

---

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ  
(EASC)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION  
(EASC)

---

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТАНДАРТ

**ГОСТ**  
**33969–**  
**2022**  
**(ISO 14414:2019)**

---

**Энергетическая эффективность**  
**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**  
**НАСОСНЫХ СИСТЕМ**

(ISO/ASME 14414:2019, Pump system energy assessment, MOD)

**ПРОЕКТ**

Издание официальное

Москва  
Стандартинформ  
2022

## Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0-2015 "Межгосударственная система стандартизации. Основные положения" и ГОСТ 1.2-2015 "Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены"

### Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Российской ассоциацией производителей насосов (РАПН) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 245 "Насосы"

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 октября 2016 г. N 92-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республика Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 июня 2017 г. N 490-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 33969-2022 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2022 г.

5 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ISO/ASME 14414:2019\* "Оценка энергоэффективности насосных систем" ("Pump system energy assessment", MOD) путем:

- исключения по всему тексту методов и примеров расчета показателей энергоэффективности в американской системе единиц измерения;
- исключения ссылок на стандарт API 682 и связанного с ним текста в приложении В, включая таблицу;
- замены денежной единицы USD, применяемой при расчетах затрат в исходном международном стандарте, на условную денежную единицу (у.е.);
- добавления сносок к формулам (B.1) и (B.5) приложения В и (G.1) приложения G, объясняющих появление числовых коэффициентов;

- замены пункта Н.2.4 на примечание в приложении Н;
- исключения раздела "Библиография";
- прочих редакционных изменений.

Обозначения и сокращения на английском языке применяемых в формулах физических величин сохранены в соответствии с исходным текстом стандарта ISO/ASME 14414:2019.

Международный стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 115 "Насосы" Международной организации по стандартизации (ISO).

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий межгосударственный стандарт имеются в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта в связи с особенностями построения межгосударственной системы стандартизации.

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в применяемом международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА.

**ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе "Национальные стандарты", а текст изменений и поправок - в ежемесячном информационном указателе "Национальные стандарты". В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе "Национальные стандарты". Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет ([www.gost.ru](http://www.gost.ru))*

## Содержание

Предисловие.....	ii
Введение	vi
1 Область применения.....	7
2 Нормативные ссылки.....	8
3 Термины и определения.....	8
4 Определение полномочий и функций экспертной группы.....	8
4.1 Определение функций экспертной группы .....	8
4.2 Организационная структура и квалификация участников экспертной группы	9
4.3 Содействие и поддержка руководства эксплуатирующей организации .....	9
4.4 Обмен информацией.....	10
4.5 Обеспечение доступа к объектам, персоналу и информации .....	10
4.6 Цели, объем и границы проведения оценки.....	10
4.7 План работ .....	10
4.7.1 Общие положения .....	10
4.7.2 Планирование оценки.....	11
4.8 Сбор и оценка исходных данных.....	11
4.8.1 Общие положения .....	11
4.8.2 Первичный опрос специалистов предприятия .....	12
4.8.3 Реализованные энергосберегающие проекты .....	12
4.8.4 Стоимость энергоресурсов.....	12
4.8.5 Исходные данные по системе .....	12
4.9 Проверка поставленных целей.....	12
5 Выполнение оценки .....	13
5.1 Уровни оценки.....	13
5.1.1 Общие положения .....	13
5.1.2 Оценка 1-го уровня .....	13
5.1.3 Оценка 2-го уровня .....	14
5.1.4 Оценка 3-го уровня .....	14
5.2 Обход .....	15
5.3 Выявление технологических требований системы .....	16
5.4 Определение границ системы и показателей энергопотребления.....	16
5.5 Информация, необходимая для оценки эффективности насосной системы ....	17
5.5.1 Общие положения .....	17
5.5.2 Данные электродвигателя и привода.....	17
5.5.3 Данные насоса.....	17
5.5.3.1 Центробежные насосы .....	17

5.5.3.2	Поршневые насосы.....	18
5.5.4	Свойства перекачиваемой среды.....	18
5.5.5	Подробная информация по системе.....	19
5.5.6	Данные измерений.....	19
5.5.6.1	Электрические параметры.....	19
5.5.6.2	Эксплуатационные параметры системы.....	20
5.6	Сбор данных.....	20
5.6.1	Информация по системе.....	20
5.6.2	Измерение эксплуатационных параметров насоса и двигателя.....	20
5.6.3	Давление.....	20
5.6.4	Расход.....	21
5.6.5	Потребляемая мощность.....	21
5.7	Перекрестная проверка.....	21
5.8	Итоговое совещание, представление предварительных выводов и рекомендаций.....	22
6	Отчетность и документальное оформление.....	22
6.1	Окончательный отчет по результатам оценки.....	22
6.2	Данные для проверки третьей стороной.....	22
6.3	Проверка итогового отчета членами экспертной группы.....	22
	Приложение А (обязательное). Содержание отчета.....	23
	Приложение В (справочное). Рекомендации по эффективной работе системы и снижению энергопотребления - Примеры.....	27
	Приложение С (справочное). Квалификация, опыт и профессиональные навыки экспертов	43
	Приложение D (справочное). Рекомендации по применяемому для анализа программному обеспечению.....	45
	Приложение E (справочное). Пример таблицы данных предварительного отбора.....	47
	Приложение F (справочное). Удельное потребление энергии.....	48
	Приложение G (справочное). Избыточная мощность насосной системы.....	52
	Приложение H (справочное). Пример показателя эффективности насосной системы.....	55
	Приложение ДА (справочное). Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в применяемом международном стандарте.....	57

## Введение

На долю насосных систем приходится значительная часть энергопотребления во многих отраслях промышленности. В большинстве насосных систем энергия, затрачиваемая насосом на перекачивание рабочей среды, значительно превышает требуемую для данного процесса величину. Переданная системе избыточная энергия (например, при дросселировании регулирующим клапаном) приводит к повышенному тепло- и шумообразованию, избыточной вибрации и увеличивает стоимость технического обслуживания. Использование «переразмеренных» (большого типоразмера) насосов приводит к перерасходу энергии в системе. В то же время, увеличение размеров компонентов системы, таких как трубы, клапаны и теплообменники, может привести к снижению энергопотребления.

Настоящий стандарт описывает метод оценки насосных систем, позволяющий определить и количественно оценить возможности снижения их энергопотребления и повышения надежности. В нем дается общее определение того, что представляет собой оценка, как для потребителей, так и для поставщиков данных услуг. Цель стандарта – чётко определить виды деятельности, называемые по-разному - энергетической оценкой, энергетическим аудитом, энергетическим обследованием или энергетическим исследованием.

Во всех случаях системы (то есть потребляющие энергию логические группы оборудования, объединённые для выполнения определенной функции) анализируют с помощью различных методов, таких как измерения, в ходе которых выявляют, документируют и определяют приоритеты возможностей улучшения энергетических показателей.

Представители эксплуатирующих насосные системы организаций могут использовать данный стандарт для определения и согласования со сторонним подрядчиком или консультантом требуемого объема работ при заключении договоров на оказание услуг по оценке энергопотребления указанных систем.

Ожидается, что применение настоящего стандарта будет способствовать снижению потребления энергии и, как следствие, уменьшению углеродного следа.

В настоящем стандарте приводятся требования к содержанию отчета об оценке (Приложение А). В нём также приведены примеры эффективной работы системы и возможности снижения энергопотребления (Приложение В), информация о необходимых для проведения аудита компетенциях и опыте (Приложение С), рекомендации по программному обеспечению для анализа (Приложение D), типовая форма опросного листа предварительной оценки (Приложение E), информация об удельном энергопотреблении (Приложение F), описание концепции излишней (паразитной) мощности (Приложение G) и примеры показателей эффективности насосной системы (Приложение H).

Стандарт разработан с учетом требований стандартов ISO 50001, ISO 50002 и ISO 50003.

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ****Энергетическая эффективность****ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСНЫХ СИСТЕМ**

Pump system energy assessment

Дата введения – 1 января 2022 года

**1 Область применения**

Настоящий межгосударственный стандарт устанавливает требования к проведению и представлению результатов энергетической оценки насосной системы (далее - оценка), при которой рассматривается вся насосная система, от поступающей в неё энергии, до выполняемой в результате работы.

Цель выполнения оценки энергоэффективности насосной системы — установить фактический уровень ее энергопотребления и определить возможности повышения ее эффективности.

Настоящий стандарт устанавливает требования:

- к организации и проведению оценки;
- к порядку обработки полученных в ходе выполнения оценки данных; и
- к составлению и документальному оформлению отчетов по результатам оценки.

Настоящий стандарт применим к насосным системам открытого и замкнутого типа, широко распространённых на промышленных, ведомственных, коммерческих и муниципальных объектах.

Настоящий стандарт ориентирован на оценку насосных систем с электрическим приводом, которые преобладают на большинстве объектов, но также может быть применим для других типов приводов, таких как паровые турбины и двигатели.

Стандарт не содержит:

- a) информацию относительно проектирования насосных систем;
- b) детальные требования к уровню квалификации и опыту лиц, использующих данный стандарт, хотя перечень необходимых знаний приведён в Приложении С;
- c) положения по обучению или сертификации специалистов;
- d) указания по выполнению разработанных в ходе оценки рекомендаций, но содержит требования к плану дальнейших действий;
- e) способ измерения и подтверждения экономии энергии, полученной в результате выполнения данных в ходе оценки рекомендаций;
- f) способы выполнения измерений и проведения поверки (калибровки) используемого в ходе оценки измерительного оборудования;
- g) методы оценки стоимости внедрения и проведения финансового анализа рекомендаций, разработанных в ходе оценки;
- h) требования по безопасной эксплуатации оборудования во время оценки. Должностные лица предприятия, ответственные за нормальный режим эксплуатации оборудования, несут ответственность за обеспечение его безопасной работы и на этапе сбора данных в рамках выполнения оценки;

- i) не рассматривает вопросов защиты прав интеллектуальной собственности, обеспечения её конфиденциальности и безопасности.

## 2 Нормативные ссылки

Следующие документы, полностью или частично, являются нормативными ссылками для этого документа и обязательны для их применения. Для датированных ссылок применяется только цитируемое издание. Для ссылок без указания даты применяется последняя версия ссылочного документа (включая любые изменения).

ГОСТ ISO 17769-1 Насосы жидкостные и установки. Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Часть 1. Жидкостные насосы

ГОСТ ISO 17769-2 Насосы жидкостные и установки. Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Часть 2. Насосные системы.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применимы термины по ГОСТ ISO 17769-1 и ГОСТ ISO 17769-2, а также приведенные ниже термины.

### 3.1

#### **энергопотребление системы (system energy demand)**

минимальное потребляемое системой количество энергии, обеспечивающее работу основного и вспомогательного оборудования

### 3.2

#### **компоненты (components)**

отдельное оборудование в составе системы.

Например насос, двигатель, привод, клапан, теплообменник.

### 3.3

#### **гидравлическая мощность (hydraulic power, pump power output)**

мощность, передаваемая насосом перекачиваемой жидкой среде

### 3.4

#### **потребляемая электрическая мощность (electrical power input)**

электрическая мощность, необходимая для поддержания работоспособности насосной системы

### 3.5

#### **удельное энергопотребление (specific energy consumption)**

энергия, расходуемая на перекачивание определенного объема жидкости в системе

### 3.6

#### **избыточная мощность (parasitic power)**

мощность, подаваемая на вал насоса, которая не расходуется на совершение им полезной работы по перекачиванию рабочей жидкости в системе.

## 4 Определение полномочий и функций экспертной группы

### 4.1 Определение функций экспертной группы

Экспертная группа по оценке энергоэффективности насосных систем (далее – экспертная группа), состоящая из квалифицированных специалистов, должна включать

представителей, которые наделены полномочиями и функциями, необходимыми для выполнения следующих задач:

- Распределение ресурсов в целях:
  - выделения финансирования и ресурсов, необходимых для планирования и проведения оценки;
  - принятия определяющих решений по выделению ресурсов;
  - надзор за возможным участием третьих лиц, включая подписание договоров, составление расписания, соглашений о конфиденциальности и технических заданий.
- координация, материально-техническое обеспечение и обмен информацией в целях:
  - оказания работниками предприятия, другими лицами и организациями необходимого содействия в ходе проведения оценки;
  - участия в формировании экспертной группы и координации взаимодействия с соответствующими специалистами, доступа к необходимым системам и оборудованию предприятия;
  - организации, планирования и управления деятельностью по оценке.

#### **4.2 Организационная структура и квалификация участников экспертной группы**

Экспертная группа должна включать специалистов различного профиля, в том числе:

- эксперт по анализу насосных систем, квалификация которого отвечает требованиям Приложения С;
- представитель эксплуатирующей организации, который несет общую ответственность за проведение оценки и владеет правами на нее.

В состав группы также должны быть включены:

- эксперты по технологическим процессам и эксплуатации системы;
- эксперты по техническому обслуживанию насосной системы;
- эксперты, владеющие экономической информацией, такой как затраты на электроэнергию, обслуживание системы и т.п.

Экспертная группа может формироваться из числа специалистов эксплуатирующей организации и быть доукомплектована сторонними экспертами с учетом их квалификации.

Эксплуатирующая организация должна назначить руководителя экспертной группы, который может быть, как представителем эксплуатирующей организации, так и сторонним экспертом. В небольших организациях руководителем группы может быть квалифицированный эксперт.

#### **4.3 Содействие и поддержка руководства эксплуатирующей организации**

Руководство эксплуатирующей организации должно с пониманием относиться к оценке, способствовать ее проведению и дать разрешение своим работникам, входящим в состав экспертной группы, на участие в выполнении оценки в необходимом объеме.

До начала проведения оценки экспертная группа должна получить письменное согласие руководства эксплуатирующей организации следующим образом:

- согласовать необходимое финансирование работ, привлечение требуемых для проведения оценки специалистов и ресурсов эксплуатирующей организации;
- обсудить со специалистами эксплуатирующей организации важность проводимой оценки.

#### 4.4 Обмен информацией

Экспертная группа должна установить требуемые для проведения оценки способы и четкую процедуру обмена информацией, чтобы ее участники могли своевременно обмениваться данными и информацией, включая административную, данные по логистике, а также информацию по эксплуатации и техническому обслуживанию.

#### 4.5 Обеспечение доступа к объектам, персоналу и информации

В ходе выполнения оценки экспертной группе должен быть предоставлен доступ к:

- площадкам и насосным системам производственного объекта, если того требует процедура оценки;
- персоналу объекта (инженерно-техническому, оперативно-ремонтному и пр.), поставщикам оборудования, подрядчикам и другим лицам с целью получения информации, которая может быть существенной и полезной при проведении оценки и анализе данных, используемых для составления отчета;
- другим источникам информации, таким как чертежи, инструкции и руководства по эксплуатации, паспорта и спецификации изделий, ведомости технического обслуживания, протоколы испытаний, счета за коммунальные услуги, данные компьютерного мониторинга и управления, данные с пультов управления оборудованием и автоматизированных рабочих мест операторов, протоколы калибровки.

Вся информация, изначально признанная существенной для выполнения оценки, должна быть получена в процессе обсуждения с квалифицированным персоналом производственного объекта.

#### 4.6 Цели, объем и границы проведения оценки

Общие цели и объем оценки, включая подлежащие данной оценке часть(и) производственного объекта и границы системы, должны быть согласованы экспертной группой на начальном этапе.

По каждой насосной системе экспертная группа должна разработать список конкретных целей, например, повышение эффективности эксплуатации.

#### 4.7 План работ

##### 4.7.1 Общие положения

Первоначальный план действий по оценке должен быть разработан и согласован участниками экспертной группы совместно с ответственными лицами предприятия-собственника системы. Это упростит выполнение данной оценки и сделает понятным для всех участников порядок и особенности её проведения.

