



**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по анализу энергетической  
эффективности электродвигателей  
(при проведении экспресс-энергоаудита)**

Май, 2019 год

## Оглавление

1	Введение .....	4
2	Область применения .....	5
3	Нормативные ссылки .....	5
4	Термины и определения.....	7
5	Сокращения.....	8
6	Общие положения .....	9
6.1	Требования к группе проведения экспресс-аудита .....	10
6.2	Требования к Заказчикам экспресс-аудита .....	11
6.3	Заинтересованные стороны .....	11
7	Процесс проведения энергетического экспресс-аудита .....	12
7.1	Основные этапы проведения энергетического экспресс-аудита электродвигателей	12
8	Экспресс-энергоаудит электродвигателей .....	16
8.1	Сбор исходной информации.....	16
8.2	Визуальный осмотр .....	17
8.3	Инструментальное обследование.....	18
8.4	Анализ основных характеристик электродвигателей .....	22
8.5	Определение параметров работы .....	25
8.6	Анализ эффективности типовых мероприятий .....	28
8.7	Определение финансовой эффективности и ориентировочных затрат .....	31
8.7.1	Определение потенциала энергосбережения.....	31
8.7.2	Определение уровня затрат .....	35
8.7.3	Определение простого срока окупаемости .....	36
	Приложение 1 Опросный лист по электродвигателям (заполняется заказчиком).....	37
	Приложение 2 Измеренные параметры работы электродвигателя.....	37
	Приложение 3 Фактические параметры работы электродвигателей.....	38
	Приложение 4 Возможность применения мероприятий .....	38
	Приложение 5 Ранжирование мероприятий по финансовой привлекательности.....	38
	Список литературы.....	39
	Приложение 6 Пример проведения экспресс аудита электродвигателей.....	39

**Данный методический материал разработан:**

в рамках проекта ПРООН-ГЭФ и Правительства РК «Стандарты, сертификация и маркировка энергоэффективности электрических бытовых приборов и оборудования в Казахстане» совместно с ТОО «Energy Partner».

**Рабочая группа:**

- Кибарин А. А. – Председатель экспертного совета ОЮЛ «Казахстанская Ассоциация Энергоаудиторов»;
- Литвинов В. К. – Член экспертного совета ОЮЛ «Казахстанская Ассоциация Энергоаудиторов»;
- Фролов А В. – Энергоаудитор ТОО «Energy Partner».

**Введен:** Впервые.

**Рекомендован:**

Объединение юридических лиц «Казахстанская Ассоциация Энергоаудиторов».

## 1 Введение

Потребление энергии в мире стремительно растет, что ставит под угрозу экономическую и экологическую безопасность развития человечества. Под воздействием энергетического кризиса промышленно развитые страны мира провели масштабную структурную перестройку экономики в направлении снижения доли энергоемких производств. Так, энергоемкость машиностроения и особенно сферы услуг в 8-10 раз ниже, чем в топливно-энергетическом комплексе или в металлургии. Структурная перестройка в направлении энергосбережения принесла до 20 % экономии топливно-энергетических ресурсов в расчете на единицу ВВП.

Важным резервом повышения эффективности использования энергии является совершенствование технологических процессов функционирования аппаратов и оборудования. Несмотря на то, что это направление является весьма капиталоемким, тем не менее эти затраты в 2-3 раза меньше расходов, необходимых для эквивалентного повышения добычи (производства) топлива и энергии. Основные усилия в этой сфере направлены на совершенствование двигателей и всего процесса использования топлива.

Учитывая глобальные энергетические вызовы 21 века, Республика Казахстан определила для себя новый политический курс социально-экономического развития, в котором взят вектор на повышение энергетической и экологической безопасности и стабильности. Одним из приоритетов развития энергетического сектора является энергосбережение и повышение энергоэффективности. Создание устойчивой модели развития экономики Казахстана невозможно без решения вопросов повышения энергоэффективности и энергосбережения. Правительство страны исходит из понимания того, что политика эффективного и рационального потребления энергоресурсов должна привести к сдерживанию роста их потребления и существенному сокращению уровня воздействия на окружающую среду [1, 2]. 13 января 2012 года в Казахстане принят Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», определяющий правовые, экономические и организационные основы деятельности в области энергосбережения и энергоэффективности. 30 мая 2013 года принята «Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» до 2050 года, в которой вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности рассматриваются как одни из ключевых в снижении энергоемкости ВВП.

Как показывает мировой опыт, огромный потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности имеется в промышленном секторе. И одним из первых шагов в определении этого потенциала является проведение энергоаудита.

Энергетический аудит является одной из форм реализации государственной политики Республики Казахстан по энергосбережению, направленной на снижение энергоемкости ВВП и повышение энергоэффективности экономики путем снижения энергопотребления и сокращения неэффективного использования топливно-энергетических ресурсов.

Основная доля потери электроэнергии приходится на трансформаторы и электродвигатели, поэтому внедрение энергоэффективного электротехнического оборудования является одной из главных ой задач (ей) производства. Электродвигатели являются наиболее распространенными электропотребителями коммунальных

предприятий, на них приходится около 80% потребления электроэнергии, при этом Большую долю установленной мощности составляют асинхронные электродвигатели. Методических разработок по энергоаудиту и экспресс-аудиту в Казахстане недостаточно [3, 4], а методики экспресс-энергоаудита электротехнического оборудования в Казахстане нет, при этом необходимость в ней велика.

Предлагаемое методическое пособие по экспресс-аудиту ориентировано только на ограниченное число объектов обследования на асинхронные электродвигатели и разработано для повышения качества проведения экспресс-аудита электротехнического оборудования предприятия. Важность настоящей методики состоит в том, что она является одной из первых в серии унифицированных методик для подготовки квалифицированных экспертов и позволит решить проблему с кадрами для проведения экспресс-аудита, позволит проводить энергоаудиты по унифицированным методикам, усовершенствованным схемам контроля и проверки [3, 5].

Разработчиком настоящей методики является ТОО «Energy Partner», работы велись при методической и финансовой поддержке проекта ПРООН-ГЭФ «Стандарты, сертификация и маркировка энергоэффективности электрических бытовых приборов и оборудования в Казахстане».

## **2 Область применения**

Целью разработки настоящей методики является определение базового стандартного подхода при энергетическом обследовании электродвигателей. Пособие по энергоаудиту позволит правильно оценить потери и эффективность работы электродвигателей, используя инструментальное обследование на предприятиях РК, внедрить энергосберегающие технологии для эксплуатируемых электродвигателей, применять энергоэффективные электродвигатели с минимальными потерями.

Методика ограничивается асинхронными электродвигателями ввиду их распространённости и простоте анализа их работы. Другие двигатели, такие как синхронные машины, шаговые двигатели, двигатели с фазным ротором и т.д. не будут здесь рассматриваться, так как требуют существенного объёма измерений, подготовки и углубленных знаний экспертов, что противоречит задачам настоящей методики.

В фокусе внимания методических рекомендаций – асинхронные электродвигатели ввиду их распространённости и относительной простоты анализа их работы.

## **3 Нормативные ссылки**

В данном методическом руководстве использованы ссылки на следующие нормативные документы:

- Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.12.2018 г.);
- Закон Республики Казахстан от 7 июня 2000 года № 53-II «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.10.2015 г.);
- Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 400 «Об утверждении Правил проведения энергоаудита» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 14.07.2017 г.);

- СТ РК ИСО 50002-2015 «Системы энергетического менеджмента. Аудит в области энергетики. Требования и руководство по его проведению»;
- Международный стандарт ИСО 50001:2018(E) Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению;
- Методика по предоставлению субъектами Государственного энергетического реестра информации, необходимой для формирования и ведения Государственного энергетического реестра (утверждена приказом и.о. президента АО «Казахэнергоэкспертиза» от 4 февраля 2014 года № 09-38-71);
- Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 387 «Об утверждении Правил формирования и ведения Государственного энергетического реестра» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 28.12.2017 г.);
- Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577 «О Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике»;
- Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 ноября 2015 года № 1123. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 28 декабря 2015 года № 12587 «Об утверждении Правил проведения аттестации кандидатов в энергоаудиторы»;
- Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 26 марта 2015 года № 234 «Об утверждении Правил работы с персоналом в энергетических организациях Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 15.07.2016 г.);
- Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 30 марта 2015 года № 246 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»;
- Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 20 февраля 2015 года № 123 «Об утверждении Правил пожарной безопасности для энергетических предприятий»;
- Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 253 «Об утверждении Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок» (с изменениями от 25.12.2017 г.);
- Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 407. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 11 июня 2015 года № 11321. Об установлении требований по энергоэффективности технологических процессов, оборудования, в том числе электрооборудования;
- ГОСТ 183-74 Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия;
- ГОСТ 16264.1-2016 Двигатели асинхронные. Часть 1. Общие технические условия;
- СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»;
- ГОСТ 10683—73 Машины электрические. Номинальные частоты вращения и допускаемые отклонения;
- МДК 1-01.2002. Методические указания по проведению энергоресурсаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве;
- ГОСТ 16962—71 Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний;
- ГОСТ ИЕС 60034-1-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики.
- ГОСТ 27471-87 Машины электрические вращающиеся. Термины и определения

#### 4 Термины и определения

В данном методическом руководстве использованы следующие термины и определения:

**Анализ информации по энергопотреблению** - определение показателей энергетической эффективности и резервов энергосбережения на основе собранной документальной информации и инструментальных данных обследования;

**Государственный энергетический реестр** - систематизированный свод информации о субъектах Государственного энергетического реестра.

