подключений [6].

### **Оценка энергоэффективности мероприятий по внедрению УПП высоковольтных насосных установок**

По произведённым наблюдениям и замерам токовых нагрузок высоковольтных насосных установок произведён анализ их работы и рассчитана потребляемая мощность. Учтена специфика высоковольтных электродвигателей марки ДАЗО4-450 и требования к их эксплуатации [2]. Также произведено сравнение реальной (фактической) потребляемой мощности и потребляемой мощности после проведения мероприятий.

При работе насоса ЭД мощностью 630 кВт потребляет ток  $I_{нагр\ ср} = 38$  А в установившемся режиме. ЭД мощностью 500 кВт потребляет ток  $I_{нагр\ ср} = 32$  А. При работе насосных установок потребляемая мощность составляет:

$$P_a = 335,7 \text{ кВт} - \text{для каждого электродвигателя мощностью 630 кВт.}$$

$$P_a = 282,7 \text{ кВт} - \text{для каждого электродвигателя мощностью 500 кВт.}$$

Годовые затраты на электроэнергию по базовому варианту:

$$W_{э\ б} = 13897980 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемые годовые затраты на электроэнергию по проекту с учётом степени нагрузки ЭД насосных установок и использования УПП:

$$W_{э\ п} = 11812283 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемая экономия составит

$$W_{э} = 2084697 \text{ кВтч.}$$

Результаты расчётов энергоэффективности приведены на рис. 1. Примечание – базовый вариант соответствует уровню 100 %.

### **Низковольтные насосные установки**

Исходя из режима работы насосов «рабочий/резервный» можно установить один преобразователь частоты на две насосные установки. При этом возможен запуск любого из насосов, а также запуск двух насосов последовательно в режимах каскадного включения, «с постоянным мастером» и «с переменным мастером» [3].

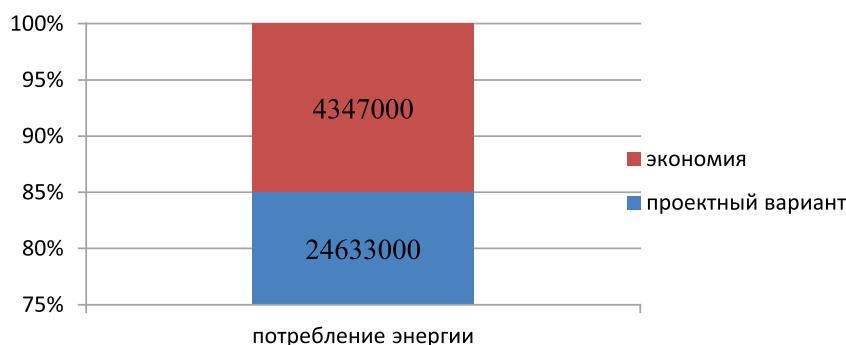


Рис. 1. Показатели энергоэффективности при оснащении высоковольтных насосных установок УПП

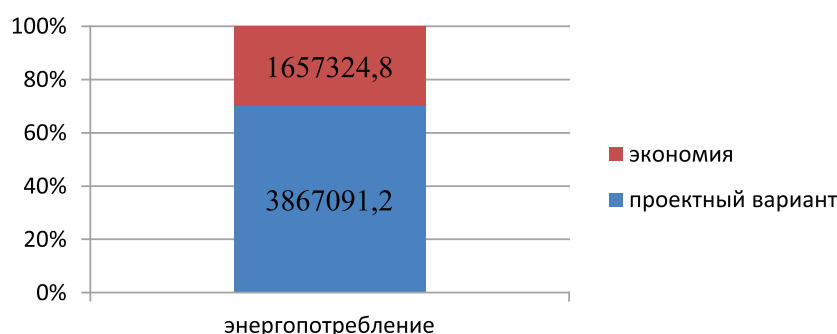


Рис. 2. Показатели энергоэффективности при оснащении низковольтных насосных установок УПП

При неисправности или невозможности запуска насосной установки с помощью преобразователя частоты предусматривается байпасный ручной запуск [7]. При этом происходит прямой запуск двигателя насосной установки, исключая преобразователь частоты.