План должен быть достаточно гибким и предусматривать различные варианты развития событий в зависимости от получаемых в ходе оценки результатов. Такой план, среди прочего, должен:

- a) устанавливать цели оценки, в том числе:
  - определять границы системы (см. п.5.4);
  - содержать обзор информации, собранной до начала выполнения оценки;
  - определять всю информацию по системам, которая уже имеется на текущий момент и которую необходимо получить;
  - сбор информации должен начинаться с оценки 1 уровня (см. п.5.1.2).
- b) определять информационные цели оценки (см. 5.1), в том числе:

- объём предстоящей оценки;
  - перечень подлежащих оценке систем;
  - перечень доступной информации и необходимые для её сбора действия;
  - информацию, доступную на бумажных носителях (например, оперативные журналы) и в электронном виде (архивы контрольно-измерительных приборов и аппаратуры, автоматизированная система управления и диспетчеризации предприятия), а также параметры системы, которые необходимо измерить;
  - перечень участников и лиц, ответственных за сбор необходимых данных.
- с) устанавливать требования к измерениям (см. 5.6), в частности:
- определять, достаточно ли зафиксировать параметры системы в определенный момент времени (Табл.1 - уровень 2), или же необходим сбор информации в течение длительного периода времени (Табл.1 - уровень 3);
  - определять доступность и достоверность показаний стационарного измерительного оборудования.
- d) устанавливать дополнительные информационные задачи, в частности, определение фактических потребностей технологического процесса (см. 5.4);
- e) определять методы достижения поставленных информационных задач:
- способы анализа полученных данных с учётом рекомендации Приложения В;
  - выбор применяемых инструментов и программного обеспечения
- f) определять содержание отчета и распределение обязанностей.

#### 4.7.2 Планирование оценки

Сроки проведения оценки, а также даты и время основных мероприятий и совещаний должны быть согласованы заранее.

Необходимо предусмотреть следующие мероприятия:

- установочное совещание. Проводится непосредственно перед началом выполнения работ по оценке. Цель совещания: определение перечня информации, получаемой в ходе предварительного сбора и оценки исходных данных (см. 4.8) и согласование графика работ. В ходе совещания участники экспертной группы должны обсудить правила и мероприятия по технике безопасности, применяемые инструменты, методы, необходимое измерительное, регистрирующее и диагностическое оборудование;
- составление ежедневного графика работы на объекте;
- предоставление руководству эксплуатирующей организации периодических докладов в формате промежуточных итогов (по согласованию с экспертной группой);
- итоговое совещание по завершении работ на объекте. Проводится для представления результатов оценки и предварительных рекомендаций (см. 5.8).

Экспертная группа должна разработать корректирующие действия в отношении непредвиденных ситуаций, которые могут возникнуть или возникли в ходе выполнения оценки (например, отказ автоматизированной системы учета данных).

### 4.8 Сбор и оценка исходных данных

#### 4.8.1 Общие положения

Сбор исходных данных (см.4.7.1 а) и b)) выполняется перед началом работ по оценке. Для сокращения сроков данный этап может быть пропущен.

ПРИМЕЧАНИЕ. Справедливо для всех этапов оценки.

#### 4.8.2 Первичный опрос специалистов предприятия

Посредством контактов с обслуживающим персоналом и специалистами предприятия экспертной группе необходимо получить информацию о методах эксплуатации, технологических режимах и других особенностях работы, влияющих на энергопотребление оборудования.

Кроме того, экспертная группа должна иметь возможность взаимодействия со специалистами смежных систем предприятия, на которые могут повлиять внесенные в насосную систему изменения.

#### 4.8.3 Реализованные энергосберегающие проекты

Экспертная группа должна собрать и изучить информацию по ранее реализованным энергосберегающим проектам, проведенным оценкам, аудитам, имеющимся базовым и целевым показателям оцениваемых насосных систем.

#### 4.8.4 Стоимость энергоресурсов

Экспертная группа должна собрать данные о затратах, включая стоимость электроэнергии за один кВт·ч или другие аналогичные показатели. Необходимо учесть все статьи расходов, такие как плата за установленную мощность, пиковые и почасовые тарифы на электроэнергию, другие расходы системы энергоснабжения до потребителя. При необходимости, соответствующие расходы должны быть отнесены в счет электроэнергии, вырабатываемой на предприятии. Эти показатели должны быть использованы для последующего анализа. В случае выработки электроэнергии на предприятии необходимо учитывать экономию затрат или прибыль от реализации электроэнергии.

Экспертная группа должна установить период, в течение которого указанные затраты будут актуальными.

Необходимо учитывать такие показатели, как плата за установленную мощность и тенденции изменения, которые не отображаются в средних показателях.

Группа оценки должна также рассмотреть такие вопросы, как плата за спрос и тенденции, чтобы выявить ситуации, не очевидные при использовании средних значений.

На основе указанных данных экспертная группа должна определить среднегодовую стоимость 1 кВт·ч энергии за последние 12 месяцев.

Если на предприятии установлены предельные затраты на электроэнергию, их показатели можно использовать при расчете экономии.

#### 4.8.5 Исходные данные по системе

Экспертная группа должна:

- определить функциональное назначение и технологические требования систем(ы);
- выявить оборудование с высокими показателями энергопотребления;
- определить способы регулирования системы;
- выявить системы с высоким, низким или с отрицательным статическим напором;
- выявить неэффективное оборудование (имеющее явные признаки неисправности или неправильной работы);
- выявить системы с низким показателем средней наработки на отказ, что, как правило, свидетельствует о низкоэффективной эксплуатации (см. Рис. В2).

#### 4.9 Проверка поставленных целей

Перед проведением оценки экспертная группа должна убедиться в том, что план действий соответствует заявленным целям оценки.

План действий и цели должны быть рассмотрены на предмет актуальности, экономической эффективности и способности привести к желаемым результатам.

## 5 Выполнение оценки

### 5.1 Уровни оценки

#### 5.1.1 Общие положения

В зависимости от потребностей принимающей организации выбирается один или несколько уровней оценки, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 — Уровни оценки

Мероприятия	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
Предварительный отбор вариантов	●	●	●
Обход	○	●	●
Выявление систем с потенциалом энергосбережения	●	●	●
Оценка систем с потенциалом энергосбережения	○	●	●
Измерение рабочих параметров в одном типовом режиме эксплуатации	○	●	●
Измерение/регистрация данных систем в различных условиях эксплуатации	X	X	●

● – обязательно; ○ – дополнительно; X – не применяется.

Примечание 1. Оценка 1-го уровня представляет собой качественное обследование с возможным наличием количественных элементов. Проводится с целью выявления вариантов существенной экономии энергии для последующей оценки, в также для определения заслуживающих наибольшего внимания конкретных систем.

Примечание 2. Оценка 2-го уровня – это количественное обследование, проводимое для определения величин потребляемой энергии и потенциала энергосбережения на основе измерений рабочих параметров в одном стационарном режиме эксплуатации путём выполнения одного набора измерений.

Примечание 3. Оценка 3-го уровня представляет собой количественное обследование, в ходе которого принимаются во внимание изменения требуемых рабочих параметров системы. Измерения проводятся в течение определённого периода времени, длительность которого позволяет зафиксировать различные режимы эксплуатации и соответствующие им наборы измеряемых параметров.

В зависимости от уровня оценки, сбор данных должен выполняться в соответствии с Таблицей 2.

#### 5.1.2 Оценка 1-го уровня

Оценка 1-го уровня включает сбор информации о насосных системах, подлежащих рассмотрению в рамках выполнения оценки.

Оценка 1 уровня должна начинаться с предварительного отбора.

В ходе предварительно отбора устанавливаются применимые в различных системах методы управления. Необходимо определить, какие системы наилучшим образом подходят для более тщательной оценки. Кроме того, следует выяснить, повлияют ли изменения в насосной системе на другие системы, тем самым введя ограничения на возможные направления её оптимизации.

При выполнении оценки 1-го уровня необходимо собрать максимально возможное количество информации.

Доступность на предприятии некоторых видов данных (см. 5.5) в ходе оценки 1 уровня необходимо зафиксировать, даже если такие данные не были получены.

Для удобства выполнения предварительного отбора рекомендуется использовать опросный лист, типовая форма которого приведена в Приложении Е.

В целом, предварительный отбор предусматривает следующие действия:

- а) сортировка по мощности привода, годовой наработке и расчётной стоимости энергоресурсов;
- б) выделение центробежных насосов, эксплуатируемых с постоянной частотой вращения;
- с) выделить насосные системы с регулированием подачи при помощи задвижки (дросселирования) или линии рециркуляции
- д) выявление признаков потерь энергии, таких как большая разница между параметрами потребления и подачи, обычно достигаемая за счет применения дросселирующих клапанов и перепускных (байпасных) линий (см. 5.5.5);
- е) выявление неэффективных насосных систем путём опроса оперативно-ремонтного персонала и проверки журналов технического обслуживания;
- ф) отбор для оценки тех системы, которые с наибольшей вероятностью могут продемонстрировать потенциал энергосбережения.

На основе этой информации экспертная группа должна рассчитать потенциал энергосбережения каждой системы и выбрать те из них, которые соответствуют критериям оценки уровня 2 или уровня 3.

### 5.1.3 Оценка 2-го уровня

Оценки 2-го уровня проводятся в том случае, когда очевидно, что наблюдаемые условия эксплуатации являются показательными для работы систем, а изменения условий эксплуатации незначительны или отсутствуют.

Оценки 2-го уровня проводятся с использованием данных в бумажном или электронном формате, полученных из информационных систем объекта, а также с помощью портативных измерительных устройств. Измерения должны проводиться в течение ограниченного периода времени и фиксировать режимы работы и эксплуатационные параметры непосредственно в момент измерений.

### 5.1.4 Оценка 3-го уровня

Оценки 3-го уровня проводятся для насосных систем, в которых условия работы существенно изменяются во времени. При оценке таких систем экспертная группа должна регистрировать данные по их работе за определенный период времени, либо данные, соответствующие крайним рабочим точкам. Данные мероприятия связаны с расширенным проведением измерений (мониторинга) на объекте эксплуатации для обеспечения точного определения условий эксплуатации в различных рабочих точках (т.е. в проектной рабочей точке, в типовом, номинальном, максимальном и минимальном режимах). Мониторинг осуществляется путем подключения датчиков к регистратору данных и записи их выходных сигналов. На объектах, где организовано хранение архивных данных, указанная информация должна загружаться из соответствующей информационной системы.

Информация о системе	Уровень оценки		
	1	2	3
Описание объекта	●	●	●
Инвентаризационная опись насосной системы (предоставляется до начала выполнения оценки) в соответствии с параметрами предварительного отбора			
– перечень насосов	●		
– описание насосов (с указанием перекачиваемой среды)			
– тип насоса			
– назначение насоса		●	●
– годовая наработка (или % рабочего времени)			
– способ регулирования, например регулирующая арматура, частотно-регулируемый привод (ЧРП), байпасная линия			
– физическое местоположение насоса			
– данные по установленному двигателю (номинальная мощность, напряжение, частота и ток при максимальной нагрузке)	○		
Рабочие параметры (включая расход, давление и мощность)	○	●	●
Графические характеристики насоса	○	●	●
Проектная рабочая точка	○	●	●
Кавитация в насосе или системе	●	●	●
Уровень технического обслуживания (низкий, средний, высокий)	●	●	●
Информация по оборудованию (применение, срок эксплуатации, профиль нагрузки, напряжение)	○	●	●
Типовые подачи и диапазоны их изменения	○	●	●
Диаграммы продолжительности (отражающие количество времени, в течение которого величина параметра превышает определенное значение)	○	○	●
Гистограммы (графическое отображение частоты распределения интервалов расхода, напора, мощности или других параметров, таких как положение клапана)	○	○	●
Затраты (такие как техническое обслуживание, эксплуатация, энергобезопасность, капитальные затраты)	○	○	○
Технологические схемы с указанием трубопроводов и КИПиА / скриншоты автоматизированной системы управления	○	●	●
Характеристики привода, отличного от электрического (например паровой турбины)	○	●	●

● – обязательно; ○ – дополнительно

## 5.2 Обход

Обход необходим для оценки уровней 2 и 3 и может потребоваться для некоторых насосных систем при проведении оценки 1-го уровня.

Обход подразумевает тщательное изучение всех особенностей объекта с целью удостовериться, что предоставленная экспертной группе информация отображает фактическую конфигурацию имеющихся систем.

После проведения обхода систем в рамках оценки 2-го и 3-го уровней, необходимо произвести сбор данных, указанных в 5.5, используя приведенные в 5.6 методы.

Необходимо учитывать все компоненты системы и принимать во внимание всю

информацию, имеющую к ним отношение, такую как расположение запорно-регулирующей арматуры, мест установки манометров и расходомеров, положения клапанов и т. д.

Во время осмотра следует зафиксировать информацию о методах управления различными системами, в частности, настройки клапанов.

Экспертная группа должна обращать внимание на любые признаки, свидетельствующие о неэффективной работе насосной системы. К таким признакам относятся:

- а) насосные системы с чрезмерным дросселированием<sup>1)</sup>;
- б) насосные системы с регулированием при помощи контура рециркуляции;
- в) насосные системы со значительными колебаниями расхода или давления;
- г) системы с несколькими насосами, в которых количество работающих насосов не зависит от изменения потребностей системы;
- д) системы, обслуживающие несколько конечных потребителей, в которых наименьший потребитель задаёт требуемое давление<sup>1)</sup>;
- е) кавитация в системе<sup>1)</sup>;
- ж) насосы, двигатели или трубопроводы с высоким уровнем вибрации и/или шума<sup>1)</sup>;
- з) оборудование с высокими требованиями по техническому обслуживанию (низким показателем наработки на отказ)<sup>1)</sup>;
- и) системы, в которых после изменения функциональных требований не была произведена замена насосов;
- к) изношенные, поврежденные, подверженные коррозии, деформированные или сломанные рабочие колеса / направляющие аппараты / лопасти, изношенные кольца щелевых уплотнений и корпуса (данная информация по возможности должна быть предоставлена персоналом предприятия);
- л) засорение трубопроводов или насосов (как правило, для выявления требуются архивные данные за истекшие периоды);
- м) насосные системы с низким показателем эффективности (см. Приложение Н);
- н) заклинивание задвижек или протечка клапанов контура рециркуляции;
- о) системы уплотнений, в особенности, высокотемпературные и требующие охлаждения (см. В.4.3);
- п) недостаточная фильтрации перекачиваемой среды на входе в насос там, где это необходимо.

### 5.3 Выявление технологических требований системы

Экспертная группа должна определить нормальные, предельные и нештатные режимы эксплуатации системы с учетом границ её эксплуатации, а также распределение этих режимов по времени.

При отсутствии точных данных и невозможности их получения от персонала предприятия, экспертная группа должна провести мониторинг работы системы в течение определенного периода и получить требуемую информацию.

### 5.4 Определение границ системы и показателей энергопотребления

Экспертная группа должна определить границы и энергопотребление каждой насосной системы, проходящей оценку 2-го и 3-го уровней.

<sup>1)</sup> Возможный признак высокого уровня избыточной мощности (см. Приложение Г).

ПРИМЕЧАНИЕ. Если в состав оцениваемой системы входит ряд подсистем, граница такой системы является составной и должна определяться перед началом любых измерений или расчетов.

## **5.5 Информация, необходимая для оценки эффективности насосной системы**

### **5.5.1 Общие положения**

После выбора насосных систем, требующих дальнейшего обследования, необходимо собрать информацию, указанную в пунктах с 5.5.2 по 5.5.6.

Экспертная группа должна определить необходимость сбора данных по каждой оцениваемой системе.

Экспертная группа должна обеспечить контроль качества при разработке и выполнении плана измерений как последовательного, повторяемого и воспроизводимого процесса.

План проведения измерений должен соответствовать принципам безопасности, прозрачности и надежности.

План проведения измерений должен включать замеры, необходимых для получения базовой величины годового энергопотребления насосной системы. Как правило для этого выполняют мгновенные измерения значений расхода, давления и электрических параметров, а также определяют часы работы системы в различных режимах.

Для проверки правильности полученных данных требуется проведение перекрестного контроля.