**Заказчик** – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, имеющие на своем балансе здания, сооружения, промышленные предприятия, потребляющие топливно-энергетические ресурсы.

**Инструментальное обследование** - измерение и регистрация характеристик режимов работы и энергопотребления энергетических установок предприятий, при помощи стационарных или переносных измерительных и регистрационных приборов;

**Класс энергоэффективности электрического энергопотребляющего устройства** - уровень экономичности энергопотребления электрического энергопотребляющего устройства, характеризующий его энергоэффективность на стадии эксплуатации;

**Показатель энергетической эффективности** - количественная характеристика уровней рационального потребления и экономного расходования ТЭР при создании продукции, реализации процессов, проведении работ и оказании услуг, выраженная в виде абсолютного, удельного или относительного показателя их потребления (потерь);

**Потенциал энергосбережения** - количество ТЭР, которое можно сберечь в результате реализации технически возможных и экономически оправданных мер, направленных на эффективное их использование и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии при условии сохранения или снижения техногенного воздействия на окружающую и природную среды;

**Потребитель ТЭР** - юридическое лицо (организация), независимо от формы собственности, индивидуальный предприниматель, использующие топливно-энергетические ресурсы для производства продукции, услуг, а также на собственные нужды;

**Разработка рекомендаций и программ по энергосбережению** - определение организационных, технических и технологических предложений, направленных на повышение энергоэффективности объекта энергетического обследования, с обязательной оценкой экономической и технической возможностей их реализации, прогнозируемого технико-экономического эффекта;

**Сбор документальной информации** - сбор данных о потребителе ТЭР, производстве продукции, услуг, технологических параметрах, технико-экономических показателях и т.п., необходимых для расчета показателей энергетической эффективности объекта;

**Топливо-энергетические ресурсы** – совокупность природных и произведенных энергоносителей, запасенная энергия которых при существующем уровне развития техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности;

**Энергетическая эффективность (энергоэффективность)** - характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта;

**Энергосберегающее оборудование** - оборудование, позволяющее повысить эффективность использования энергетических ресурсов;

**Энергосберегающий материал** - материал, позволяющий повысить эффективность использования энергетических ресурсов;

**Энергетический аудит (энергоаудит)** - сбор, обработка и анализ данных об использовании энергетических ресурсов в целях оценки возможности и потенциала энергосбережения, подготовка заключения;

**Энергетические ресурсы** - совокупность природных и произведенных носителей энергии, запасенная энергия которых используется в настоящее время или может быть использована в перспективе в хозяйственной и иных видах деятельности, а также виды энергии (атомная, электрическая, химическая, электромагнитная, тепловая и другие виды энергии);

**Эффективное использование энергетических ресурсов** - достижение технически возможного и экономически оправданного уровня использования энергетических ресурсов;

**Энергоаудиторская организация** – юридическое лицо, осуществляющее энергоаудит;

**Энергоаудитор** – физическое лицо, имеющее аттестат энергоаудитора в области энергосбережения и повышения энергоэффективности;

**Энергосервисная компания** – юридическое лицо, выполняющее за счет собственных и (или) привлеченных средств в рамках энергосервисного договора работы (услуги) в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, в том числе с привлечением подрядных организаций;

**Энергосбережение** - реализация организационных, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов.

## **5 Сокращения**

В этом методическом руководстве применены следующие обозначения и сокращения:

КПД - коэффициент полезного действия;

ЭЭ – электроэнергия;

ЭД - электродвигатель;

ГЭР - Государственный энергетический реестр;

ВВП – валовый внутренний продукт;

ТЭР - топливно-энергетические ресурсы;

ЭЭА – экспресс-энергоаудит;

ТП – трансформаторная подстанция;

РП – распределительный пункт;

РУ – распределительное устройство;

УПП – устройства плавного пуска;

ЧРП – частотно-регулируемый привод;

СМР – строительно-монтажные работы;  
УКРМ – устройство компенсации реактивной мощности;  
ТЭО – технико-экономическое обоснование.

## **6 Общие положения**

Основной задачей энергетического экспресс-аудита является определение небольшого количества наиболее значимых стратегических направлений и сравнительно недорогих мероприятий, направленных на достижение плановых показателей промышленного предприятия в области энергоэффективности и энергосбережения.

Энергетический экспресс-аудит может проводиться по сокращенной программе с минимально необходимым использованием приборного оборудования и может носить характер, ограниченный по объему работ и времени проведения. При этом, как правило, производится оценка эффективности использования одного или нескольких из видов ТЭР (электрическая и тепловая энергии; твердое, жидкое или газообразное топливо), вторичных энергоресурсов, функционирования отдельной группы оборудования (отдельного агрегата) либо отдельных показателей энергоэффективности и т. д.

Зачастую системы электропотребления эксплуатируются не эффективно, электрооборудование оказывается недогруженным или перегруженным, что отрицательно влияет на качество электроэнергии. Это приводит к увеличению доли потерь в электродвигателях, к снижению коэффициента мощности в системе электроснабжения, снижению срока эксплуатации оборудования, повышению аварийности, росту затрат на ремонт и восстановление и т.д. Повышение энергоэффективности систем энергопотребления, где электротехническое оборудование и особенно электродвигатели занимают доминирующее положение – одна из важнейших народно-хозяйственных, стратегических задач для Республики Казахстан.

Экономия потребляемой предприятиями электрической энергии достигается путём снижения потерь при преобразованиях энергии в электродвигателях, а также через оптимизацию режимов эксплуатации оборудования, потребляющего энергию. В настоящей методике рассмотрены асинхронные электродвигатели, чья общая доля потребления электроэнергии страны достигает 65-70 % [6, 7, 8].

Асинхронные электродвигатели классифицируются по классам напряжения, установленной мощности, частоте вращения ротора, исполнением обмотки ротора, классу энергоэффективности и т.д.

Потребляемая мощность ЭД зависит от создаваемого на валу нагрузочного момента, который в свою очередь характеризуется спецификой приводного механизма (насосы, мельницы, вентиляторы, компрессоры и т.д.). Задача ЭЭА определить возможность сокращения потребления ЭЭ при неизменных характеристиках момента на валу, т.е. мы рассматриваем только сам электродвигатель и протекающие в нём процессы, влияющие на потребление им электроэнергии.

В ходе проведения экспресс-аудита электродвигателей, энергоаудиторы должны провести оценку эффективности их работы, режимов работы электродвигателей, которые напрямую связаны с энергоэффективностью. Электродвигатели являются приводом технологического оборудования, и от их экономичной и надежной работы во многом зависит экономичность и надежность технологического процесса. Поэтому экспресс-

аудит является ответственной и сложной задачей. Должны быть предложены мероприятия по снижению технологического расхода электроэнергии на привод за счёт:

1. установки менее мощных электродвигателей, там, где это возможно;
2. применения систем частотного регулирования, в случае если технологическое оборудование имеет переменный режим работы;
3. установки и ввода в работу устройств плавного пуска, для часто перезапускаемых электродвигателей;
4. замены устаревших электродвигателей на новые энергоэффективные и т.д.

Экспресс-аудит – это обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) с целью установления эффективности использования ими ТЭР, определения резервов экономии ТЭР и выработки экономически обоснованных мер по снижению затрат на топливо и энергообеспечение.