В автоматическом режиме управление осуществляется при помощи управляющих сигналов от датчика уровня жидкости (ультразвукового уровнемера), показывающего степень наполнения технологических емкостей (сгустителей и зумпфов).

Выбрано оборудование – преобразователь частоты Danfoss AQUA Drive FC202-132, входной фильтр ACL-НН-150 для снижения гармоник, шкаф управления (без преобразователя частоты), пульт управления (местный) [2].

Выбор преобразователя частоты Danfoss AQUA Drive FC202-132 обоснован наличием множества функций, а также данная серия специализирована для насосных установок.

#### Оценка энергоэффективности мероприятий при оснащении низковольтных насосных установок ЧРП

При работе насос редко работает при полной нагрузке. Согласно проведенным

наблюдениям и измерениям в установившемся режиме ток нагрузки составляет  $I_{\text{нагр ср}} = 160$  А. С учётом колебаний нагрузки и дросселирования учитывается повышение нагрузки на 20%. Расчётный ток составляет  $I_{\text{нагр расч}} = 192$  А.

При работе насосных установок потребляемая мощность составляет

$$P_a = 111,2 \text{ кВт.}$$

Годовые затраты на электроэнергию по базовому варианту:

$$W_{\text{эб}} = 5524416 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемые годовые затраты на электроэнергию по проекту с учётом степени нагрузки ЭД насосных установок и использовании ЧРП:

$$W_{\text{эп}} = 3867091,2 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемая экономия составит

$$W_{\text{э}} = 1657324,8 \text{ кВтч.}$$

Результаты приведены на рис. 2. Примечание – базовый вариант соответствует 100% уровню.

Снижение энергопотребления достигается за счёт оптимального использования энергии при частотном регулировании,

а также энергосберегающих функций ЧРП (в отличие от дроссельного регулирования).

### Заключение

В процессе выполнения проектирования для отделения сгущения ПАО «Уралкалий» был проведен анализ существующего оборудования, определены технические недостатки в работе оборудования, рассмотрены и выбраны возможные мероприятия по повышению энергоэффективности. Выполнено сравнение энергетических показателей по существующему варианту и после принятия проектных решений по каждому мероприятию.

### Список литературы

1. Гримитлин А.М. Энергосбережение в системах промышленной вентиляции. Автореф. дис. канд. техн. наук. – СПб., 2011. – 7 с.
2. Инструкция по эксплуатации VLT@AQUA Drive. – DANFOSS, 2014. – 90 с.
3. Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. – М.: МЭИ, 1997. – 57 с.

4. Константинов К.В. Электропривод. – Хабаровск: ДВГУПС, 2008. – 211 с.

5. Техническая коллекция Schneider Electric, вып. 19. – Schneider Electric Publisher, 2008. – 36 с.

6. Техническая коллекция Schneider Electric, вып. 27. – Schneider Electric Publisher, 2009. – 32 с.

7. Техническая коллекция Schneider Electric, вып. 38. – Schneider Electric Publisher, 2011. – 28 с.

### References

1. Grititlin A.M. Energoberezhenie v sistemakh promyshlennoy ventilyatsii. SPb, 2011. 7 p.
2. Instruktsiya po ekspluatatsii VLT@AQUA Drive, DANFOSS, 2014. 90 p.
3. Instruktsiya po raschetu ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya chastotno-reguliruemogo elektroprivoda. M: MEI. 1997. 57 p.
4. Konstantinov K.V. Elektroprivod. – Khabarovsk: DVGUPS, 2008. 211 p.
5. Tekhnicheskaya kolleksiya Schneider Electric, 2008, no. 19. 36 p.
6. Tekhnicheskaya kolleksiya Schneider Electric, 2009, no. 27. 32 p.
7. Tekhnicheskaya kolleksiya Schneider Electric, 2011, no. 38. 28 p.