### **5.5.2 Данные электродвигателя и привода**

Исходные данные двигателя и привода могут быть получены с заводской маркировочной таблички (при ее наличии) или из паспорта изделия и включают:

- а) частоту электросети;
- б) типоразмер двигателя;
- в) номинальную частоту вращения двигателя;
- г) номинальное напряжение двигателя;
- д) ток полной нагрузки двигателя — (ток двигателя на номинальной мощности);
- е) номинальную мощность;
- ж) номинальный КПД или класс эффективности (если указан);
- з) тип и характеристики двигателя;
- и) тип привода (например: частотно-регулируемый, ременный, редуктор, прямой привод);
- к) данные по техническому состоянию двигателя (например: оригинальный, перемотанный, замененный).

### **5.5.3 Данные насоса**

#### **5.5.3.1 Центробежные насосы**

Данные могут быть получены с заводской маркировочной таблички насоса (при ее наличии) или из имеющейся документации.

При наличии разночтений между информацией с заводской маркировочной таблички и документацией этот случай необходимо взять на контроль и вернуться к нему позже при проведении оценки системы. К необходимым данным по насосу (при их наличии) относятся:

- а) тип и модель насоса;
- б) завод – изготовитель;
- в) серийный номер.
- г) номер заказчика (по технологической схеме);
- д) количество ступеней;
- е) тип привода;
- ж) номинальная частота вращения (об/мин);
- з) рабочая точка (подача и напор);
- и) диаметр рабочего колеса (установленного и максимальный);
- к) графические характеристики насоса (при наличии), включая полный номинальный напор, подачу, мощность, КПД и кавитационный запас;
- л) ведомости технического обслуживания;
- м) наличие случаев кавитации или рециркуляции;
- н) данные о системе уплотнения.

#### **5.5.3.2 Поршневые насосы**

Данные могут быть получены с заводской маркировочной таблички насоса (при ее наличии) или из имеющейся документации.

В случае разночтений между информацией с заводской таблички и информацией из документации этот вопрос необходимо взять на контроль и вернуться к нему позже при проведении оценки системы. К необходимым данным по насосу (при их наличии) относятся:

- а) тип и модель насоса;
- б) завод – изготовитель;
- в) серийный номер.
- г) номер заказчика (по технологической схеме);
- д) описание насоса/номер модели;
- е) номинальные параметры:
  - частота вращения;
  - давление;
  - температура;
  - мощность.
- ж) данные по системе (условия эксплуатации);
- з) настройки предохранительного клапана;
- и) характеристики насоса;
- к) ведомости технического обслуживания;
- л) кавитация насоса, контур рециркуляции или другие потенциальные проблемы;
- м) система уплотнения.

#### **5.5.4 Свойства перекачиваемой среды**

К свойствам перекачиваемой среды относятся:

- а) название жидкости;
- б) динамическая вязкость;
- в) температура;
- г) плотность;
- д) наличие твердых частиц и их характеристики;
- е) давление насыщенных паров при рабочем давлении и температуре;
- ж) процентное содержание свободного газа (при наличии);
- з) взрывоопасность;
- и) горючесть;

### 5.5.5 Подробная информация по системе

К необходимым данным по системе относятся:

- а) план расположения оборудования насосной системы;
- б) нестандартные условия эксплуатации;
- в) схемы трубопроводов и КИП
- г) способ регулирования насоса:
  - частотно-регулируемый привод;
  - дросселирование (процент открытия дроссельной задвижки при наличии);
  - байпасная линия/линия рециркуляции;
  - двухпозиционное управление (вкл./откл.);
  - последовательная или параллельная работа нескольких насосов, распределение нагрузки;
  - регулирование отсутствует.

Для центробежных насосов необходимо получить следующую дополнительную информацию:

- статический напор и, по возможности, напорную характеристику сети;
- располагаемое значение кавитационного запаса (NPSHA);
- профиль нагрузки. Путем опроса эксплуатационного персонала определить приблизительно годовые, сезонные, еженедельные и ежедневные часы работы при различной подаче.

Для поршневых и плунжерных насосов необходимо получить следующую дополнительную информацию:

- давление в напорном патрубке;
- давление во всасывающем патрубке
- располагаемое надкавитационное давление (NPIPA).

При необходимости следует получить дополнительную информацию по располагаемому кавитационному запасу (для центробежных насосов) и располагаемому надкавитационному давлению на входе (для поршневых насосов).

### 5.5.6 Данные измерений

#### 5.5.6.1 Электрические параметры

К необходимым электрическим параметрам относятся:

- Потребляемая мощность (кВт);

или

- фактические значения напряжения, тока и коэффициента мощности электродвигателя для расчета потребляемой мощности.

#### **5.5.6.2 Эксплуатационные параметры системы**

В ходе оценки необходимо собрать достаточное количество эксплуатационных данных для определения направлений распределения энергии в системе. К таким данным относятся:

- величина расхода каждого контура системы;
- частота вращения (об/мин) ротора (при необходимости);
- уставки регулирующей арматуры и положения регулирующих элементов;
- уровни и давление подпорного и приёмного резервуара;
- установленное оборудование, находящееся в работе.

### **5.6 Сбор данных**

#### **5.6.1 Информация по системе**

Экспертная группа должна, по возможности, определить кривую гидравлической сети насосной системы. Для большинства систем данную кривую можно определить с помощью двух различных рабочих точек: статического напора при нулевом расходе и одной рабочей точки.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Кривая сети необходима для понимания насосной системы в целом и последствий от внесения изменений в какую-либо её часть. В некоторых редких случаях характеристику системы определить невозможно, однако можно определить рабочую точку насоса.

Для выполнения соответствующих измерений необходимо установить временную зависимость изменения требуемых параметров сети.

#### **5.6.2 Измерение эксплуатационных параметров насоса и двигателя**

В первую очередь необходимо измерить напор, подачу, мощность и наработку насоса.

Если условия работы насосной системы постоянны или изменяются во времени незначительно, для оценки данной системы может оказаться достаточным одномоментно зафиксировать ее эксплуатационные параметры.

Если требуемые параметры системы со временем изменяются, экспертная группа должна принять решение о необходимости продолжительного мониторинга, а также установить такую его продолжительность, которая позволит охватить все возможные режимы эксплуатации.

Можно также воспользоваться эксплуатационными параметрами или базой данных условий эксплуатации архивов системы управления предприятием.

В ходе итогового анализа данных оценки должны быть оценены погрешности измерений и конечных результатов.

#### **5.6.3 Давление**

Измерение давления следует проводить с помощью калиброванных приборов, установленных на прямолинейном участке трубопровода на расстоянии двух диаметров трубопровода от всасывающего/напорного фланца (если таковые имеются).

При определении КПД насоса измерение давления должно проводиться со стороны

всасывающего и нагнетательного патрубков как можно ближе к насосу.

В любом случае рекомендуется оценить потери напора на участках между точками измерения давления во всасывающем/напорном трубопроводе и самим насосом.

Для точного определения напора насоса необходимо принимать в расчёт скорость потока и разность отметок установки измерительных приборов.

#### 5.6.4 Расход

Для оценки эффективности насоса и системы в целом необходимо определить расход жидкости в системе.

- а) Предпочтительным является измерение расхода с помощью должным образом подобранного, откалиброванного и установленного оборудования.

В тех случаях, когда место измерения может быть подвержено влиянию возмущения потока, рекомендуется проводить независимое измерение расхода с помощью другого устройства или в другом месте.

Аналогичным образом, всегда рекомендуется проводить независимую проверку измерений и оценок расхода с использованием независимых методик. См. 5.7.

При необходимости использования портативных расходомеров верификация измерений выполняется путем повторной установки расходомера в резервном месте установки, либо с помощью различных методов измерений. В случае выявления значительных разбросов значений измерения должны считаться недостоверными.

- б) Если по какой-либо причине расход измерить невозможно (включая ограниченное пространство, геометрию и размеры трубы, особенности перекачиваемой жидкости), его можно оценить с помощью кривых производительности насоса, падения давления в элементе трубопровода с известными характеристиками.

#### 5.6.5 Потребляемая мощность

Измерение потребляемой мощности, по возможности, следует проводить непосредственно с помощью измерителя мощности. Данный метод дает наиболее точные результаты.

Если прямое измерение мощности невозможно, приемлемой альтернативой является измерение питающего напряжения и силы тока электродвигателя. Потребляемая мощность электродвигателя вычисляется с применением расчетного коэффициент мощности.

В случае применения частотно-регулируемого привода входную мощность необходимо измерять до него.

Электрические измерения должны выполняться только квалифицированными специалистами.

#### 5.7 Перекрестная проверка

В случае отсутствия возможности прямого измерения необходимого параметра его можно вычислить с помощью других параметров, например:

- если известно значение напора насоса, то по его рабочей характеристике можно определить значение подачи;
- если известно значение потребляемой электрической мощности, то по имеющейся характеристике КПД электродвигателя можно определить мощность на валу насоса. Далее, с помощью мощностной характеристики насоса определить значение подачи;
- известная величина положения задвижки и расхода в сочетании с характеристикой задвижки позволяют оценить потери давления при дросселировании;

- измеренное время наполнения и опорожнения колодца или резервуара наряду с геометрическими размерами позволят определить подачу насоса.

Такие методы вычислений могут применяться для предварительной количественной оценки потенциала снижения энергопотребления, чтобы определить, является ли величина экономии достаточной для дальнейшего исследования.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Подробное описание различных методов перекрестной проверки выходит за рамки данного стандарта, однако они являются важными инструментами разработки и оценки технических решений.

## **5.8 Итоговое совещание, представление предварительных выводов и рекомендаций**

Представление предварительных выводов и рекомендаций проводится как заключительный этап проведения оценки. На заключительном совещании должен присутствовать весь состав экспертной группы. Во время этой встречи должны быть рассмотрены оставшиеся вопросы и проблемы, возникшие в ходе оценки. Предварительные результаты оценки должны быть официально представлены и должны включать, но не ограничиваться следующим:

- обзор использованного метода оценки;
- эффективность оцениваемых(ой) систем(ы) и компонентов;
- предварительные рекомендации по повышению эффективности с указанием ориентировочных показателей экономии энергии и затрат, при их наличии;
- обсуждение рекомендуемых дальнейших действий по анализу систем(ы);
- любые общие комментарии и замечания.

Представленные результаты должны квалифицироваться как предварительные, подлежащие дальнейшему анализу и уточнению. Сроки предоставления предварительного и окончательного вариантов отчета устанавливаются по взаимной договоренности.

Детальная информация приведена в Приложении В.

## **6 Отчетность и документальное оформление**

### **6.1 Окончательный отчет по результатам оценки**

После завершения работ по оценке непосредственно на объекте и выполнения всех необходимых этапов анализа данных, результаты оценки должны быть оформлены в виде окончательного письменного отчета в соответствии с Приложением А.

### **6.2 Данные для проверки третьей стороной**

Для того, чтобы проведённый в соответствии с п.5.6 анализ мог быть проверен третьей стороной, отчет и любая другая представленная вместе с ним документация должны содержать достаточное количество полученной в ходе оценки исходной информации. Для полного понимания проверяющими и другими не участвовавшими в ее разработке лицами, документация должна быть структурирована надлежащим образом.

### **6.3 Проверка итогового отчета членами экспертной группы**

Перед завершением итогового отчета члены экспертной группы должны убедиться в точности и полноте указанной в нём информации и, при необходимости дать свои замечания. После согласования проекта отчета и внесения необходимых изменений экспертная группа должна единогласно утвердить, а потом подготовить и представить окончательный вариант отчета.

## **Приложение А** **(обязательное).** **Содержание отчета**

### **А.1 Краткое содержание отчета**

Раздел должен содержать краткое изложение и выводы отчета, включая информацию:

- a) общие сведения о предприятии, производимой продукции и энергетических показателях;
- b) цели и объём оценки;
- c) оцениваемая(ые) система(ы) и границы измерений;
- d) годовое энергопотребление;
- e) выявленные возможности повышения эффективности с соответствующей экономией энергии и затрат;
- f) расчётную экономию энергии и затрат;
- g) перечень рекомендаций по достижению выявленной экономии энергии и затрат.

### **А.2 Введение и информация об объекте**

В этот раздел включается краткое описание и общие сведения, информация по экспертной группе и объёме оценки.

### **А.3 Цели и область применения оценки**

В разделе кратко излагаются цели оценки, указываются границы конкретной оцениваемой системы (систем) и причины выбора этих границ. Раздел должен включать общие принципы и методологию, применённые при проведении оценки.

### **А.4 Описание оцениваемой системы (систем) и её основных проблем**

Отчет должен включать подробное описание конкретной системы (систем), для которой проводилась оценка. В зависимости от оцениваемой системы, описание её функционирования может быть подробным и подкрепляться графиками, таблицами и схемами системы. Для пояснения работы компонентов системы и их взаимосвязей в отчёт также следует включить имеющуюся сопроводительную документацию.

Должны быть описаны все основные параметры, включая результаты операционный осмотра системы, а также все выявленные передовые методы и процедуры, признанные наиболее эффективными для снижения энергопотребления.

### **А.5 Сбор данных и проведение измерений**

Должны быть описаны методы, используемые для выбора и опроса ключевых специалистов объекта, сбора данных и проведения измерений, в том числе план измерений. Данные, соответствующие оценке уровня 2 и 3 должны включать:

- требования системы и тенденции изменения её работы в течение года (чертежи, технологические данные);
- полный напор насоса, расход и расчетную кривую системы;
- данные о потреблении электрической энергии;
- наработку насоса;
- распределение расхода (только для уровня 3);
- информацию о производительности насоса, при наличии;

- измерения или расчёт потерь в системе.

Раздел также должен включать анализ точности данных и необходимости их проверки до утверждения рекомендованных проектов.

## **A.6 Анализ данных**

Отчет должен включать результаты измерений и анализа данных в соответствии с целями оценки конкретного объекта, техническим заданием и планом действий по оценке. По результатам выполнения работ все важные аналитические методы, измерения, наблюдения и результаты анализа данных должны быть задокументированы.

## **A.7 Базовый уровень годового энергопотребления**

При наличии информации отчет должен включать исходные данные по общему годовому энергопотреблению насосной системы. Необходимо описать аналитический метод, использованный для расчёта величины базового годового энергопотребления (см. 5.5.1). Результаты изучения производственных процессов также должны быть приведены.

Отчет должен четко описывать исходные данные в качестве основы для контроля как для плановых, так и для внеплановых корректировок. Корректировки рассчитываются на основе определённых физических фактов в отношении изменений физического объекта и производственного процесса. Отчет должен содержать достаточную информацию о функциональном базовом состоянии объекта на момент проведения оценки, чтобы обеспечить основу для контроля изменений исходных величин.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** Плановые корректировки – это корректировки вследствие влияния прогнозируемых определяющих энергопотребление факторов, например, колебания объема производства. Исходные зависимости энергопотребления системы от объема производства и времени четко заданы.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** Внеплановые корректировки связаны с факторами, изменение которых в краткосрочной перспективе не является предсказуемым. Такими факторами являются размер объекта, конструкция, тип и количество включающих насосные системы производственных линий.

## **A.8 Определение и приоритетный порядок вариантов повышения производительности**

Путем проведения анализа необходимо определить количественные показатели сокращения энергопотребления и экономии затрат при реализации рекомендованных вариантов повышения эффективности. Другие энергетические и неэнергетические эффекты могут быть показаны при помощи дополнительных расчетов. В отчете должны быть указаны методы расчета и использованные программные модели с четким указанием допущений их применения.

Варианты повышения эффективности могут быть реализованы путём улучшения технического обслуживания; эксплуатационных улучшений; модернизации и замены оборудования; пересмотра стратегий управления; улучшения и изменения технологического процесса; других действий, снижающих потребление энергии.

В отчете должна быть оформлена и представлена детальная информация о возможностях повышения эффективности, включая достаточно подробное описание необходимых для реализации проекта действий. При выборе проектов для реализации, экспертная группа должна распределить имеющиеся варианты повышения эффективности на категории с высоким, средним или низким приоритетом на основе следующих факторов:

- экономия энергии и затрат;
- вероятность достижения прогнозируемой экономии;
- вероятность достижения устойчивой экономии в течение длительного срока;

- влияние на текущий режим эксплуатации;
- необходимость замены или модернизация существующего оборудования;
- сроки и стоимость реализации;
- сложность этапов реализации;

В аналитической части отчета необходимо указать базовые показатели энергопотребления насосной системы и представить варианты экономии энергии.