Субъектами ЭЭА являются: Заказчик - промышленное предприятие и Исполнитель энергетического аудита – энергоаудиторская компания. Правовой основой ЭЭА являются Закон РК «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», «Правила проведения энергоаудита», СТ РК ИСО 50002-2015, а также другие нормативные акты в данной сфере деятельности. По форме проведения ЭЭА может быть только добровольным. ЭЭА осуществляют за счет средств заинтересованных субъектов. Сроки проведения ЭЭА зависят от его вида и объекта, потребляющего ТЭР, размеров объекта и величины потребления ТЭР. Сроки проведения могут быть скорректированы по согласованию с Заказчиком за счет увеличения числа энергоаудиторов или уменьшения объема работ. В процессе аудита выполняется:

- определение потребления электроэнергии электродвигателями;
- определение потенциала снижения потребления электроэнергии электродвигателями;
- выбор наиболее подходящих мероприятий для экономии денежных средств и энергоресурсов.

В данной методике рассмотрены типовые мероприятия для каждого из направлений проведения экспресс-аудита и способы определения всех используемых параметров для оценки актуальности применения каждого мероприятия.

## **6.1 Требования к группе проведения экспресс-аудита**

Группа по экспресс-аудиту для выполнения работ по данной методике может состоять из двух или более энергоаудиторов. Группа по экспресс-аудиту должна соответствовать требованиям «Правил проведения аттестации кандидатов в энергоаудиторы». Кроме того, группа по экспресс-аудиту должна соответствовать следующим требованиям:

1. Эксперты энергоаудиторы должны иметь специальное образование в области знаний, которые соответствуют направлению его деятельности при проведении ЭЭА;
2. Эксперты, проводящие инструментальные измерения должны иметь разрешительные документы, знания основ норм и правил испытания электрооборудования и Группу допуска не ниже IV;
3. Иметь в наличии следующий приборный парк:

- a. Тепловизор (включенный в реестр средств измерения РК) -1 шт. (верхний предел температурного диапазона должен быть не менее 200 °С, нижний – 5 °С; чувствительность 0,1 °С; наличие системы записи и хранения термограмм и фотографий);
- b. Токовые клещи – 1 шт. с функцией определения параметров: (cosφ, ВАр, Вт, Вольт, Ампер);
- c. Анализатор качества электроэнергии (включенный в реестр средств измерения РК) – 1 шт.;

Примечание: на момент проведения работ все приборы должны иметь действующий сертификат о поверке или первичной поверке.

4. Группа должна иметь в своём составе не менее одного аттестованного энергоаудитора, обладающего опытом проведения энергоаудитов не менее 5 лет и имеющий опыт проведения энергоаудита трансформаторов.

5. Руководитель группы по ЭЭА должен обладать дополнительными знаниями и навыками по руководству энергоаудитом для результативного и эффективного проведения энергоаудита (планирование энергоаудита, предупреждение и разрешение конфликтов, подготовка и оформление отчета по энергоаудиту и т.д.).

## **6.2 Требования к Заказчикам экспресс-аудита**

До начала проведения ЭЭА Заказчик совместно с Руководителем группы по ЭЭА согласуют вопрос обеспечения энергоаудиторской группы рабочими местами, взаимодействия энергоаудиторов с представителями Заказчика, при необходимости предварительного обучения представителей Заказчика, привлеченных к проведению ЭЭА, подготовки и предоставления необходимых документов, материалов, справок и т.п.

Обучение работников объекта, потребляющего ТЭР, должно предусматривать ознакомление с порядком заполнения опросных листов, использованием измерительной аппаратуры, правилами проведения измерений и т.п.

Заказчик должен определить со своей стороны ответственное лицо (или лица) для проведения работ по экспресс-аудиту. Ответственное лицо (или лица) должно обеспечить в соответствии с «Правилами проведения энергоаудита» предоставление следующей информации:

1. заполненный проект опросного листа;
2. паспортные данные оборудования;
3. прочую информацию, необходимую для выполнения работ.

## **6.3 Заинтересованные стороны**

**Объектами экспресс-аудита**, согласно настоящей методики являются:

- промышленные и производственные предприятия любой отрасли;
- общественные здания, культурные заведения;
- школы, больницы, государственные предприятия;
- объекты инфраструктуры и т.д.

**Энергоаудиторы.** При проведении работ, согласно данной методики, энергоаудиторы получают возможность использовать стандартный и общепринятый подход. Результаты выполнения работ можно будет объективно оценивать, согласно данной методики.

**Энергосервисные компании.** Данная методика будет служить инструментом выполнения работ по определению потенциальных затрат и выгод при внедрении мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности.

**Производители эффективных технологий.** У производителей высокотехнологичного и качественного оборудования появляется дополнительный спрос и возможности расширение рынка.

## **7 Процесс проведения энергетического экспресс-аудита**

Экспресс-аудит соответствует требованиям СТ РК ИСО 50002-2015, в соответствии с которым существуют 3 вида проведения аудита. Виды аудита, изложенные в СТ РК ИСО 50002-2015 не являются абсолютными требованиями (стандарт имеет рекомендательный характер и заказчик, на стадии разработки технического задания и при согласовании программы ЭЭА, может регулировать уровень детализации энергоаудита между видами 1 и 3, подходящими для нужд организации). Вид первый представляет минимальный уровень детализации, который может называться ЭЭА. Однако, при проведении ЭЭА электродвигателей, минимального уровня детализации недостаточно.

Если предусматриваются дополнительные измерения, Заказчик и Энергоаудиторская организация должны, как правило, согласовать масштаб необходимых измерений до проведения аудита. Для аудита вида 2 желательно, чтобы организация и аудитор согласовали текущий или базовый тариф, который применяется для финансового анализа. Настоящая методика описывает проведение работ согласно 1 и 2-му виду проведения работ по аудиту согласно СТ РК ИСО 50002-2015:

- Документальное обследование, сбор данных (полные списки и характеристики электродвигателей на объекте, включающие паспортные данные, описание оборудования, график работы, энергопотребление, коэффициенты нагрузки и оценки факторов нагрузки, включая показания счетчиков, данные о размещении);

- Ограниченное обследование, проведение выборочных измерений;

- Подробный анализ потребления энергоресурсов, подробный баланс потребления, оценка потенциала энергоэффективности;

- Определение набора конкретных и реализуемых возможностей улучшения энергоэффективности, включая краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные действия с экономией энергии;

- Предоставление согласованного экономического анализа, как правило, включающее простую окупаемость, но может содержать методы, такие как внутренняя норма прибыли или чистая текущая стоимость.

### **7.1 Основные этапы проведения энергетического экспресс-аудита электродвигателей**

В нормативных документах Республики Казахстан нет требований по этапам проведения ЭЭА. Поэтому последовательность проведения экспресс-аудита должна в целом соответствовать требованиям «Правил проведения энергоаудита». Структурная схема последовательности проведения ЭЭА представлена на рис. 1. Поскольку ЭЭА проводится на добровольной основе, то по итогам ЭЭА не оформляется заключение. Оформляется отчет о проведенном экспресс энергоаудите, и выдаются рекомендации по выполнению мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности.



Рис. 1 Этапы проведения экспресс-аудита

**Подготовительный этап** - должен предусматривать встречу с Заказчиком; предварительное ознакомление Группы энергоаудита с объектом ЭЭА; посещение энергоаудиторами объекта, потребляющего ТЭР; получение первичной информации, ее анализ и разработку плана ЭЭА; согласование плана проведения ЭЭА с Заказчиком; определение лиц со стороны Заказчика для участия в проведении ЭЭА; работу с Заказчиком по заполнению опросных листов, сбор дополнительной исходной информации.

**Измерительный этап** - должен предусматривать посещение энергоаудиторами объектов ЭЭА для визуального обследования электродвигателей, определение их соответствия документации, необходимые измерения, связанные с определением энергоэффективности электродвигателей и возможным потенциалом энергосбережения.

**Аналитический этап** - должен предусматривать выполнение анализа полученных результатов, оценку потенциала энергосбережения и основных технико-экономических показателей эффективности использования ТЭР, разработку рекомендаций по энергосбережению, технико-экономическую оценку эффективности приоритетного перечня энергосберегающих мероприятий, составление отчета по результатам проведения ЭЭА.

По результатам энергоаудита энергоаудиторская организация передает Заказчику отчет и проводит презентацию основных результатов ЭЭА. Также энергоаудиторская организация, если это предусмотрено в договоре может проводить мониторинг результатов внедрения рекомендованных мероприятий, консультативное сопровождение выполнения рекомендаций по энергоэффективности, мониторинг и оценку достижения поставленных результатов и ожидаемого экономического эффекта.

На рис. 2 представлена блок-схема проведения экспресс-аудита электродвигателей.

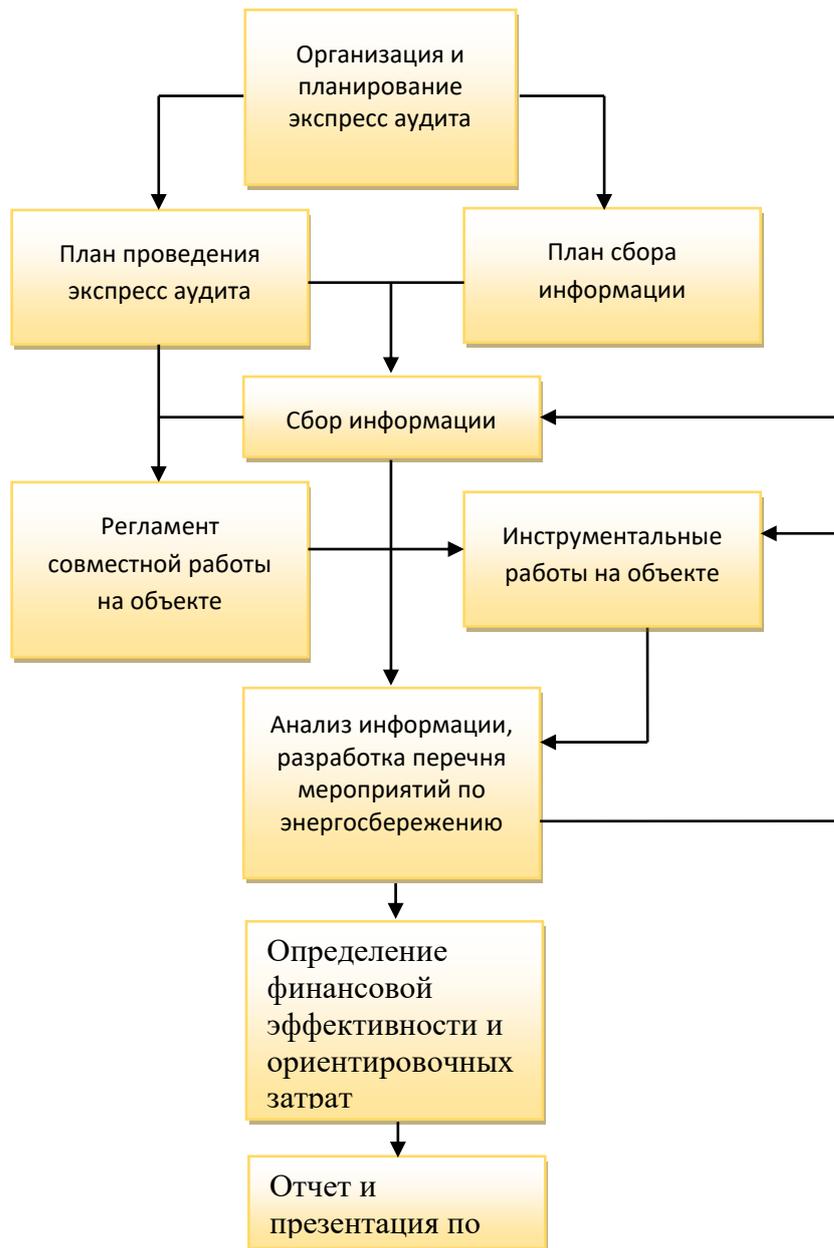


Рис. 2 Блок-схема проведения экспресс-аудита электродвигателей

Работы проводятся в соответствии с картой процесса проведения экспресс-аудита представленной в Табл. 1.

Кроме основных задач энергоаудита по определению потенциала снижения потребления электроэнергии и выбора наиболее подходящих мероприятий для экономии денежных средств и энергоресурсов, задачами экспресс-аудита электродвигателей могут быть: изучение технического состояния и рекомендации по мероприятиям дополнительного диагностического контроля, ремонту, модернизации, реконструкции или замены для обеспечения безаварийного и безопасного выполнения технологических функций. Рекомендации могут быть сформулированы на основе инструментального обследования электродвигателей.

Табл. 1 Карта процесса проведения экспресс-аудита

№ п/п	Наименование этапа	Задачи этапа	Результат	Ответственная сторона	Примечание
1	Подготовительный этап	Сбор исходной информации	Проект опросного листа	Заказчик	Заказчик заполняет опросный лист, указав основные паспортные и эксплуатационные характеристики обследуемого оборудования
		Предварительный анализ информации		Группа по экспресс-аудиту	Формирование программы посещения объекта и выполняемых работ
2	Измерительный этап	Визуальный осмотр	Подписанные опросные листы	Группа по экспресс-аудиту	Посещение объекта, проведение осмотра каждого объекта аудита, сбор недостающей информации и т.д.
		Измерения (термография, электроизмерения)	Проект протокола измерений	Группа по экспресс-аудиту	На выбранных участках производятся измерения приборами энергоаудиторов либо используются штатные приборы с функцией регистрации данных
3	Аналитический этап	Анализ измерений	Протокол измерений	Группа по экспресс-аудиту	Определяются все основные параметры
		Выполнение расчётов	Заполненные формы согласно приложений к настоящей методике	Группа по экспресс-аудиту	Выявляются наиболее актуальные мероприятия для рассматриваемых объектов экспресс-аудита
		Ранжирование мероприятий по финансовым показателям	Согласованный перечень мероприятий	Группа по экспресс-аудиту	Определяется перечень наиболее экономически целесообразных и рациональных мероприятий
		Оформление отчёта по экспресс-аудиту	Отчёт по аудиту	Группа по экспресс-аудиту	Отчёт включает в себя перечень предлагаемых мероприятий, заполненные формы
<p>На этом работы по экспресс-аудиту завершены, дальнейшее решение о внедрении мероприятий переходит на заказчика, настоящая методика несёт большую неопределённость в области определения потенциала энергосбережения, поэтому перед внедрением требуется проведение технико-экономического обоснования для предлагаемых мероприятий (зачем, тогда ЭЭА, внедрением чего, где ЭЭ мероприятия с оценкой?? И пр.)</p>					
Дальнейшие работы по реализации мероприятий, не входящие в объём настоящей методики	Определяются мероприятия для реализации	Программа энергосбережения предприятия	Заказчик		
	ТЭО	На каждое мероприятие готовится подробное ТЭО	Заказчик		
	СМР	Осуществляется реализация мероприятия	Заказчик		

## 8 Экспресс-энергоаудит электродвигателей

### 8.1 Сбор исходной информации

Для анализа потенциала энергосбережения необходим сбор основных сведений и информации, требуемый для определения возможных мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности.

Процесс сбора информации можно начать с заполнения опросных листов. Энергоаудитор вправе дистанционно запрашивать общую информацию по электродвигателям, паспортные данные и т.д. Вся собранная информация должна быть пригодна для заполнения приложений методики. Сбор информации, визуальный осмотр и измерения необходимо выполнить энергоаудитору, проводящему аудит непосредственно на месте обследуемых объектов, совместно с обслуживающим персоналом.

Сбор и анализ информации о предыстории работы электродвигателя необходим для предварительной оценки его технического состояния, режимов работы и последующих рекомендаций по повышению энергоэффективности. Должна быть использована нижеследующая информация о двигателе:

1. Имеющаяся техническая документация на двигатель:
  - тип двигателя;
  - заводской номер;
  - год изготовления;
  - соединение фаз;
  - номинальная активная мощность;
  - номинальная полная мощность;
  - номинальная частота вращения;
  - отношение номинального значения начального пускового момента к номинальному вращающему моменту;
  - отношение номинального значения начального пускового тока к номинальному току;
  - отношение номинального значения максимального временного момента к номинальному моменту;
  - коэффициент полезного действия;
  - коэффициент мощности;
  - класс нагревостойкости изоляции статора;
  - класс энергоэффективности ЭД (при наличии).
2. Эксплуатационная документация и протоколы штатных измерений и испытаний:
  - год ввода в эксплуатацию;
  - данные приемосдаточных испытаний и данные заводских замеров (при наличии);
  - статистика замеров сопротивлений изоляции и сопротивления обмоток статора и ротора, проводимых при ремонте и испытаниях двигателя;
  - дата, вид испытания и полученный результат;
  - число пусков;
  - наработка двигателя, в том числе после капитального ремонта.
3. Журнал ремонта:
  - отказы и аварийные остановы, их причины;

- дата, вид ремонта (профилактический, аварийно – восстановительный, капитальный, и т.д.), краткий перечень произведенных работ;

- сведения о заменах отдельных элементов.

#### 4. Электрическая схема подключения двигателя.

После получения предварительной информации от заказчика согласно опросного листа энергоаудитор должен сформировать планируемые измерения. Зачастую количество обследуемых двигателей очень высоко и проведение измерений на каждом двигателе является невозможным. Соответственно энергоаудитор должен определить измерения на двигателях, где это будет актуальным.