Для всех уровней оценки анализ базовых показателей энергопотребления и предлагаемые рекомендации должны быть представлены достаточно детально, что позволит персоналу предприятия получить представление о всех этапах анализа. При использовании программного обеспечения вводимые в него данные должны быть четко определены. При проведении анализа дополнительно могут использоваться электронные таблицы, диаграммы, скрин-шоты программного обеспечения и расчеты. Этапы анализа, принятые допущения и расчеты должны быть представлены в логичном подробном формате, понятном другим инженерно-техническим работникам для проверки третьей стороной в случае необходимости.

В данном разделе могут также рассматриваться другие энергетические и неэнергетические выгоды, такие как оптимизация использования ресурсов, снижение себестоимости единицы продукции, снижение стоимости жизненного цикла и улучшение экологических показателей. Эти выгоды могут совпадать с интересами руководства предприятия.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Степень детализации рекомендации по повышению энергоэффективности значительно отличается для каждого уровня оценки.

Как правило, рекомендации разделяются на рекомендации по эксплуатации и техническому обслуживанию и энергосберегающие мероприятия. Рекомендации, представленные в данном разделе отчета, должны быть расположены в приоритетном порядке с учётом приемлемости для персонала объекта и экономической эффективности. Каждое последующее мероприятие должно развивать эффект экономии от предыдущего рекомендованного мероприятия. Также следует отдавать предпочтение проектам, которые могут быть легко реализованы, в отличие от проектов, условием реализации которых является вывод из эксплуатации производственных линий объекта.

Презентация каждого мероприятия должна ограничиваться кратким описанием предлагаемого улучшения и кратким описанием преимуществ. Если необходимо, следует также рекомендовать проведение оценки более высокого уровня, прежде чем приступить к реализации меры.

Следует также обсудить общие наблюдения о возможностях энергосбережения, не связанных с насосной системой.

Представление каждой такой меры должно сопровождаться кратким описанием предполагаемых улучшений и перечнем преимуществ. При необходимости, прежде чем начать реализацию мер, можно рекомендовать проведение оценки более высокого уровня.

Общие наблюдения относительно вариантов энергосбережения для систем, не относящихся к насосным, должны быть также представлены для обсуждения.

## **А.9 Рекомендации по внедрению результатов оценки**

Подробная информация о возможностях повышения эффективности должна включать последовательность действий, необходимых для реализации выявленных возможностей повышения эффективности. Должны быть описаны методы уточнения по мере необходимости применяемых в анализе данных и получения достоверных оценок стоимости реализации. Необходимо определить методы оптимизации и поддержания эффективности системы после внедрения принятых мероприятий.

Оценки стоимости реализации вариантов повышения эффективности, разрабатываемые как дополнительные мероприятия, предназначены для отбора или оценки осуществимости и могут также включать подготовку таких показателей, как возврат инвестиций и период окупаемости.

В отчете следует отметить, что прежде чем приступить к выполнению предлагаемых рекомендаций, необходимо провести дополнительный инженерный анализ.

## **A.10 Приложения**

Информацию большого объёма, которая не требуется при демонстрации отчета, для обеспечения понятной структуры его основной части рекомендуется приводить в виде приложений. Подробные вспомогательные данные, такие как расчеты энергопотребления, экономии затрат и экономического анализ, должны иметь ссылки и также включаться в приложения к отчету.

## Приложение В (справочное).

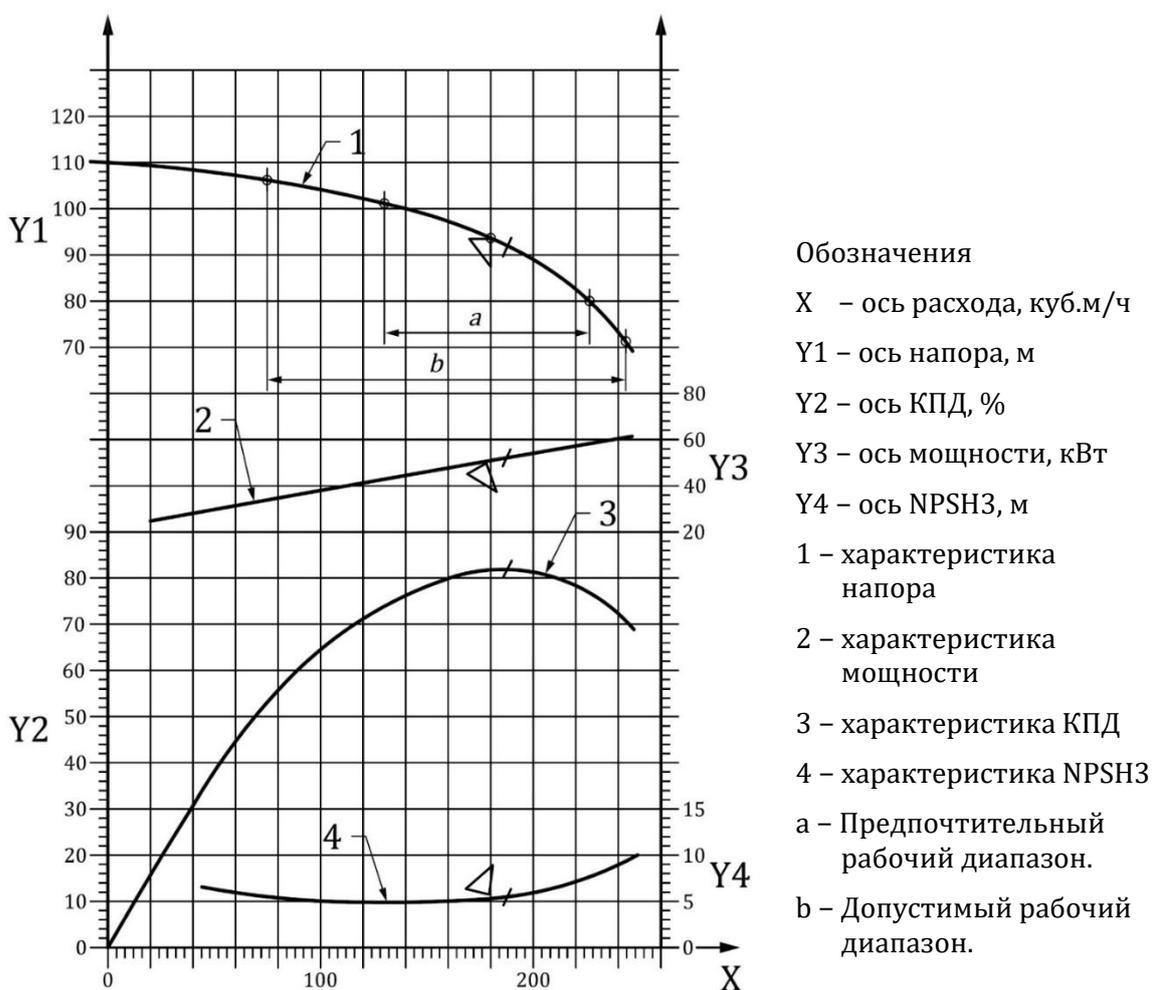
### Рекомендации по эффективной работе системы и снижению энергопотребления - Примеры

#### В.1 Общие рекомендации по эффективной работе системы

Для обеспечения эксплуатации насосов в соответствии с техническими требованиями производителя, их рабочие характеристики должны соответствовать характеристикам нагрузки и сопротивления трубопровода.

Для проверки эффективности любой мощной энергетической системы с длительным сроком эксплуатации измерение давления, расхода и мощности в соответствующих точках системы должно производиться регулярно. Это позволит убедиться, что система работает эффективно.

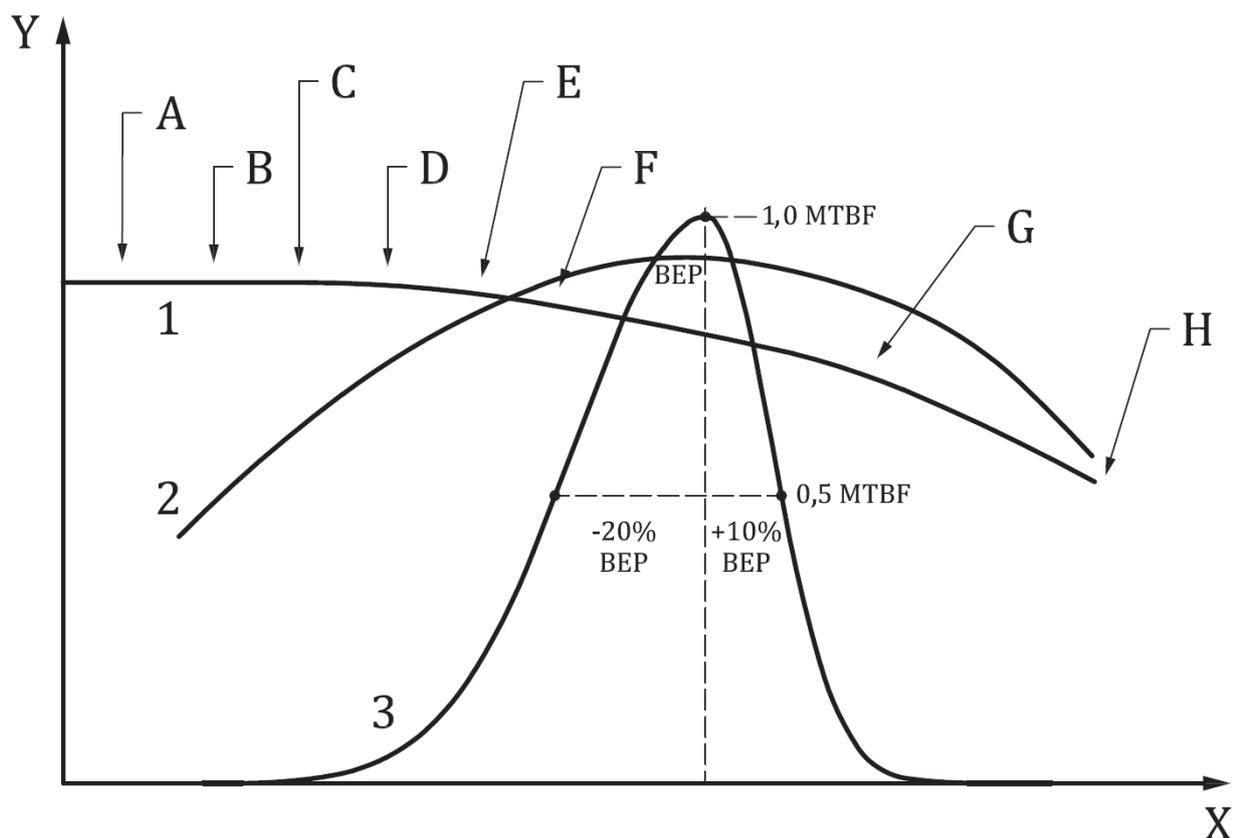
Предпочтительно, чтобы насос работал в точке максимального КПД и, в любом случае, не выходил за пределы допустимого рабочего диапазона, определенного производителем насоса (см. рис. В.1).



ПРИМЕЧАНИЕ. Высокая эффективность насоса не гарантирует высокую эффективность системы, особенно если насос слишком велик по сравнению с потребностями системы.

**Рисунок В.1 - Пример графических характеристик насоса и его допустимого рабочего диапазона**

Пример графика на Рисунке В.2 демонстрирует темпы снижения показателя средней наработки на отказ при отклонении рабочей точки насоса от точки оптимального КПД.



A — увеличение температуры; B — кавитация при низкой подаче; C — пониженный ресурс подшипников и уплотнений при низкой подаче; D — сниженный ресурс рабочего колеса; E — рециркуляция на входе; F — рециркуляция на выходе; G — низкий ресурс подшипников и уплотнений; H — кавитация;

1 — напорная характеристика насоса  $H(Q)$ ; 2 — характеристика КПД насоса;  
3 — характеристика надежности насоса / MTBF; X — подача в % от подачи в точке ВЕР;  
Y — напор в % от напора в точке ВЕР

MTBF — средняя наработка на отказ (от англ. mean time between failures);

ВЕР — точка на характеристике насоса, соответствующая подаче, при которой достигается максимальное значение КПД (от англ. best efficiency point).

**Рисунок В.2 — Пример кривой надёжности насоса**

Как правило, производители оборудования указывают предпочтительный рабочий диапазон в области точки максимального КПД (ВЕР), а иногда и допустимый рабочий диапазон. Такие диапазоны могут отличаться в зависимости от производителя. Необходимо стремиться обеспечить работу насоса как можно ближе к точке максимального КПД. Отклонение в минус 20 % или плюс 10 % от подачи в точке максимального КПД означает сокращение средней наработки на отказ (MTBF) в два раза. Для насосов с переменной подачей выбор оптимальной рабочей точки требует детального рассмотрения.

## В.2 Управление системы, обеспечивающее ее экономную работу

### В.2.1 Общие положения

Трехфазные асинхронные электродвигатели, используемые для привода насосов, должны быть рассчитаны на работу с максимальным КПД или близким к нему для всех условий эксплуатации (обычно от 50 % до 100 % нагрузки и от 35 % до 100 % нагрузки для

высокоэффективных двигателей в соответствии с серией IEC 60034). Для других типов приводов рабочий диапазон должен соответствовать рекомендациям производителя.

Необходимо установить правила эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Рекомендуется организовать ведение и хранение оперативных журналов и архивов учета рабочих параметров, журналов технического обслуживания и ремонта.

Персонал, ответственный за управление и эксплуатацию, должен иметь соответствующую занимаемой должности подготовку.

### **В.2.2 Рекомендации по управлению системой**

Элементы эффективной системы должны использоваться и эксплуатироваться таким образом, чтобы поддерживать высокий уровень её эффективности.

Для систем, длительное время работающих при частичной нагрузке или значительных изменениях производительности, должны быть приняты соответствующие меры для поддержания высокой эффективности работы при любых условиях при наличии технологической и финансовой целесообразности.

Для определения эффективности системы необходимо оценить соблюдение технологических требований по качеству, охране труда и безопасности. Если система не соответствует установленным нормам, необходимо разработать и реализовать план корректирующих действий.

### **В.2.3 Модернизация и усовершенствование системы**

Если в ходе оценки было установлено, что система не соответствует требованиям по эффективности, необходимо провести проверку работы системы и составить отчет по результатам такой проверки. Отчет должен включать информацию о текущих режимах работы, методах проверки и анализа данных, мероприятия по повышению эффективности и устанавливать ответственность за их реализацию.

При модернизации существующих насосных систем необходимо определить их основные режимы эксплуатации.

Отчет должен храниться в доступном месте.

### **В.2.4 Обязка насосной системы**

Увеличение внутреннего диаметра трубопровода обычно является наиболее эффективным методом снижения потерь на трение, позволяющим уменьшить энергопотребление. Например, при турбулентном течении жидкости, увеличение диаметра трубы на 10 % позволяет снизить потери на трение приблизительно на 40 %. В целом, скорость потока должна быть настолько низкой, насколько это практически возможно с учетом содержания в перекачиваемой среде взвешенных веществ.

Для уменьшения гидравлических потерь количество поворотов трубопровода должно быть сведено к минимуму. Радиус кривизны поворотов должен быть настолько большим, насколько это экономически целесообразно. Минимальный радиус кривизны должен быть в 1,4 раза больше диаметра трубопровода.

Следует избегать резких изменений диаметров. Рекомендовано применять диффузоры.

При выборе компонентов системы следует учитывать необходимость минимизации потерь на трение для всего применяемого оборудования. Оборудование должно быть предназначено для работы с перекачиваемой жидкостью.

Высота отметки уровня свободной поверхности жидкости и давление в резервуаре влияют на статический напор системы, который по возможности необходимо минимизировать.