Выбор актуальной группы двигателей для измерений – там, где возможный потенциал энергосбережения максимальный и там, где потенциал энергосбережения минимальный, т.е. те места, где измерения анализатором качества будут точно произведены и те места, на которые не будет уделяться внимание энергоаудитора. При этом останется средняя группа т.е. те двигатели, которые не вошли в первые 2 группы, для данного сегмента определяется визуальный осмотр, после которого аудитор примет решение о включении данных двигателей в первую или во вторую группу.

Решение о местах выполнения измерений должно исходить из его суммарного потребления электроэнергии и установленной мощности. Выбор должен пасть на те двигатели, годовое потребление электроэнергии которых в 2-4 раза выше его стоимости согласно Табл. , в противном случае предлагаемые меры энергосбережения не будут иметь финансовую эффективность. Окончательное решение об объеме выполняемых измерений принимается энергоаудитором совместно с заказчиком.

После определения и согласования мест измерений энергоаудитор приступает к измерительному этапу, включая все необходимые сопутствующие работы: сбор дополнительных данных, визуальное обследование и т.д.

## 8.2 Визуальный осмотр

Кроме сбора исходной информации и изучения документации по потреблению электроэнергии и режимам работы электродвигателей необходимо провести визуальное обследование электродвигателей для предварительной оценки их технического состояния и поиска возможных мест потерь и снижения эффективности работы электродвигателей.

Осмотр электродвигателей производится экспертом аудитором в сопровождении представителя Заказчика.

При визуальном осмотре проверяется:

– Внешнее состояние электродвигателя (на электродвигатель не должны попадать вода, пар, агрессивные жидкости; корпус электродвигателя должен быть чистым);

– Наличие обозначения позиции электродвигателя и его характеристик, стрелки, указывающей направление вращения, наличие защитного кожуха на муфте, отсутствие трения между вентилятором и защитным кожухом, отсутствие трения между соединительной муфтой и ее защитным кожухом;

– Наличие и состояние заземляющих проводников корпуса электродвигателя и кабеля;

– Исправность кнопки управления, наличие указывающей позицию надписи на кнопке;

- Состояние кабеля на электродвигателе и кнопке (металлорукав на кабеле должен быть исправен и заземлен);
- Уплотнение кабеля на вводе кабеля в электродвигатель и кнопку (проверяется подергиванием кабеля);
- Температура корпуса электродвигателя, подшипников;
- Отсутствие вибрации электродвигателя;
- На тех электродвигателях, где имеются амперметры, проверяется нагрузка, отсутствие посторонних шумов и постукиваний;
- Наличие всех крепежных деталей на корпусе электродвигателя и крепление электродвигателя к фундаменту, состояние фундамента.

После сбора исходной информации, согласно опросного листа, производится оценка параметров и характеристик работы электродвигателей согласно приложению 2 фактические параметры работы электродвигателей принимаются на основе имеющейся документальной информации и инструментальных измерений.

### **8.3 Инструментальное обследование**

При отсутствии необходимых данных по потреблению электроэнергии отдельными электродвигателями, отсутствию информации по режимам работы, токовой нагрузке, качеству электроэнергии, потребляемой электродвигателем необходимо произвести измерения.

При инструментальном обследовании электродвигателей необходим следующий набор измерительных приборов:

1. Тепловизор – для выявления зон нагрева двигателя, возможных повреждений или развивающихся дефектов и т.д.;
2. Набор термометров с различными датчиками: воздушными, жидкостными (углубленными), поверхностными (накладными, контактными) и т.д.;
3. Токовые клещи и анализатор качества электроэнергии – для определения всех основных параметров работы электродвигателя. Предпочтительнее измерения выполнять анализатором качества электроэнергии, он регистрирует изменение параметров работы двигателя во времени.

Объем термографического обследования электродвигателей определяется их конструктивным исполнением и мощностью. В первую очередь контролируется состояние: корпуса статора, коллектора, подшипников, выводной коробки и системы охлаждения. Области перегрева на корпусе статора говорят о наличии короткозамкнутых витков в обмотке или о дефектах системы охлаждения, засорении каналов вентиляции. Проверка коробки выводов дает информацию о состоянии контактных соединений. Температура нагрева подшипников электродвигателя не может превышать указанных значений в справочной литературе или в документации изготовителя, а для подшипников скольжения превышение рабочей температуры грозит немедленным разрушением и аварийным выходом электродвигателя из строя. Тепловизионное обследование электродвигателей осуществляется согласно СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» и РД 153-34.363-99 «Методика инфракрасной диагностики электрооборудования».

Предельно допустимые температуры нагрева подшипников:

- a. для вкладышей подшипников скольжения - 80 °С;
- b. для обойм подшипников качения - 100 °С.

Выявление аномальных перегревов на поверхности корпуса ЭД позволяет определить очаги витковых замыканий в обмотках, закупорку вентиляционных каналов в статоре и в ряде случаев нарушение паяк в обмотках. При оценке теплового состояния ЭД следует учитывать допустимые превышения температур последних в зависимости от класса нагревостойкости электроизоляционных материалов обмоток, которая является наименее теплостойкой частью конструкции. Он условно обозначается следующими маркерами:

- У - предельная температура 90 °С. Материалы – бумага, пряжа, шелковые или хлопчатобумажные ткани без пропитки изолирующим составом.
- А - предельная температура 105 °С. Материалы те же, но с пропиткой.
- Е - предельная температура 120 °С. Материал – синтетическая органическая пленка.
- В - предельная температура 130 °С. Материалы – стекловолокно, слюда, асбест с органическим связующим веществом.
- F - предельная температура 155 °С. Материалы те же что и в В с синтетическим пропитывающим и связующим веществом.
- Н - предельная температура 180 °С. Материалы те же что в В с кремнийорганическим пропитывающим и связующим веществом.
- С - предельная температура от 180 °С и выше. Материалы – стекло, керамика, кварц, слюда с неорганическим связующим составом или без. Допустимая температура электродвигателя при работе в этом случае ограничивается только свойствами изоляционных материалов.

Чрезмерный нагрев электродвигателей сокращает срок их службы. Степень нагрева зависит от нагрузки электродвигателя и от условий и режима его работы.

Под *нагрузкой электродвигателя* обычно понимают значение момента сопротивления на валу или значение пропорциональной ему величины - тока статора. Поскольку измерить момент двигателя в процессе его работы затруднительно, для контроля нагрузки измеряют ток статора и сравнивают его с допустимым значением.

Технологические перегрузки рабочих машин или колебания напряжения в питающей сети ведут за собой увеличение тока в обмотках машин и превышение температуры обмоток выше допустимых для данного класса, в результате срок службы машин быстро уменьшается.

Допустимый перегрев зависит от класса изоляции. Например, для изоляции класса А допускается превышение температуры над окружающей не более 60 °С для обмоток и околообмоточной части стали электрических машин, для изоляции класса В - не более 80°С. Так, при температуре воздуха 30°С допустимая температура статора электродвигателя с изоляцией класса А составит 90°С, а для класса В - 110 °С.

Для изоляции классов А и В применяется так называемое десятиградусное правило: при превышении температуры обмоток примерно на каждые 10 °С срок службы изоляции уменьшается вдвое. Перегрев машины чаще всего происходит за счет ее перегрузки электрическим током.

Чувствительными к нагреву являются и некоторые механические узлы, и детали электродвигателей. Для них в паспортах электродвигателей задаются допустимые

превышения температур над температурой окружающей среды 35 °С. Допустимые превышения температуры для подшипников качения составляют 60°С, для подшипников скольжения - 45°С, для стальных деталей коллекторов и контактных колец - 70°С. Температуру подшипников скольжения можно измерить, погружая термометр непосредственно в масло подшипника.

Проведя термографическое обследование и определяя зоны перегрева, точное значение температуры на корпусе электродвигателя можно получить контактным способом при помощи термопары.

Заметное влияние на нагрев электродвигателей имеет уровень напряжения питающей сети. Существенно, что увеличение и уменьшение напряжения ведут к повышению температуры нагрева электродвигателя. В связи с этим не допускаются напряжения ниже 95 % и выше 110% номинального. Наилучшие характеристики асинхронные электродвигатели имеют при напряжениях в диапазоне от 100% до 105% номинального. Рост напряжения выше 110% от номинального также ведет к росту тока в обмотках двигателя и увеличивается нагрев статора за счет вихревых токов.