### **В.3 Общие причины и способы устранения чрезмерного энергопотребления центробежными насосами**

#### **В.3.1 Общие положения**

Прежде чем применять тот или иной метод анализа, очень важно четко определить параметры системы, в том числе различия между их проектными и фактическими значениями, и только после этого приступать к оценке вариантов снижения энергопотребления.

Следует понимать, что после изменения физических или эксплуатационных параметров характеристика системы может измениться, что повлечет изменение требуемых рабочих параметров системы и необходимость в повторном анализе. При каждом последующем изменении системы существует возможность переопределения её оптимальных эксплуатационных параметров.

#### **В.3.2 Снижение потерь напора в системе**

Ниже приведены примеры возможностей снижения напора в системе. Этот перечень не является исчерпывающим. В нём приведены проверенные на практике наиболее распространенные варианты:

- а) исключить/сократить неоправданное дросселирование и/или рециркуляцию;
- б) провести очистку или техническое обслуживание засоренных элементов, таких как теплообменники;
- в) отсечь линии, ведущие к вспомогательному или нерабочему оборудованию;
- г) обеспечить правильный режим заполнения и деаэрации приподнятых участков трубопровода;
- д) очистить отложения и накипь, принять меры по снижению их образования в трубах, теплообменниках и рабочих компонентах;
- е) избегать использования воздушного зазора между подающим трубопроводом и приемным резервуаром, если он не требуется;
- ж) поддерживать подачу в системе на не превышающем её потребностей уровне;
- з) поддерживать температуру в соответствии с проектом при перекачке вязких жидкостей;
- и) отделить вспомогательные системы, требующие намного меньшего расхода при напоре, который намного превышает требуемый напор основной системы.

#### **В.3.3 Снижение расхода в системе**

Ниже приведены варианты снижения расхода воды в системе. Перечень не является исчерпывающим. В нём приведены проверенные на практике наиболее распространенные варианты:

- а) поддерживать оптимальную разность температур в теплообменнике и, по возможности, учитывать его расчетный КПД;
- б) исключить ненужные трубопроводы, линии рециркуляции насоса и перепускные клапаны, обратные клапаны, клапаны минимального расхода;
- в) снизить до минимально допустимого уровня расход в периодических процессах закачки и опорожнения, не допуская при этом неприемлемых изменений технологического процесса;
- г) отключать насосы при отсутствии необходимости в перекачке.

### **В.3.4 Обеспечение максимально эффективной работы компонентов системы**

Показатели эксплуатационной эффективности компонентов насосной системы могут значительно отличаться в зависимости от того, на каком участке своей характеристики они работают. Как правило, двигатели должны работать на горизонтальном участке кривой КПД. Для центробежных насосов оптимальной является эксплуатация вблизи точки максимального КПД (см. Рисунок В.2). Эксплуатация в режимах, значительно отличающихся от точки максимального КПД, существенно снижает эффективность и надежность насоса.

Необходимо учитывать значительные различия эффективности разных типов электродвигателей и других приводов.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Избыточное потребление энергии системой может быть вызвано работой установленного оборудования в значительном отдалении от точки максимального КПД. Существует множество вероятных причин. Большинство из них связаны с отклонениями от проектных режимов и изменением требуемых параметров системы, что во всех случаях приводит к снижению эффективности системы. Некоторые из наиболее распространённых факторов приведены ниже.

- Большое количество неопределенностей на начальном этапе проектирования системы и до начала ее эксплуатации. Выбор оборудования производится по стандартной схеме, что в сочетании с эксплуатационными коэффициентами и расчетными запасами часто приводит к увеличению размеров систем сверх необходимых;
- Проектирование систем под завышенные требования;
- Фактические потребности системы значительно отличаются от производительности насоса. Это отрицательно сказывается как на эффективности системы, так и на ее надежности;
- Изменение режимов работы системы, вызванное изменениями потребностей, износом системы или заменой того или иного компонента или оборудования;
- Отсутствие понимания того, что энергопотребление может составлять основную долю эксплуатационных затрат. Ошибки на стадии принятия инвестиционных решений, связанные с установкой оборудования с более высокой стоимостью жизненного цикла, чем это возможно.

### **В.3.5 Изменение времени работы насосной системы**

Варианты, основанные на изменении времени работы насосной системы, часто используются в том случае, если в характеристике системы потери на трение составляют основную долю. Эти варианты применимы, среди прочего, для следующих систем:

- насосные/канализационные станции;
- системы, в которых тарифы на электроэнергию варьируются в зависимости от времени использования или применяется тариф с оплатой за установленную мощность;
- системы, работающие при остановленном основном технологическом процессе. Например, при отсутствии необходимости в перекачке вместо отключения насоса часто применяется контур рециркуляции;
- системы с несколькими параллельно работающими насосами, в которых применяется большее количество насосов, чем фактически необходимо исходя из технологических потребностей.

Хорошим способом оценки потенциала повышения эффективности насосного оборудования является мониторинг его удельного энергопотребления (см.

Приложение F).

В подавляющем большинстве случаев, производительность насоса превышает фактические потребности системы. Это особенно актуально для процессов, связанных с хранением объёмов жидкости: заполнение резервуаров на промышленных предприятиях и муниципальных объектах, откачка воды из приёмных резервуаров и колодцев, подача воды из скважин. Запуск и остановка насоса происходят автоматически при достижении определенного уровня жидкости в резервуаре, баке или колодце. Снижение подачи приведет к повышению наработки, но, одновременно, повлечет за собой экономию вследствие снижения потерь на трение.

В объектах со значительными изменениями водопотребления снижение подачи может привести к снижению потребляемой мощности и затрат на энергоносители, что не всегда ведет к экономии электроэнергии.

На многих предприятиях насосы работают сверх необходимого времени. Примером является параллельная работа нескольких насосов, перекачивающих жидкость в превышающем фактические потребности объеме. Это не редкость для систем, в которых используются градирни и охлаждающие теплообменники. Операторы не выключают насосы тогда, когда их работа более не требуется, и оставляют их в рабочем состоянии, когда потребности в них нет совсем. Данную ситуацию можно распознать, измерив разность температур на градирне/теплообменнике. Если разность температур ниже оптимальной, расход слишком высокий. В этом случае можно отключить один или несколько насосов, либо снизить их производительность путём изменения частоты вращения.

#### **В.4 Примеры расчетов основных вариантов снижения энергопотребления центробежных насосов**

##### **В.4.1 Расчет энергопотребления системы до и после модернизации. Общие положения**

Цель — минимизировать энергопотребление существующей системы. Поставленная цель достигается путем оценки рабочих параметров существующей системы и определения возможностей снижения напора системы, расхода и времени работы, а также путем обеспечения работы компонентов системы в оптимальных режимах.

Гидравлическая мощность, передаваемая насосом жидкости, рассчитывается по формуле (В.1).

$$P_u = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367000} \quad (\text{В.1})$$

где

$P_u$  гидравлическая мощность, передаваемая насосом, кВт;

$Q$  подача насоса, выраженная, м<sup>3</sup>/ч;

$H$  напор насоса при подаче  $Q$ , выраженный, м;

$\rho$  плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

Электрическая мощность  $P_e$ , необходимая для поддержания работы системы, рассчитывается по формуле В.2.

$$P_e = \frac{P_u}{\eta_p \eta_M \eta_D} \quad (\text{В.2})$$

где  $\eta_p$  КПД насоса;

$\eta_M$  КПД двигателя;

$\eta_D$  КПД привода. Если привод не установлен, параметру присваивается значение 1.

Для оптимизации работы насосных систем, выполняют следующие действия:

- минимизация расхода;
- минимизация напора насоса;
- оптимизация времени наработки;
- максимальное повышение эффективности компонентов.

Оптимизацию можно выполнить, используя существующее оборудование. При замене оборудования возможно получение дополнительной экономии

#### В.4.2 Примеры

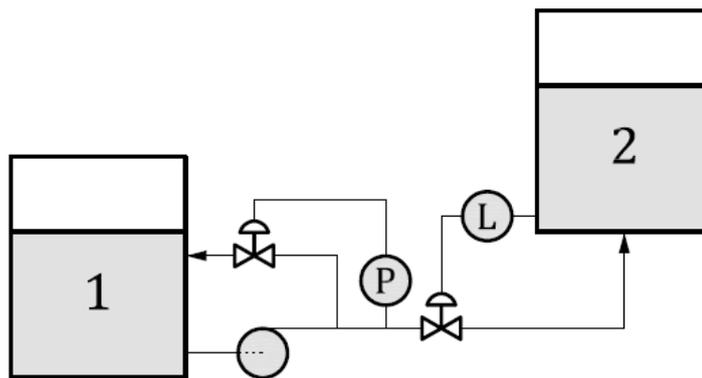
Следующие примеры демонстрируют расчеты для определения:

- базового энергопотребления системы (до модернизации);
- энергопотребления после улучшения работы;
- энергопотребления системы после замены ее компонентов.

На Рисунке 8.3 показана система перекачки жидкости из резервуара А в резервуар В. Контур рециркуляции позволяет поддерживать постоянное давление на выходе насоса. Регулирующий клапан с датчиком уровня, настроенным на давление 0,45 Мпа, поддерживает постоянный уровень жидкости в резервуаре В. Привод насоса от двигателя осуществляется напрямую.

Исходные данные для расчета:

- перекачиваемая среда: вода, температура 20 °С, плотность 998,3 кг/м<sup>3</sup>;
- стоимость электроэнергии 0,10 у.е./кВт·ч;
- измеренная подача: 450 м<sup>3</sup>/ч;
- измеренные значения расхода: 340 м<sup>3</sup>/ч к резервуару 2; 110 м<sup>3</sup>/ч в контуре рециркуляции;
- измеренный общий напор насоса: 46 м;
- электрическая мощность, P<sub>е</sub>: 78 кВт;
- КПД электродвигателя: 94 %;
- годовая наработка 6132 ч (70%).



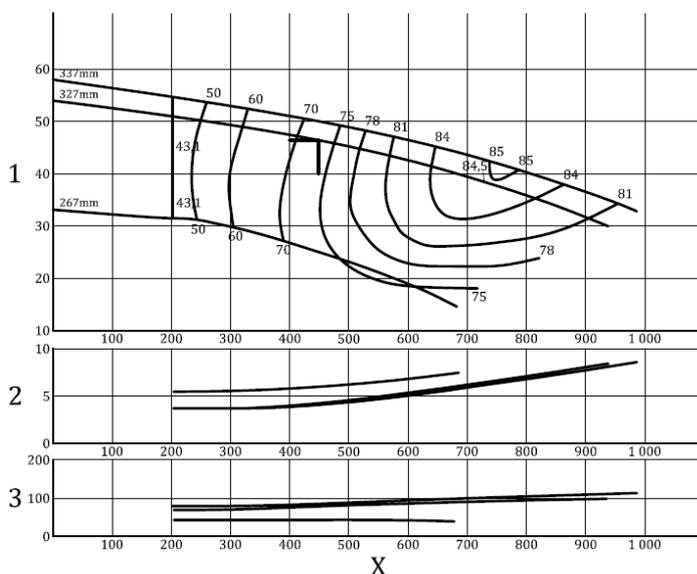
1 — резервуар А, 2 — резервуар В, P — датчик давления, L — датчик уровня

**Рисунок В.3 — Пример упрощенной технологической схемы**

Настоящий пример включает следующие этапы:

- а) определение энергопотребления и годовых эксплуатационных расходов.

На Рисунке В.4 показана характеристика насоса.



1 — напор, м; 2 — кавитационный запас NPSHR, м; 3 — мощность, кВт; X — подача насоса, м<sup>3</sup>/ч

**Рисунок В.4 — Пример рабочей характеристики насоса (при подаче 450 м<sup>3</sup>/ч)**

Потребляемая мощность, рассчитанная по формуле (В.2), составляет 82,9 кВт.

Наработка насосной системы составляет 6132 ч/год (0,7 x 8760 ч/год).

Показатель годовых эксплуатационных расходов (АОС) рассчитывается с помощью формулы В.3:

$$\text{АОС} = 82,9 \text{ кВт} \times 6132 \text{ ч/год} \times 0,10 \text{ у. е./кВт} \cdot \text{ч} = 50\,830 \text{ у. е./год} \quad (\text{В.3})$$

б) определение текущих потребностей системы.

Имеющиеся данные указывают на следующее:

- текущий требуемый расход системы составляет 340 м<sup>3</sup>/ч;
- расход через байпасную линию в объеме 110 м<sup>3</sup>/ч в целях экономии может быть исключён.

в) определение планового годового энергопотребления и годовых эксплуатационных расходов

**без замены компонентов.**

Устранение расхода через байпасную линию дает следующие результаты:

- подача 340 м<sup>3</sup>/ч;
- напор: 48,7 м;
- КПД: 62 %.

Потребляемая мощность, рассчитанная по формуле (В.2), составляет 77,3 кВт. Годовые эксплуатационные расходы составляют 47 400 у.е.

**Внесение изменений в конструкцию насоса.**

Путём получения и анализа дополнительных данных может быть получена дополнительная экономия:

- перепад давлений на регулирующей задвижке может быть снижен с 0,175 до 0,1 бар;
- подрезка рабочего класса с 327 до 282 мм снижает напор до 41,3 м при подаче 340 м<sup>3</sup>/ч и КПД 65%.

Энергопотребление  $P_e$ , рассчитанное по формуле (B.2), составляет 63,5 кВт. Годовые эксплуатационные расходы составляют 38 930 у.е.

г) определение годового энергопотребления и годовых эксплуатационных расходов системы

#### с учетом замены компонентов.

Установка частотно-регулируемого привода дает следующие результаты:

- подача 340 м<sup>3</sup>/ч достигается при частоте вращения ротора 1580 об/мин;
- напор: 37,9 м;
- КПД насоса: 66 %.

Энергопотребление,  $P_e$ , рассчитанное по формуле (B.2), составляет 59,5 кВт. Годовые эксплуатационные расходы составляют 36 490 у.е.

Покупка нового насоса для соответствия текущим потребностям:

- подача 340 м<sup>3</sup>/ч;
- напор 41,9 м;
- КПД насоса: 84 %;
- КПД двигателя: 94 %.

Энергопотребление,  $P_e$ , рассчитанное по формуле (B.2), составляет 49,1 кВт. Годовые эксплуатационные расходы – 30 110 у.е.

В таблице 1 приведены итоговые расчетные данные по снижению энергопотребления.

**Таблица В.1 — Итоговые результаты**

Состояние <sup>1)</sup>	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	КПД насоса, %	Энерго- потребление, кВт·ч	Эксплуатационные расходы, \$ США
Начальные условия	450	46,5	73	82,9	50 830
Устранён расход через байпасную линию	340	48,7	62	77,3	47 400
Подрезано рабочее колесо	340	41,3	65	63,5	38 940
Установлен частотно-регулируемый привод <sup>2)</sup>	340	37,9	66	59,5	36 490
Новый насос	340	41,9	84	49,1	30 110

<sup>1)</sup> Для всех примеров были использованы следующие параметры системы: температура воды 20 °С. КПД двигателя 94 %, стоимость электроэнергии 0,10 \$/ кВтч, наработка 6132 ч/год.

<sup>2)</sup> КПД частотно-регулируемого привода в соответствии со спецификацией производителя составляет 95 %.

#### В.4.3 Вспомогательные системы: Системы уплотнения

Система уплотнения может быть еще одной причиной чрезмерного энергопотребления. Использование неподходящего уплотнения или систем обеспечения работоспособности уплотнения может привести к избыточному потреблению энергии и другим затратам. Рекомендуется проверка системы специалистом (см. пример ниже).

Уплотнительный узел (торцовое уплотнение и системы обеспечения его работоспособности) расходует часть подведенной к насосу энергии из-за наличия сухого и вязкого трения в уплотнительной камере, а также ввиду затрат энергии на системы обеспечения работоспособности уплотнения. В некоторых случаях энергопотребление вспомогательных систем может быть равным или превышать энергопотребления привода насоса.

В Таблице В.2 приведен пример качественной оценки энергетического влияния различных широко распространённых планов обвязки торцовых уплотнений (см. API 682).

**Таблица В.2 — Пример энергетических потерь торцовых уплотнений  
на примере планов обвязки по API 682**

Компоновка	План API	Описание	Потери эффективности			Комментарии
			Тепловые <sup>а)</sup>	Электрические <sup>б)</sup>	воды <sup>в)</sup>	
Одинарные картриджные уплотнения и внутренняя пара двойного торцового уплотнения без давления	01	Внутренняя циркуляция из корпуса насоса в камеру уплотнения	0	2	0	
	02	Тупиковая уплотнительная камера без циркуляции	0	1	0	Возможны потери тепловой энергии и расход воды, если камера уплотнения имеет охлаждающую или нагревательную рубашку
	11	Циркуляция из полости нагнетания в сальниковую камеру через дросс. отв.	0	2	0	
	13	Обратная циркуляция из упл. камеры в зону всаса насос	0	2	0	
	14	Комбинация планов 11 и 13	0	2	0	
	21	Циркуляция из полости нагнетания в камеру через теплообменник	3	2	1	Возможно потребление большого количества тепловой энергии при необходимости охлаждения рабочей среды
	23	Принудительная циркуляция в уплотнительной камере через теплообменник	2	1	1	Наиболее эффективен, когда требуется охлаждение рабочей среды
	31	Циркуляция от нагнет. в упл. камеру через циклонный сепаратор	0	2	0	
	32	Подача чистой жидкости от внешнего источника в упл. камеру	3	1	3	Может потреблять наибольшее количество тепловой энергии для восполнения тепла технологической жидкости, потерянного при закачке более холодной внешней жидкости. Если план 32 используется в холодном применении, то тепловое воздействие отсутствует
<p>а) Потери тепла связаны с охлаждением промывочной или барьерной жидкости, потерей и восстановлением технологического тепла и энергии, необходимой для разделения разбавителей.</p> <p>б) Электрические потери связаны с поглощением дополнительной электроэнергии поверхностью уплотнения (значение 1) и ослаблением расхода насоса из-за рециркуляции (значение 1).</p> <p>в) Потери воды связаны с расходом воды на эксплуатацию обвязки. Вместо охлаждающей воды можно использовать воздушное охлаждение.</p> <p>0 не влияет на КПД</p> <p>1 незначительное влияние на КПД</p> <p>2 умеренное влияние на КПД</p> <p>3 существенное влияние на КПД</p>						

Таблица В.2 (продолжение)

Компоновка	План API	Описание	Потери эффективности			Комментарии
			Тепловые <sup>а)</sup>	Электрические <sup>б)</sup>	воды <sup>в)</sup>	
	41	Циркуляция от нагнет. насоса в уплотнение через циклонный сепаратор и теплообменник	3	2	1	Может потреблять большое количество тепловой энергии при необходимости охлаждения рабочей среды
	62	Непрерывная подача и слив охлаждающей жидкости в дренажную систему предприятия	1	1	1	При наличии швов, тепловые потери могут быть значительными при отсутствии соответствующего контроля
Двойное уплотнение картриджного типа с подачей затворной жидкости под давлением	53	Подача затворной жидкости из резервуара с давлением	1	1	1	Может потреблять мало тепловой энергии, когда температура рабочей среды выше, чем температура затворной жидкости
	54	Циркуляция затворной жидкости от внешнего источника	2	2	2	
	74	Система подачи затворного газа под повышенным давлением	0	0	0	Электрическая энергия, потребляемая при обработке азотного барьерного газа, считается незначительной
Двойное уплотнение картриджного типа с подачей затворной жидкости под атмосферным давлением	52	Подача затворной жидкости из резервуара без давления и принудительной циркуляции	1	1	1	Может потреблять мало тепловой энергии, когда температура рабочей среды выше, чем температура затворной жидкости
	72/75/76	Подача затворного газа для уплотнений 2 конфигурации. Давление затворного газа ниже, чем давление на технологической стороне уплотнения	0	0	0	Электрическая энергия, потребляемая при обработке азотного барьерного газа, считается незначительной
<p>а) Потери тепла связаны с охлаждением промывочной или барьерной жидкости, потерей и восстановлением технологического тепла и энергии, необходимой для разделения разбавителей.</p> <p>б) Электрические потери связаны с поглощением дополнительной электроэнергии поверхностью уплотнения (значение 1) и ослаблением расхода насоса из-за рециркуляции (значение 1).</p> <p>в) Потери воды связаны с расходом воды на эксплуатацию обвязки. Вместо охлаждающей воды можно использовать воздушное охлаждение.</p> <p>0 не влияет на КПД</p> <p>1 незначительное влияние на КПД</p> <p>2 умеренное влияние на КПД</p> <p>3 существенное влияние на КПД</p>						

В некоторых насосных системах выбор системы обеспечения работоспособности уплотнения оказывает существенное воздействие на общее энергопотребление насосной системы.

ПРИМЕР. Абразивная суспензия на водной основе. Технологический процесс предусматривает установку одноступенчатого шламового насоса с односторонним всасыванием, консольного типа с установкой на лапах, который перекачивает черный щепок на целлюлозно-бумажном предприятии при температуре 75 °С. Частота вращения вала насоса составляет 3600 об/мин, диаметр вала — 50 мм, давление в уплотнительной камере — 0,345 МПа, мощность привода насоса — 37 кВт. Самым распространенным методом уплотнения вала является установка уплотнительного кольца или одинарного торцового уплотнения (план 32), с промывкой чистой водой при температуре 10 °С и расходе 1,9 л/мин в обоих случаях. Потребление энергии за вычетом потерь такой системы уплотнения составляет 84 кВт, в первую очередь из-за

необходимости нагрева и испарения понижающей вязкость присадки в ходе процесса выделения и очистки продукта, выполняемого с помощью промывки. Альтернативной системой уплотнения для такого технологического процесса с участием щелока является использование двойного торцового уплотнения (API план 54), что обеспечит циркуляцию чистой затворной жидкости через полость между внутренним и наружным уплотнением. Использование такого метода уплотнения позволяет снизить энергопотребление системы уплотнения до 3,9 кВт и дает экономию в 80,1 кВт. Даже если переход к двойному торцовому уплотнению не оправдан с практической точки зрения, снижение расхода промывочной жидкости можно получить с помощью установки втулки с малым зазором или изменением места установки уплотнительного кольца. Это позволит снизить расход до 0,4 л/мин при одновременном снижении энергопотребления на 67 кВт.

## **В.5 Примеры расчетов основных вариантов снижения энергопотребления поршневых насосов**

### **В.5.1 Общие положения**

По своим характеристикам поршневые насосы значительно отличаются от центробежных насосов. Во многих случаях первоначальный выбор в пользу таких насосов делается именно по причине их низкого энергопотребления. В связи с отличием характеристик поршневых насосов от центробежных, рекомендованная логическая схема управления отличается от той, которая применима к центробежным насосам.

Соответствие производительности объемного насоса требованиям технологического процесса обеспечивает оптимальное энергопотребление.

При оценке систем поршневых насосов необходимо учитывать следующее:

- объёмные насосы, работающие с постоянной скоростью, представляют собой устройства с постоянной подачей;
- подача изменяется при изменении вязкости и давления, вызванных «скольжением», то есть внутренним перемещением жидкости внутри насоса из области высокого давления в область низкого давления. Скользящий поток незначительный и может не учитываться при оценке энергоэффективности системы;
- изменение значения подачи вследствие изменения давления нагнетания проявляется гораздо менее заметно по сравнению с центробежными насосами;
- к поршневым насосам применимы следующие правила:
  - подача напрямую зависит от частоты вращения;
  - потребляемая мощность напрямую зависит от частоты вращения;
  - перепад давлений определяется гидравликой системы;
  - подача и мощность увеличиваются при повышении вязкости;
- поршневые насосы создают требуемое системе давление, поэтому холостой ход и дросселирование не должны применяться. В целях безопасности необходима установка устройства для сброса давления на выходе из насоса, что не должно сказываться на энергопотреблении, если размер устройства подобран правильно и рециркуляция через предохранительный клапан отсутствует;
- поршневые насосы не создают напор, а их параметры рассчитываются непосредственно на основании разности давлений, а не напора.

Соотношение напор—давление можно рассчитать по формуле В.4:

$$P = H \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-5} \quad (\text{В.4})$$

где  $P$  — давление, выраженное в барах, бар;  
 $H$  — напор, выраженный в метрах, м;  
 $\rho$  — плотность, выраженная в килограммах на кубический метр, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Гидравлическая энергия, передаваемая насосом жидкости, рассчитывается по формуле:

$$P_u = \frac{Q \cdot \Delta p}{36} \quad (\text{В.5})$$

где  $P_u$  — гидравлическая энергия, передаваемая насосом потоку жидкости, кВт;  
 $\Delta p$  — перепад давлений, бар;  
 $Q$  — подача насоса, м<sup>3</sup>/ч.

Электроэнергия, необходимая для поддержания работы насосной системы, рассчитывается по формуле В.6:

$$P_e = \frac{P_u + P_l}{\eta_M \eta_D} \quad (\text{В.6})$$

где  $P_e$  — мощность на валу насоса, кВт;  
 $P_l$  — внутренние потери мощности, к которым относятся механические потери и потери на трение, кВт;  
 $\eta_M$  — КПД двигателя при работе насоса на подаче  $Q$ ;  
 $\eta_D$  — КПД привода (ременный привод, частотный преобразователь, редуктор и т.д.).

К внутренним потерям относятся потери мощности насоса, вызванные механическим трением, внутренней рециркуляцией, а также потери на трение, вызванные эффектом торможения в контуре циркуляции жидкости. Количественную оценку данных потерь может дать производитель насосного оборудования.

Типоразмер приводного двигателя определяется исходя из максимальных значений вязкости перекачиваемой жидкости и перепада давлений.

Системы поршневых насосов работают при оптимальных параметрах, если выполнены функциональные требования системы в части:

- расхода при минимальном потреблении;
- разности давлений при минимальном потреблении;
- минимальной наработки;
- максимального КПД компонентов.

Оптимальная гидравлическая мощность, добавляемая к системе, рассчитывается по формуле (В.5) с учетом вышеуказанных условий, а оптимальная электрическая мощность рассчитывается по формуле (В.6) с применением полученной оптимальной гидравлической мощности и максимальных коэффициентов полезного действия насоса, двигателя и привода.

Как указано в настоящем документе, в ходе оценки следует установить базовые показатели общего годового потребления энергии для оцениваемой насосной систем (систем).

## **В.5.2 Примеры расчета**

### **В.5.2.1** Существующие условия (см. Таблицу В.3).

Насос подает жидкость из резервуара А в резервуар В (см. Рисунок В.5).

Вся перекачиваемая насосом жидкость попадает в резервуар В.

Резервуар В всегда заполнен, а излишки возвращаются обратно в резервуар А.

### **В.5.2.2** Улучшенные условия (см. Таблицу В.3).

Установлена линия рециркуляции для поддержания постоянного расхода и обеспечения расхода на стороне потребления.

Экономия энергии достигается благодаря тому, что меньшее количество жидкости перекачивается через питательную линию к резервуару В, что позволяет снизить потери на трение.

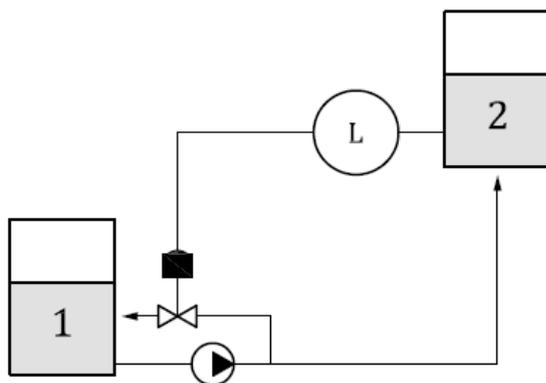
Не допускается применение дросселирования. Насос имеет прямой привод от двигателя (без ременной передачи, частотно-регулируемого привода или редуктора).

### **В.5.2.3** Основные характеристики рабочих параметров:

- относительная плотность перекачиваемой жидкости составляет 0,85, а средняя стоимость электроэнергии для предприятия — 0,05 у.е./кВт·ч;
- жидкость — турбинное смазочное масло, вязкость которого составляет 90 сСт при 40 °С;
- измеренная подача насоса — 450 м<sup>3</sup>/ч;
- оптимальный расход — 340 м<sup>3</sup>/ч в резервуар В. 110 м<sup>3</sup>/ч в резервуар А по байпасной линии;
- измеренное давление на выходе насоса: 4 бар;
- оптимальное давление на выходе насоса при сниженном расходе (оптимальный расход) по направлению к резервуару В (подача насоса остается прежней): 2,7 бар;
- измеренная мощность насоса: 73,4 кВт.

Система работает при указанных выше параметрах 70 % всего времени.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Несмотря на схожесть с центробежными насосами, данный пример описывает жидкость, вязкость которой значительно выше, потому результаты не могут сравниваться и нужны только для описания применяемого подхода.



1 — резервуар А, 2 — резервуар В, L — датчик уровня

**Рисунок В.5 — Технологическая схема для Таблицы В.3**

В Таблице В.3 приведены результаты первого анализа.

**Таблица В.3 — Сравнение показателей системы «до» и «после» модернизации**

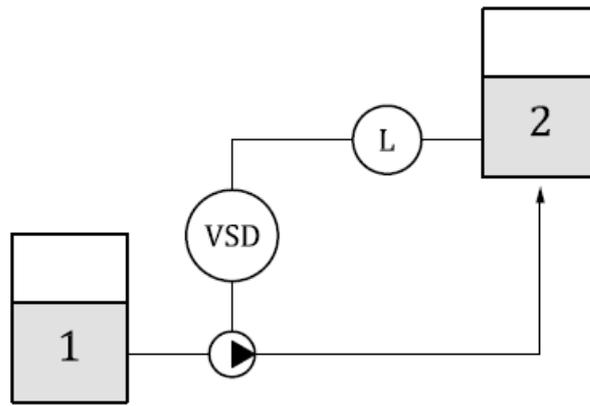
Состояние системы	Расход м <sup>3</sup> /ч	Давление на выходе бар	Мощность насоса кВт	КПД двигателя %	Электрическая мощность кВт	Годовое энергопотребление МВт·ч	Годовые затраты на энергоресурсы тыс. у.е.
Существующая система	450	4,0	73,4	94	78	478,9	23,9
Улучшенная система	450 м <sup>3</sup> /ч (из них 340 м <sup>3</sup> /ч к резервуару В)	2,7	55,7	94	59	363,3	18,2
Возможная экономия	—	1,3	—	—	—	—	5,7
Соотношение оптимальной/измеренной мощности					0,76	—	—
Примечание. Работа насоса при тех же параметрах скорости и расхода, но с подачей потока к резервуару В снижена до 340 м <sup>3</sup> /ч в связи с перекачкой по байпасной линии. Давление снижено с 4 бар до 2,7 бар в связи с понижением давления в контуре рециркуляции.							

#### **В.5.2.4** Оптимизированные условия (см. Таблицу В.4):

Комплектация насоса частотно-регулируемого привода.

Линия рециркуляции перекрывается.

Переход к использованию частотно-регулируемого привода дает возможность датчику уровня резервуара В регулировать частоту вращения вала насоса в зависимости от технологических потребностей системы. Экономия электроэнергии в данном случае достигается за счет исключения потерь в линии рециркуляции, а также за счет минимизации потерь на трение в трубопроводе между резервуарами (см. Рисунок В.6).



1 — резервуар А, 2 — резервуар В, L — датчик уровня, VSD — привод с частотным регулированием

**Рисунок В.6 — Оптимизированная технологическая схема для Таблицы В.4**

В Таблице В.4 приведены результаты второго анализа.