В объем измерений на электродвигателе входит: определение скорости вращения, частоты, коэффициента загрузки электропривода, тока, напряжения, мощности,  $\cos\phi$ , показателей качества электроэнергии. Эффективность работы электродвигателя определяется его КПД.

Большое значение имеют потери КПД, связанные с реактивными токами, снижением мощности, нагревом двигателя и другими негативными факторами. Потеря КПД чаще всего связана с выделением тепла, когда происходит нагрев электродвигателя в процессе работы. Причины потерь могут быть магнитными, электрическими и механическими, возникающими под действием силы трения.

Одной из причин снижения КПД электродвигателя может стать асимметрия токов, когда на каждой из трех фаз появляется разное напряжение. Например, если в 1-й фазе имеется 410 В, во 2-й – 402 В, в 3-й – 288 В, то среднее значение напряжения составит  $(410+402+388)/3 = 400$  В. Асимметрия напряжения будет иметь значение:  $410 - 388 = 22$  вольта. Таким образом, потери КПД по этой причине составят  $22/400 \times 100 = 5\%$ .

Из-за асимметрии питающей сети могут появиться радиальные вибрации, которые могут привести к механическим повреждениям. До 10% всех аварий АД имеют механическое происхождение. При этом 8 % приходится на долю аварий, связанных с асимметрией фаз. Постоянный контроль сетевого напряжения и нагрузки на валу АД позволяет в большинстве случаев свести вероятность механических повреждений к минимуму.

Основную часть потерь энергии в двигателе определяют два фактора – потери в сердечнике и омические потери. Потери в сердечнике определяются теплом, выделяющимся в роторе и пластинах сердечника за счет магнитного потока. Омические потери – это тепло, выделяемое током, проходящим через обмотку статора при создании магнитного поля. Эти потери во многом определяются нагрузкой электродвигателя. Нагрузка двигателя должна составлять не менее 70 % от номинальной. Коэффициент полезного действия двигателя, максимальный при 100%-ной нагрузке, падает всего на 3 % при 70 % от номинала, но уже на 8 % при 50 % от номинала, на 25 % – при 30 и на 55 % при 10 % от номинальной нагрузки (Рис. 3). Это же относится и к коэффициенту мощности.

Поэтому в процессе инструментального обследования необходимо оценить коэффициент загрузки электродвигателя. Необходимо определить, не избыточен ли по мощности двигатель. Наиболее типичны следующие причины работы двигателей в режиме неполной нагрузки.

1. Конструкторы имеют привычку завышать мощность двигателя на всякий случай, поскольку за умеренное превышение мощности не критикуют.
2. Исходные данные для конструкторских разработок могли содержать ошибку, или проявился консерватизм в желании зависеть мощность (на всякий случай).
3. Избыточно мощный двигатель мог быть установлен при замене, так как на складе не нашлось подходящего, о чем позже забыли, а двигатель остался.
4. Технологические процессы могли измениться постепенно по сравнению с моментом установки двигателя.

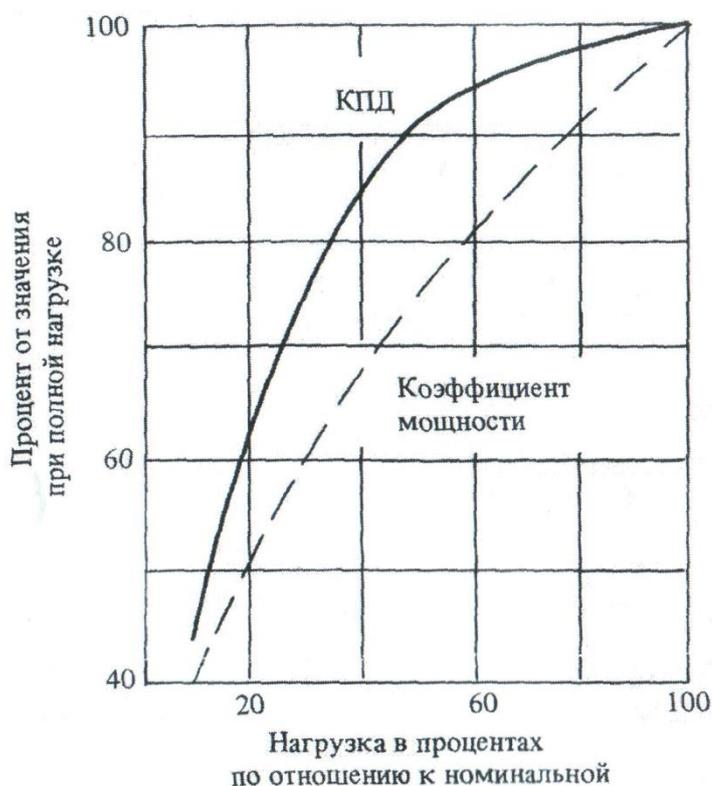


Рис. 3 Изменение КПД и коэффициента мощности от нагрузки

Изменение числа оборотов электродвигателя приводит к изменению мощности и энергоэффективности. причину недостаточных оборотов следует искать во внутренних или внешних электрических неполадках. Первым делом нужно убедиться в качестве электроэнергии, поступающей на клеммы двигателя – напряжение должно соответствовать номинальному значению. Также следует проверить контактные площадки контакторов пускателя – при больших токах они могут подгорать, что будет вызывать падение напряжения на них. В изношенных контакторах может происходить дребезг контактов, что приводит к прерыванию тока.

При необходимости следует проверить обмотки двигателя на пробой и обрыв.

При измерениях на пробой следует сопоставить фактическое сопротивление, с сопротивлением, указанным в документации к электродвигателю. Оценка качества изоляции может проводиться по таблице 2.

Обрыв фаз, как правило, связан с обрывом жилы питающего кабеля, сгоревшим предохранителем, или отключением автомата в одной из линий, или обрывом самой линии. При соединении обмоток двигателя звездой напряжение в двух фазах делится поровну и составляет половину линейного  $U_{\phi} = U_{л} / 2$ , а в третьей отсутствует. Такие режимы приводят к повышенному энергопотреблению из сети, перегреву обмоток статора. При обрыве в одной фазе статора при соединении обмоток треугольником двигатель устойчиво работает при номинальной нагрузке на валу, с частотой вращения, меньше номинальной, ток в одной фазе статора увеличен.

Таблица 2 Качество сопротивления изоляции электродвигателей

Сопротивление изоляции	Уровень изоляции
Менее 2 МОм	Очень плохая
2-5 МОм	Плохая
5-10 МОм	Ниже нормы
10-50 МОм	Хорошая
50-100 МОм	Очень хорошая
Более 100 МОм	отличная

После сбора информации, проведения измерений следует приступить к оценке основных параметров в области энергосбережения.

#### 8.4 Анализ основных характеристик электродвигателей

Наибольший потенциал энергосбережения для электродвигателей можно классифицировать по следующим направлениям:

1. Устаревшие электродвигатели;
2. Неисправные электродвигатели;
3. Недогруженные электродвигатели;

4. Часто перезапускаемые электродвигатели (только для узкого класса оборудования, не влияющего на основные технологические процессы) данные двигатели имеют высокий коэффициент дискретизации пусковых режимов двигателя.

Наибольший потенциал энергосбережения имеют те электродвигатели, которые подпадают под все приведённые выше критерии, соответственно обладают высоким потенциалом энергосбережения, а также низкой надёжностью и высокими затратами на эксплуатацию и обслуживание. В ходе проведения экспресс-аудита именно таким электродвигателям должно уделяться максимальное внимание.

Для предварительного анализа можно использовать данные опросного листа, заполненного заказчиком.

Электромеханические системы с электродвигателями (ЭД) являются крупнейшими потребителями электроэнергии в промышленном секторе. Переход к применению энергоэффективных ЭД позволяет: повысить коэффициент полезного действия (КПД) ЭД на 1-10 %; увеличить надёжность их работы; уменьшить время простоев и затраты на техническое обслуживание; повысить устойчивость ЭД к тепловым нагрузкам; улучшить перегрузочную способность; повысить устойчивость ЭД к различным нарушениям эксплуатационных условий: пониженному и повышенному напряжению, искажению

формы волн (гармоникам), несбалансированности фаз и т.д.; увеличить коэффициент мощности; снизить уровень шума.

В результате оптимизации только КПД ЭД можно значительно снизить эксплуатационные расходы. Тщательная оценка любого действия влияет на общую производительность системы.