**Таблица В.4 — Сравнение оптимальных показателей расхода и показателей расхода системы без контроля расхода рециркуляции**

Состояние системы	Расход м <sup>3</sup> /ч	Рабочая частота вращения об/мин	Мощность насоса кВт	КПД двигателя %	КПД частотно- регулируемого привода	Электри- ческая мощность кВт	Годовое энергопот- ребление МВт ч	Годовые затраты на энерго ресурсы тыс. у.е.
Улучшенная система: 2,7 бар (40 psi)	450 (из них 340 подаются в резервуар В)	1200	55,7	94	—	59	363,3	18,2
Оптимизированная система со сниженной частотой вращения/расходом/ давлением: 2,7 бар (40 psi)	340	925	39,4	92	96	44,6	273,5	13,7
Возможная экономия (улучшенная система относительно существующей)	—	—	16,3 22%	—	—	—	115,6	Экономия по сравнению с существующей: 5,7
Возможная экономия: оптимизированная система относительно существующей)	—	—	34 46%	—	—	—	205,4	Экономия по сравнению с существующей: 10,2

Кроме указанных вариантов, можно рассмотреть методы, описанные в В.4.

## Приложение С (справочное).

### Квалификация, опыт и профессиональные навыки экспертов

#### С.1 Системы

В данном разделе определяются знания и профессиональные навыки по насосным системам и перекачиваемой жидкости, которыми должны обладать эксперты.

- Основы энергопотребления насосных систем:
  - эксперты должны быть знакомы с насосными системами, используемыми на различных предприятиях, а также входящим в них оборудованием, включая технологические установки, резервуары и сосуды, работающие под давлением. Тип и количество установленных насосов и приводов может варьироваться в зависимости от конкретной системы;
  - эксперты должны обладать знаниями насосов, приводов, регулирующей арматуры, технологических элементов, а также уметь определять их влияние на энергопотребление всей системы в целом.
- Рабочие характеристики систем:
  - эксперты должны понимать, каким образом физические свойства рабочей жидкости, к которым относятся плотность, вязкость и давление насыщенных паров, влияют на всю насосную систему, а также на работу различных ее компонентов;
  - эксперты должны обладать знаниями относительно составляющих компонентов напора, таких как общий напор, статический напор, потери напора на трение, а также уметь определять эти составляющие в рамках рассматриваемой системы. Эксперты должны понимать и уметь строить рабочую характеристику системы и график ее нагрузки;
  - эксперты должны уметь определять потери напора на трение всех компонентов оцениваемой системы, используя различные методы их определения;
  - эксперты должны уметь определять требуемые параметры и профиль нагрузки системы;
  - эксперты должны уметь оптимизировать скорость течения рабочей жидкости в системе, принимая во внимание затраты энергии, гидродинамические особенности течения и потребности системы;
  - эксперты должны уметь определять характеристики систем с параллельной и последовательной конфигурацией насосов.

#### С.2 Насосы

В данном разделе определяются необходимые знания и профессиональные навыки экспертов в области параметров и характеристик насоса, влияния жидкости на гидравлику насоса и на систему в целом.

- Основные энергетические параметры жидкости:
  - эксперты должны уметь определять различные составляющие полной энергии жидкости (давление, геодезический напор, подачу и скоростной напор) и их связь через уравнение Бернулли;
  - эксперты должны уметь оценивать изменения свойств жидкости (плотности, вязкости, температуры и т.д.);
- Характеристики насоса:
  - эксперты должны хорошо понимать эксплуатационные характеристики насоса и их влияние на работу системы. К таким характеристикам относятся напор, подача,

мощность, КПД, допускаемый и располагаемый кавитационный запас. Эксперт также должен знать и уметь применять законы подобия насосов и их математические выражения.

- Характеристики системы и их влияние на работу насоса:
  - эксперты должны уметь определять, какие изменения необходимо внести для оптимизации работы насоса в рамках исследуемой системы;
  - эксперты должны хорошо понимать эксплуатационные характеристики насосов, работающих как в параллельной, так и в последовательной конфигурации, а также их взаимодействие с соответствующими системами при номинальной или регулируемой частоте вращения.
- Сбор данных:
  - эксперты должны быть готовы произвести анализ насосных систем (после определения их границ) до начала выполнения физических измерений, чтобы определить приоритеты и требования к измерениям;
  - эксперты должны быть готовы выполнить точные и повторяемые прямые или косвенные измерения параметров насоса, привода (электрического или любого другого) и рабочих характеристик системы.

### **С.3 Двигатели и приводы**

В данном разделе определяются необходимые знания и профессиональные навыки экспертов в области характеристик двигателей, компенсации коэффициента мощности, частотно-регулируемых приводов (механических и электрических) и их влияния на работу центробежных насосов. Эксперты должны хорошо разбираться в:

- эксплуатационных характеристиках двигателей, включая различные схемы подключения и варианты пуска (плавный пуск, звезда-треугольник, пуск с помощью частотно-регулируемого привода или автотрансформатора). Кроме того, эксперты должны понимать взаимосвязь между крутящим моментом и частотой вращения, обеспечивать оптимизацию этих параметров для правильного выбора двигателя;
- различных типах передач, включая редуктор, ременный привод, гидромufту и магнитную муфту;
- различных типах частотно-регулируемых приводов, их рабочих параметрах и характеристиках эффективности;
- в факторах, влияющих на работу насоса, системы и привода. Понимать особенности систем с высоким и низким статическим напором и их влияние на эффективность частотного регулирования насоса.

### **С.4 Проведение анализа и составление отчета**

В данном разделе определяются необходимые знания и профессиональные навыки экспертов в области анализа полученных по результатам измерений данных, формирования логического и последовательного отчета с целью определения возможных вариантов энергосбережения в рамках насосной системы, в соответствии с Приложением А. Эксперты должны

- иметь опыт анализа собранных полевых данных и понимать взаимосвязь между различными компонентами в системе, включая насос(ы), технологические элементы и элементы управления; определять характеристики и рабочие параметры, их влияние на изменение потребностей системы, оценку их изменений и взаимовлияния с течением времени.
- владеть знаниями относительно различных компонентов системы для определения степени их воздействия на эффективность системы;
- уметь определять взаимосвязь между основными принципами регулирования параметров системы и ее энергопотреблением.

## Приложение D (справочное).

### Рекомендации по применяемому для анализа программному обеспечению

Главной целью применения того или иного метода оценки системы является определение ее фактических потребностей, их сравнение с текущими рабочими параметрами, и определение возможностей экономии энергии.

Программное обеспечение должно иметь в своей базе данных типовые модели и алгоритмы насосов и двигателей для сравнения конкретных имеющихся данных с достижимыми оптимальными значениями.

Используемый метод анализа должен быть задокументирован с указанием источника данных, формул и методов, применяемых для получения выводов.

В любом методе, вне зависимости от применимых средств (ручные расчеты, таблицы или компьютерные программы), необходимо учитывать следующее:

- а) Проводимые в рамках анализа вычисления должны содержать явную ссылку на источник данных, используемых в рамках применяемых алгоритмов:
  - Технологические данные:
    - характеристики жидкости: название, температура, плотность (относительная плотность), вязкость, расчётный располагаемый/требуемый кавитационный запас NPSHA/R;
    - статический напор: уровень жидкости в месте забора и в месте назначения, давление на поверхность жидкости в месте забора и в месте назначения;
    - технологические элементы: производитель, обозначение, номинальная разность давлений, рабочая разность давлений, расход.
  - Паспортные данные (данные маркировочной таблички):
    - Насос: данные производителя (марка, типоразмер, количество ступеней), графические характеристики насоса, частота вращения и наличие/отсутствие её регулирования;
    - Двигатель: производитель, типоразмер, мощность, количество фаз, частота сети, частота вращения, напряжение, ток при полной нагрузке, коэффициент мощности, номинальный КПД или класс энергоэффективности, гарантийный КПД;
    - Частотно-регулируемый привод: производитель, КПД;
    - регулирующая арматура: производитель, модель, размер, характеристики; рабочее давление, направление потока; данные по изделию, предоставленные производителем.
  - Эксплуатационные параметры:
    - Насос: давление на входе, давление на выходе, подача, номинальная частота вращения (об/мин), КПД в соответствии с характеристикой;
    - двигатель: потребляемая мощность, линейное напряжение, линейный ток, коэффициент мощности и КПД при рабочей нагрузке;
    - частотно-регулируемый привод: КПД в условиях нагрузки;
    - регулирующая арматура: положение регулирующих элементов, перепад давления.
- б) Определение фактического потребления энергии различными компонентами в зависимости от текущих условий эксплуатации системы.

- в) Определение оптимальных условий эксплуатации системы и соответствующего уровня энергопотребления.
- г) Перекрестная проверка результатов для подтверждения равенства количества энергии в системе количеству энергии, полученной системой.
- д) Выявление возможной экономии энергии на основании полученных данных и количественно оцененной с помощью удельных затрат на энергию.

**Приложение Е**  
(справочное).  
**Пример таблицы данных предварительного отбора**

В Таблице Е.1 приведена типовая форма сбора данных для предварительного отбора.

**Таблица Е.1 — Пример стандартной рабочей таблицы данных предварительного отбора**

Данные по оборудованию						Схемы управления (отметить применимые)					
Данные по системе	Тип насоса (поршневой, вакуумный, центробежный)	Характеристика насоса	Технологический номер/ место установки	Данные маркировочной таблички двигателя	Напряжение	Частотно-регулируемый привод	Дросселирование (% открытия, по возможности)	Байпас/ рециркуляция	Двухпозиционное регулирование (вкл./выкл.)	Более одного насоса/ распределенная нагрузка	Без управления

Окончание Таблицы Е.1

Эксплуатационные параметры (предоставляются, если доступны, в противном случае, отметить галочкой, если параметры доступны для получения)							Другие параметры		Дополнительная информация (доступность)			
Наработка в часах или % времени работы оборудования	Мощность или ток	Произошедшее или ожидаемое изменение требований по расходу	Расчётная подача	Фактическая подача	Расчётный напор	Фактический напор	Располагаемый кавитационный запас	Уровень технического обслуживания (высокий, средний, низкий)	Характерные значения подачи и диапазон ее изменения	Профиль нагрузки	Архивные данные	Скриншоты АСДКУ

## Приложение F (справочное). Удельное потребление энергии

### F.1 Общие положения

Насосная система предназначена для перемещения определенного объема жидкости из одной точки в другую (в циркуляционных системах эти точки совпадают). Полезной величиной для подсчета стоимости перекачки является удельное энергопотребление, то есть энергия, затраченная на перекачивание единицы объема через систему. При известной стоимости электроэнергии данная величина позволяет произвести непосредственный расчет стоимости перекачки.

Величина удельного энергопотребления также дает возможность сравнивать различные варианты систем между собой.

Удельное потребление энергии для систем с постоянным расходом рассчитывается по формуле F.1.

$$E_S = \frac{P_e \cdot t}{V} = \frac{P_e}{Q} \quad (F.1)$$

где  $t$  — время;  
 $P_e$  — потребляемая мощность привода;  
 $V$  — объем;  
 $Q$  — расход.

В системах с переменным расходом  $E_S$  является функцией расхода ( $Q$ ), поэтому её расчёт отличается от приведённого выше. Для расчета используются параметры насоса, двигателя и привода при разных нагрузках и скоростях, предоставленные производителями оборудования.

Полученный показатель  $E_S = f(Q)$  и данные по нагрузке системы используются для расчета эксплуатационных затрат. Разные конфигурации системы можно сравнивать, исходя из количества насосов и различных методов управления.

### F.2 Удельное потребление энергии в разных типах насосных систем

Величину напора насоса можно разделить на статический напор  $H_S$  и потери напора на трение  $H_f$ . Подставив  $(H_S + H_f)$  вместо общего напора и прибавив КПД привода для систем с регулируемой частотой вращения, получаем формулу (F.2) для потребляемой мощности:

$$P_e = \frac{Q \cdot (H_S + H_f) \cdot \rho \cdot g}{\eta_{drive} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{pump}} \quad (F.2)$$

Для систем без статического напора и систем замкнутого контура  $H_S$  равен нулю. В таком случае, удельное потребление энергии зависит от потерь напора на трение, которые, в свою очередь, определяются потерями в системе трубопроводов (включая дросселирующие клапаны), а также общим КПД компонента привод-двигатель-насос.

Общая эффективность узла привод-двигатель-насос определяется для каждой рабочей точки. При изменении частоты вращения в системах такого типа КПД насоса остается практически неизменным, в то время как КПД привода и двигателя при снижении нагрузки может значительно падать.

Если гидравлическая характеристика системы меняется при регулировании положения задвижки, то изменяется рабочая точка насоса и, соответственно, его КПД.

Для систем со статическим напором удельное энергопотребление определяется по формуле F.3:

$$E_S = \frac{P_{in}}{Q} = \frac{(H_S + H_f) \cdot \rho \cdot g}{\eta_{drive} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{pump}} = \frac{H_S \cdot \rho \cdot g}{f_{HS} \cdot \eta_{drive} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{pump}} \quad (F.3)$$

где  $f_{HS} = \frac{H_S}{H_S + H_f}$  – гидравлический коэффициент системы, определяющий относительную величину её статического напора.

$E_S$  имеет минимальное значение, равно  $H_S \cdot \rho \cdot g$ , в случае, когда значения всех КПД равняются 100 % и потери на трение отсутствуют. Если в системе не установлен частотно-регулируемый привод, то все коэффициенты в знаменателе определяются значением подачи и изменяются в зависимости от рабочей точки. При использовании частотно-регулируемого привода, рабочая точка перемещается вдоль кривой характеристики системы.

КПД высокоэффективного двигателя существенно не изменяется при снижении нагрузки до 30 %. Тем не менее, снижение эффективности компонента двигатель-привод может быть довольно значительным, если нагрузка двигателя падает ниже 75 % от номинальной частоты вращения. Знаменатель также может рассматриваться как общая эффективность.

Гидравлический фактор  $f_{HS}$  стремится к 1 при отсутствии потерь на трение.

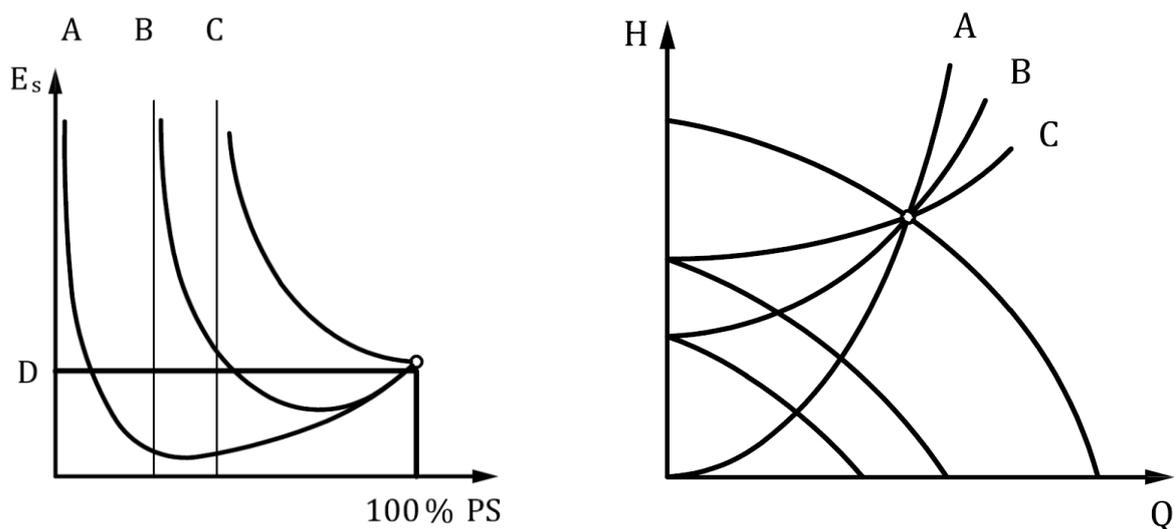
В системах с высоким статическим напором удельное энергопотребление значительно повышается, если рабочая точка смещается влево по рабочей характеристике насоса ввиду снижения КПД насоса, двигателя и привода.

Кроме того, в системах с высоким статическим напором удельное энергопотребление растет при относительно умеренном снижении частоты вращения вала насоса. В таких системах область применимости частотно-регулируемого привода может быть увеличена, если рабочая характеристика системы и рабочая характеристика насоса при его работе на номинальной частоте вращения будут пересекаться справа от точки максимального КПД насоса.

Для расчета стоимости затрат на перекачивание жидкости показатель удельного энергопотребления рассчитывается для всех точек характеристики системы или для ряда значений расхода. Дополнив эти данные графиком нагрузки системы, можно определить стоимость работы по перекачиванию.

На Рисунке F.1 показана зависимость величины удельного энергопотребления от частоты вращения вала насоса для трех различных характеристик системы в зависимости от того, присутствует ли в системе статический напор и используется ли частотно-регулируемый привод.

Потенциал экономии составляет значительную величину при низком статическом напоре и напротив, малую величину для систем с высоким статическим напором. Если частота вращения достаточно низкая, то удельное потребление энергии будет стремиться к бесконечности при работе насоса близко к точке, соответствующей режиму работы на закрытую задвижку.



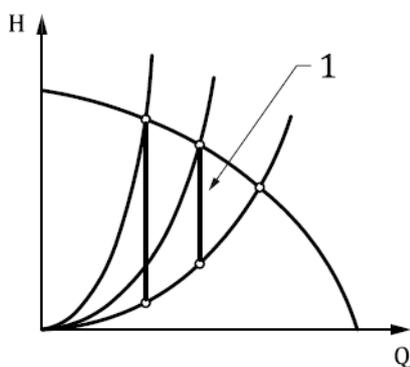
- а) Удельное энергопотребление в зависимости от частоты вращения ротора      б) Характеристика «расход-напор»

*A* — статический напор отсутствует, есть потери напора на трение; *B* — умеренный статический напор; *C* — высокий статический напор; *D* — система двухпозиционного регулирования (вкл./выкл.); *PS* — относительная частота вращения вала насоса

**Рисунок F.1 — Удельное потребление энергии в зависимости от частоты вращения вала насоса при различных характеристиках «расход-напор»**

При дросселировании рабочая точка смещается влево по характеристике насоса (см. Рисунок F.2). Вертикальные линии показывают потери на дросселирование.

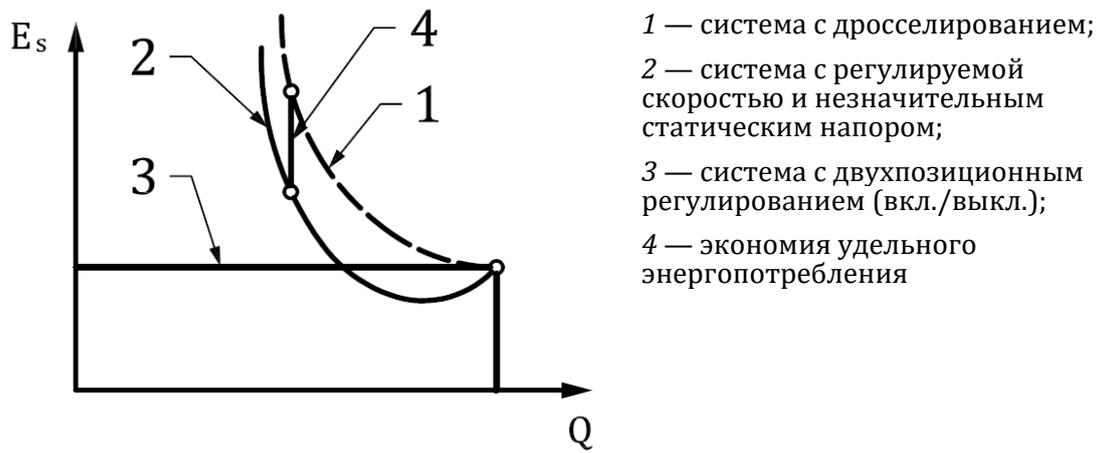
Удельное энергопотребление рассчитывается для каждой рабочей точки путём деления потребляемой мощности двигателя на подачу. При снижении подачи  $E_s$  быстро растёт (см. пунктирную линию на Рисунке F.3).



1 — снижение давления в результате дросселирования задвижки

**Рисунок F.2 — Рабочие точки насоса при дросселировании**

В системе с дросселированием характеристики удельного энергопотребления соответствуют пунктирной линии на Рисунке F.3. Удельное энергопотребление насосной системы с регулируемой скоростью может быть выше, чем системе с двухпозиционным регулированием (вкл./выкл.) или со статическим напором, но ниже, чем в системе с дросселированием, что позволяет повысить энергоэффективность.



ПРИМЕЧАНИЕ Применение частотно-регулируемого привода позволяет улучшить энергоэффективность.

**Рисунок F.3 — Сравнение эффективности способов регулирования**

## Приложение G (справочное). Избыточная мощность насосной системы

### G.1 Общие положения

Избыточная мощность — это показатель, который может использоваться для определения неэффективных (и ненадежных) насосных систем, для подбора насосов и методов управления, а также для выявления излишков подводимой мощности, заложенных при проектировании насосных систем, что позволит обеспечить высокую эффективность, надежность и продолжительность работы оборудования во всем рабочем диапазоне.

### G.2 Формула для расчета избыточной мощности

Гидравлическая мощность рассчитывается по формуле G.1.

$$P_u = \frac{\rho \cdot Q \cdot g \cdot (H_s + H_f)}{3,6 \cdot 10^6} \quad (G.1)$$

где

$P_u$  гидравлическая мощность, кВт;

$\rho$  плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  подача, м<sup>3</sup>/ч

$g$  ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$H_s$  статический напор, м;

$H_f$  потери напора на трение, м.

Мощность на валу насоса  $P_a$ , выраженная в кВт, рассчитывается по формуле G.2.

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_u} \quad (G.2)$$

$$P_u = \eta_p \cdot P_a$$

Избыточная мощность рассчитывается по формуле:

$$P_p = (1 - \eta_p) \cdot P_a \quad (G.3)$$

где

$\eta_p$  КПД насоса;

$P_p$  избыточная мощность, кВт;

$P_a$  мощность на валу насоса, кВт.

Формула (G.3) может быть выражена следующим образом:

$$P_a = P_u + P_p \quad (G.4)$$

### G.3 Выводы

**G.3.1** Из формулы G.4: чем ниже мощность на валу насоса ( $P_a$ ) при одинаковом значении гидравлической мощности ( $P_u$ ), тем ниже значение избыточной мощности, что позволяет продлить срок службы насоса и снизить энергопотребление.

**G.3.2** Из формулы G.3: для заданного условия, чем выше КПД насоса, тем ниже значение избыточной мощности, что позволяет продлить срок службы насоса и снизить энергопотребление.

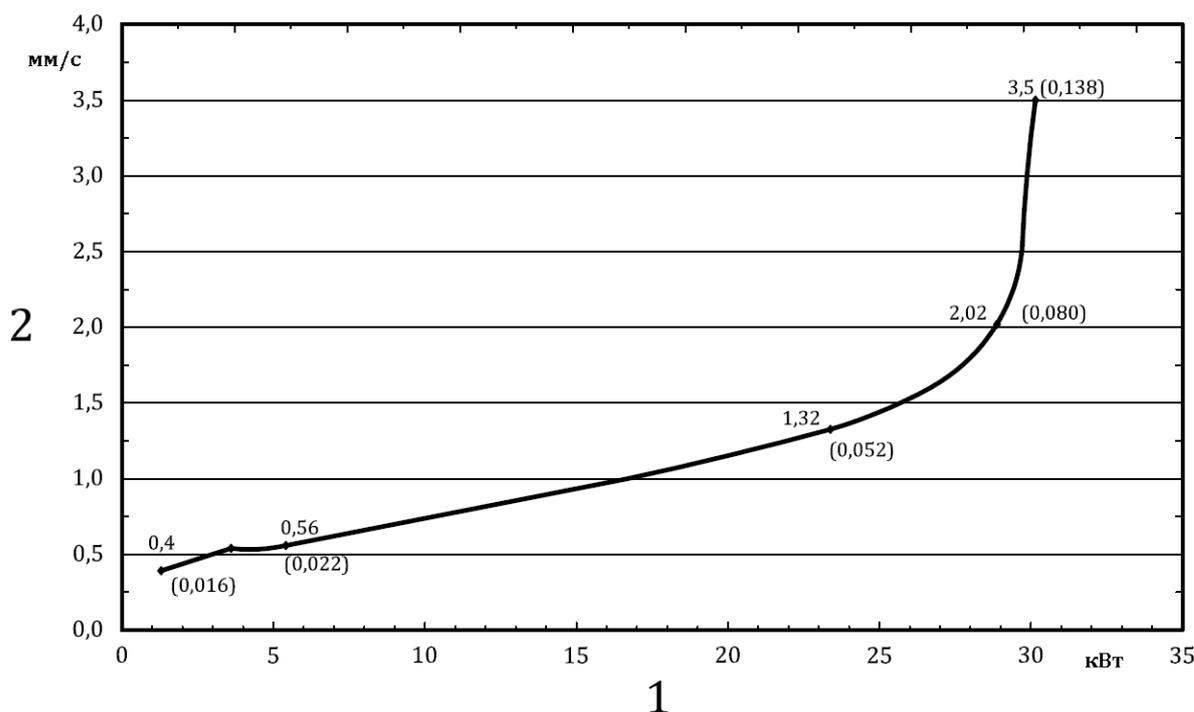
**G.3.3** Чем ниже гидравлические потери напора ( $H_f$ ) в системе, тем ниже значение избыточной мощности, что позволяет продлить срок службы насоса и снизить энергопотребление.

**ПРИМЕЧАНИЕ**  $P_a = P_u / \eta_p = Q \cdot (H_s + H_f) \cdot \rho \cdot g / \eta_p$ . Это означает, что положение регулирующего клапана оказывает важное влияние на избыточную мощность.

Выводы G.3.1—G.3.3 необходимо учитывать при оценке эффективности и надежности насосной системы.

#### G.4 Зависимость уровня вибрации от показателя избыточной мощности

На Рисунке G.1 показаны уровни вибрации в насосе для перекачки керосина при различных значениях избыточной мощности, рассчитанные для каждого условия по формуле (G.3).



1 — избыточная мощность; 2 — уровень вибрации

**Рисунок G.1 — Пример зависимости уровня вибрации от значения избыточной мощности в системе с низким статическим напором**

С ростом избыточной мощности растет и вибрация. При низком уровне избыточной мощности вибрация нарастает более низкими темпами. При достижении определенного предела рост вибрации принимает асимптотический вид. Такой рост может возникнуть либо при очень низкой подаче (из-за рециркуляции), либо при очень высокой подаче (из-за кавитации).

#### G.5 Зависимость средней наработки на отказ от уровня избыточной мощности в насосной системе

С практической точки зрения, целесообразно эксплуатировать насос в диапазоне от 80 % до 110 % подачи в точке максимального КПД, что позволяет добиться высокой эффективности и увеличения времени наработки на отказ. Как правило, максимальные значения избыточной мощности возникают при работе на подачах более 110 % подачи в точке максимального КПД. Насос и система управления должны подбираться таким образом, чтобы обеспечивать бесперебойную работу насоса без превышения указанного значения.

В большинстве случаев такая задача не вызывает сложностей при применении частотного регулирования. В случае если использование частотно-регулируемого привода не рекомендовано, хорошим вариантом снижения значений избыточной мощности при работе на малых подачах является выбор насоса, расчетный режим работы которого на характеристике находится справа от точки максимального КПД.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Зная значение избыточной мощности, можно заранее, до выбора оборудования и методов управления, предсказать степень нагруженности насосной системы во всем рабочем диапазоне, тесно связанную с уровнем энергоэффективности.

## Приложение Н (справочное).

### Пример показателя эффективности насосной системы

#### Н.1 Общие положения

Показатель эффективности насосной системы (PSEI) является приблизительной величиной и используется для первичной оценки её эффективности насосных систем.

Пример расчёта PSEI на примере перекачивания воды описан в Н.2. Для других жидкостей могут быть разработаны аналогичные показатели.

PSEI представляет собой число от 0 до 100, показывающее, какая часть подаваемой в насосную систему энергии необходима.

Например, показатель PSEI = 36 означает, что на каждые 100 единиц подаваемой энергии требуется только 36 единиц. Остальные 64 единицы являются излишними.

PSEI может применяться для:

- насосных систем открытого и закрытого типа;
- любого типа насосов (центробежных или объемных);
- любого количества установленных насосов.

PSEI может быть рассчитан на основе любого из двух наборов данных:

- единовременные данные. Дает показатель энергоэффективности на момент измерения.
- долгосрочные данные. Полученный осреднённый показатель учитывает все условия работы насоса за определенный период времени.

#### Н.2 Расчёт коэффициента эффективности насосной системы PSEI

##### Н.2.1 Общие положения

В таблице Н.1 приведены обозначения и единицы, используемые для расчета коэффициента эффективности.

Таблица Н.1 – Применяемые обозначения и единицы измерения

Величина	Обозначение	Единица измерения
Коэффициент эффективности насосной системы (PSEI)	$Y_n$	–
Расход от источника до потребителя	$Q$	л/с
Статический напор (разность высот уровней забора жидкости и потребителя)	$H_s$	м
Приведённое расстояние (кратчайшее расстояние от источника до потребителя по горизонтали)	$L$	м
Удельная длина	$L_1$	–
Потери напора в оборудовании	$\Delta H$	м
Потребляемая мощность установки (электрическая мощность, потребляемая насосной системой в момент измерения)	$P_e$	кВт
Объем, перекаченный из источника потребителю за определенный период времени	$V$	м <sup>3</sup>
Энергопотребление установки	$E_e$	кВт·ч

**Н.2.2 Единовременный набор данных (а) - мгновенное значение**

Формула (Н.1) служит для расчёта мгновенного значения коэффициента эффективности насосной системы  $Y_1$  :

$$Y_1 = K_1 \cdot \frac{Q \cdot (H_S + L/L_1 + \Delta H)}{P_e} \quad (\text{Н. 1})$$

где

$$L_1 = 43,3 \cdot |Q|^{0,61} \quad (\text{Н.2})$$

$$K_1 = 1,25.$$

**Н.2.3 Набор данных за длительный период (b) - осреднённое значение**

Формула (Н.3) служит для расчёта значения коэффициента эффективности насосной системы  $Y_0$ , осреднённого за длительный период:

$$Y_0 = K_0 \cdot \frac{V \cdot (H_S + L/L_1 + \Delta H)}{E_e} \quad (\text{Н. 3})$$

где  $K_0 = 0,35$  для единиц измерения СИ.

**Н.2.4 Особенности систем с замкнутым контуром**

В случае анализа системы с замкнутым контуром выберите соответствующую формулу (Н.1) - (Н.3), приняв в качестве  $L$  минимальное расстояние вдоль перекачиваемого контура от выхода до входа насоса.

**Н.3 Анализ результатов**

Низкое значение коэффициента энергоэффективности свидетельствует о возможном наличии в насосной системе одной или нескольких проблем, таких как:

- несоответствие параметров насоса требованиям системы;
- режим насоса существенно отличается от точки максимального КПД;
- высокие скорости в трубопроводах;
- неэффективное регулирование;
- чрезмерный износ насоса;
- препятствия в трубопроводах/клапанах/фитингах.

В этом случае рекомендуется провести дальнейшее обследование.

**Приложение ДА**  
(справочное).

**Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в применяемом международном стандарте**

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ ISO 17769-1 – 2014	IDT	ISO 17769-1—2012 (Насосы и установки жидкостные. Общие термины, определения, величины, буквенные обозначения и единицы. Часть 1. Жидкостные насосы)
ГОСТ ISO 17769-2 – 2015	IDT	ISO 17769-2:2012 (Насосы и установки жидкостные. Общие термины, определения, величины, буквенные обозначения и единицы. Часть 2. Насосные системы)
ГОСТ IEC 60034-1 – 2014	IDT	IEC 60034-1(2010) (Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики)
<p><b>Примечание/</b> В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: IDT — идентичные стандарты.</p>		