### **Устаревшие электродвигатели/ с низким классом энергоэффективности**

К устаревшим электродвигателям следует отнести электродвигатели с изначально низким значением КПД, подобные двигатели произведены при использовании устаревших технологий и обычно имеют год производства ранее 1980 г. Значения КПД для электродвигателей с низким значением КПД соответствуют классу EFF3 классификации эффективности Европейской комиссии от 1998 года, в настоящее время не рекомендованы к использованию ввиду их низкой экономичности. В процессе эксплуатации и ремонта происходит снижение эффективности работы электродвигателей по сравнению с паспортными значениями. Поэтому к электродвигателям разных возрастов следует применить поправочные коэффициенты в сторону снижения КПД: 5 - 10 лет -5%, свыше 10 лет до 20 лет – 10%. К электродвигателям, прошедшим капитальный ремонт, установить поправочные коэффициенты в сторону снижения КПД: 1-й ремонт – 5%, 2-й ремонт –10%.

### **Энергоэффективные электродвигатели**

Ниже приведены требования по КПД электродвигателей в соответствии с требованиями по энергоэффективности технологических процессов, оборудования, в том числе электрооборудования. Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 407 «Об установлении требований по энергоэффективности технологических процессов, оборудования, в том числе электрооборудования».

Табл. 2 Усреднённые коэффициенты полезного действия (для 2, 4 и 6 полюсного исполнения) электродвигателя, (%)

№ п/п	Номинальная мощность, киловатт	IE1-стандартный класс	IE2 –энергоэфф. класс
1	0,75	72,1	79,6
2	1,1	75,0	81,4
3	1,5	77,2	84,3
4	2,2	79,7	85,5
5	3	81,5	84,6
6	4	83,1	86,6
7	5,5	84,7	86,7
8	7,5	86,0	88,7
9	11	87,6	89,8
10	15	88,7	90,6
11	18,5	89,3	91,2
12	22	89,9	91,6
13	30	90,7	92,3
14	37	91,2	92,7
15	45	91,7	93,1

№ п/п	Номинальная мощность, киловатт	IE1-стандартный класс	IE2 –энергоэфф. класс
16	55	92,1	93,5
17	75	92,7	94,0
18	90	93,0	94,2
19	110	93,3	94,5
20	132	93,5	94,7
21	160	93,8	94,9
22	От 200 до 375	94,0	95,1

\*с 2020 года все устанавливаемые двигатели с номинальной мощностью от 0,75 до 375 киловатт, должны быть классом не ниже IE2.

Представленные усреднённые значения КПД соответствуют классам энергоэффективности международного стандарта IEC60034-30:2008 (основаны на методах испытаний, установленных стандартом IEC60034-2-1:2007).

### **Неисправные электродвигатели**

К неисправным электродвигателям следует отнести моторы, механические потери которых превышают их номинальные значения, соответственно, приводят к нерациональным потерям электроэнергии.

### **Недогруженные электродвигатели**

Как было показано в разделе 8.3 при недогрузке электродвигателя существенно снижается его КПД. Для недогруженных электродвигателей следует рассмотреть возможность замены на электродвигатели меньшей мощности или установку ЧРП. При эксплуатации стандартных двигателей и двигателей с пониженным КПД при низкой нагрузке не удастся обеспечить высокий КПД. Для энергоэффективного электродвигателя КПД указывается при 100 %-ной и 75 %-ной нагрузке, у энергоэффективного электродвигателя оба значения почти совпадают.

Например, при замене двигателя мощностью 75 кВт, работающего с 40%-ной нагрузкой по отношению к номинальной, на меньший двигатель 30 кВт, для которого данная нагрузка будет 100%-ной, годовая экономия составит

$$P_3 = 75 \cdot 0,4 \cdot 17 \cdot (1 - 0,85) \cdot 7000 = 535,5 \text{ тыс. тг,}$$

где 17 – стоимость электроэнергии, тенге/кВт·ч;

7000 – число часов в году;

0,85 – коэффициент снижения КПД электродвигателя (Рис. 3).

Коэффициент снижения КПД электродвигателя в зависимости от загрузки с достаточной для инженерных расчетов точностью можно описать выражением:

$$K_{\eta} = 1,042 \cdot Q^3 - 2,696 \cdot Q^2 + 2,42 \cdot Q + 0,236,$$

где  $Q$  - коэффициент загрузки двигателя.

**Часто перезапускаемые электродвигатели (только для узкого класса оборудования, не влияющего на основные технологические процессы)**

Подобные двигатели имеют существенный расход электроэнергии на пусковые процессы, при которых совершаемую работу приходится тратить на инерционные характеристики приводных механизмов, кроме того следует учесть, что при низких значениях оборотов двигателя он работает в областях с более низким значением КПД, которых следует избегать.

## 8.5 Определение параметров работы

### По приложению 1

После выполнения измерений необходимо определить все основные измеренные параметры. Результаты выполненных измерений заполняются в приложение 1.

- 1)  $\cos\varphi$  – указывается среднее значение косинуса по результатам измерения анализатором качества электроэнергии;
- 2)  $N$  – средняя потребляемая мощность. Определяется согласно средних значений измеренных параметров анализатором качества электроэнергии за весь период пока двигатель находился в работе;
- 3)  $\Delta N$  – размах потребляемой мощности. Определяется по следующей формуле:

$$\Delta N = N_{\text{макс}} - N_{\text{мин}}$$

где

$N_{\text{макс}}$  - максимальная мощность электродвигателя за время работы согласно выполненных измерений, кВт;

$N_{\text{мин}}$  - минимальная мощность электродвигателя за время работы согласно выполненных измерений, кВт.

- 4) Число пусков двигателя в час. В случае, если данное число меньше 1 – в таблице указывается значение «0»;
- 5) Температура подшипников и поверхности статора двигателя. Определяется согласно выполненных измерений тепловизором, кроме значений температуры поверхности важно зафиксировать температуру окружающей среды – она в дальнейшем может пригодиться для определения параметров КПД.

### По приложению 2

Для определения основных параметров эффективности работы электродвигателей можно воспользоваться следующими показателями, которые следует определять для каждого рассматриваемого электродвигателя. Результаты оформляются согласно Приложению 3 Фактические параметры работы электродвигателей.

1) Доля мощности электродвигателя в суммарной установленной мощности всех электродвигателей обследуемого объекта. Чем выше коэффициент, тем выше значимость предлагаемых мероприятий:

$$\delta N = \frac{N_i}{\sum N_i}$$

где:

$N_i$  - номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$\sum N_i$  - суммарная установленная мощность всех обследуемых электродвигателей, кВт.

2) Коэффициент дискретизации работы. Коэффициент отражает частоту включения электродвигателя и связанный с этим перерасход потребления электроэнергии. Определяется по следующей формуле:

$$d_i = \frac{B}{3600} * n_{\text{пуск}};$$

где:

$B = \tau_{\text{пуск}} * \delta I_{\text{пуск}}$  - это произведение двух параметров  $\tau_{\text{пуск}}$  - длительность пусковых токов (с) и кратности увеличения пусковых токов  $\delta I_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}}$ , при отсутствии данных допускается использование значения 90 (шестикратное повышение в течении 15 секунд);

$n_{\text{пуск}}$  - количество пусков электродвигателя в час.

3) Размах изменения нагрузки двигателя показывает насколько изменяется потребляемая мощность двигателем при его работе, при высоком значении данного параметра эффективность применения частотного привода будет возрастать, определить его можно по следующей формуле:

$$\delta_N = \frac{(N_{\text{макс}} - N_{\text{мин}})}{N_{\text{ср}}}$$

где:

$N_{\text{макс}}$  - максимальная мощность электродвигателя, кВт;

$N_{\text{мин}}$  - минимальная мощность электродвигателя, кВт;

$N_{\text{ср}}$  - средняя мощность электродвигателя, кВт:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\mathcal{E}_d}{n}$$

где:

$n$  - время работы двигателя в год, ч;

$\mathcal{E}_d$  - потребление электроэнергии электродвигателем за год.

В случае отсутствия данных по потреблению электроэнергии за год необходимо произвести измерение потребления электроэнергии в течение времени характерного для режимов работы электродвигателя.

4) Изменение коэффициента мощности двигателя. Позволяет оценить значительность потерь, связанных с низкими значениями косинуса  $\phi$ , гармонических составляющих и прочих потерь, связанных с показателями качества электроснабжения:

$$\phi = \frac{\text{Фактический } \cos\phi}{\text{Номинальный } \cos\phi}$$

5) Коэффициент загрузки двигателя, средний коэффициент определяющий уровень использования двигателя по его мощности:

$$Q = \frac{N_{\text{ср}}}{N_i};$$

где:

$N_{\text{ср}}$  – средняя потребляемая мощность двигателя, кВт\*ч;

$N_i$  – установленная номинальная мощность двигателя.

6) Несимметрия напряжения обмоток:

$$\Delta U = \left( \frac{u_A + u_B + u_C}{3} - U_{(ABC)_{\text{мин}}} \right) * \frac{1}{U_{\text{ном}}};$$

где:

$u_A, u_B, u_C$  – фазное напряжение двигателя согласно результатов измерения, В;

$U_{(ABC)_{\text{мин}}}$  - минимальное фазное напряжение, участвующее в числителе первой части уравнения (обуславливает опорное значение относительно которого оценивается отклонение напряжения);

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение питания двигателя (380 В, 220 В, 6000 В и т.д.)

7) Использование двигателя, коэффициент характеризующий работу электродвигателя в году:

$$i = \frac{n}{8760}$$

8) Снижение КПД электродвигателя при превышении температуры нагрева подшипников и корпуса выше нормативной:

$$\Delta \eta = (100 - \Delta \eta_{10} * (t_{\text{дв}} - t_{\text{норм}})) / 100$$

где

$\Delta \eta_{10}$  - снижение КПД электродвигателя при превышении температуры корпуса на 10 °С (в среднем снижение КПД составляет 1,5 %);

$t_{\text{дв}}$  - фактическая температура статора двигателя;

$t_{\text{норм}}$  - нормативное расчетное значение температуры статора электродвигателя (для оценочных расчетов можно принять 100 °С).

9) Показатель снижения КПД, связанный с длительностью использования электродвигателя:

$$\mu = \frac{\text{год проведения обследования} - \text{год установки двигателя}}{20}$$

Двигатели, имеющие срок эксплуатации более 20 лет имеют более низкие показатели КПД, при показателе  $\mu$  больше 1 замена двигателя становится финансово рентабельным мероприятием.

При сроке службы электродвигателя меньше 20 лет значение  $\mu$  следует принять единице.

## 8.6 Анализ эффективности типовых мероприятий

Главная задача любой экспресс работы – это выявление основных моментов и их проработка, соответственно при обследовании необходимо выявить основные направления, по которым будет проводиться дальнейшая проработка, чтобы не тратить время на направления, которые в общем не дадут существенного снижения потребления ТЭР и финансовую эффективность.

После проведения определения параметров работы электродвигателей следует провести предварительный анализ применимости типовых мероприятий по энергоэффективности, перечень которых приведён далее:

1. Установка устройств плавного пуска (для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором);
2. Установка ЧРП;
3. Замена двигателя.

Далее, исходя из имеющейся проанализированной информации и уточнённых сведений по электродвигателям, производится анализ возможности и применимости всех мероприятий для каждого электродвигателя по приведённому далее способу комплексной оценки.

### Установка устройств плавного пуска (для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором)

Для оценки возможности применения данного мероприятия необходимо знать, какие потери в данный момент связаны с режимом работы, включающим частые перезапуски, и как быстро окупится подобное мероприятие.

Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$K_{упп} = d_i * N * Q / \varphi,$$

где  $K_{упп}$  – коэффициент актуальности применения устройств плавного пуска.

Остальные коэффициенты используются согласно Приложение 3 Фактические параметры работы электродвигателей. Результаты данной оценки указываются в соответствующей графе Приложения 3 Возможность применения мероприятий.

Например для электродвигателя мощностью 30 кВт, при коэффициенте загрузки двигателя 0,8 и значении  $\varphi = 0,89$ , при количестве пусков в течении часа  $n_{пуск} = 5$  и значении  $B = 90$  получим  $d_i$  равно 0,125. Коэффициент актуальности применения устройств плавного пуска тогда будет равен

$$K_{упп} = d_i * N * Q / \varphi = 0,125 * 30 * 0,8 / 0,89 = 3,37 \text{ кВт.}$$

Циклическое управление является интересной альтернативой частотно-регулируемому приводу, несмотря на утрату гибкости при регулировании расхода. Другими словами, устройство плавного пуска считается подходящей и конкурентоспособной технологией, защищающей асинхронный электродвигатель от электрических перегрузок, механических ударов и вибрации при пуске, а также от гидравлических ударов в трубопроводной системе, возникающих при останове насоса. Кроме того, электродвигатель эксплуатируется в оптимальной рабочей точке и

выключается на остальное время. В системах водоснабжения и водоотведения, где электродвигатель работает значительное время на холостом ходу коэффициент актуальности применения устройств плавного пуска может быть оценен по выражению

$$K_{упп} = \tau_{откл} * N_{хх}$$

Например, в системе водоснабжения установлен электродвигатель мощностью 30 кВт, при отсутствии водопотребления мощность электродвигателя обеспечивающего работу насоса на холостом ходу не превышает 10 кВт, суммарное время работы на холостом ходу в течение часа 20 минут. Коэффициент актуальности применения устройства плавного пуска тогда будет равен

$$K_{упп} = \tau_{откл} * N_{хх} = 20/60 * 10 = 3,33 \text{ кВт}$$

### **Рекомендации по использованию средств УПП:**

Самый важный аспект установки УПП - качество исполнения. Для исключения нерационального расхода электроэнергии УПП должны обладать встроенными шунтирующими (байпасными) контактами. На протяжении всего цикла разгона уровень тока должен поддерживаться на минимальном уровне во всех трех фазах. Устройством должно обеспечиваться непрерывное напряжение, позволяя избежать пиковых токов и моментов, снижая общую нагрузку на сеть, сохраняется ресурс всего задействованного оборудования.

### **Ограничения по применимости мероприятия:**

Основная область применения УПП – механизмы с большой инерционностью и насосной (вентиляторной) характеристикой нагрузки. На применимость УПП оказывает существенное влияние величина и характер изменения нагрузки на валу двигателя. Так, если большая статическая нагрузка на валу двигателя присутствует во всем диапазоне скоростей вращения, а не только при номинальной скорости, и/или если нагрузка при разгоне двигателя имеет пульсирующий характер, то осуществить плавный пуск с использованием УПП практически невозможно. Наиболее типичный пример подобной нагрузки – шаровые мельницы. Еще одно ограничение на применимость УПП накладывает значение момента инерции механизма. В случае слишком большого момента инерции пуск двигателя становится затяжным (более 15 секунд); при этом ток  $2,5...3 I_{ном}$  протекает в течение длительного времени, что может привести к перегреву как двигателя, так и силовой части самого УПП. Длительный пуск посредством УПП является бесполезным по энергетическим, тепловым и технологическим параметрам. УПП неприменимы в тех случаях, где требуется регулирование скорости вращения двигателя или технологического параметра (например, давления в трубопроводе). Для таких приложений оптимальным решением является использование преобразователей частоты.

### **Установка ЧРП**

Для оценки возможности применения данного мероприятия необходимо знать какие потери в данный момент связаны с режимом работы, включающим частые перезапуски, и/или низкую загрузку двигателя, а также размах изменения потребляемой мощности и как быстро окупится подобное мероприятие.

Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$K_{\text{ЧРП}} = N * (1 - Q) / K_{\text{н}}$$

Где  $K_{\text{ЧРП}}$  – коэффициент актуальности применения частотного регулирования.

Остальные коэффициенты используются согласно Приложение 3 Фактические параметры работы электродвигателей. Результаты данной оценки указываются в соответствующей графе Приложение 3 Возможность применения мероприятий.

Например, для электродвигателя мощностью 30 кВт, при коэффициенте загрузки двигателя 0,7 и коэффициенте снижения КПД электродвигателя  $K_{\text{н}} = 0,966$  коэффициент актуальности применения ЧРП будет равен

$$K_{\text{ЧРП}} = N * (1 - Q) / K_{\text{н}} = 30 * (1 - 0,7) / 0,966 = 9,31 \text{ кВт}$$

### **Ограничения по применимости мероприятия:**

Для двигателей без соответствующей маркировки о применимости частотного регулирования в случае снижения рабочей частоты ниже 30 Гц применение ЧРП невозможно т.к. это может повлечь преждевременный износ подшипников, кроме того работа электродвигателей на пониженной частоте приводит к повышенному тепловыделению и повышению температуры обмоток, что резко сократит срок службы электродвигателей с низким классом изоляции обмоток (см. раздел 8.3). Кроме того, у ряда приводных нагнетателей и двигателей (компрессоров, мощных вентиляторов и отдельных типов насосов) продолжительная работа в определенных диапазонах частот приводит к появлению интенсивных вибраций и последующему полному или частичному разрушению агрегата.

### **Замена двигателя**

Для оценки возможности применения данного мероприятия необходимо знать какие потери в данный момент связаны с номинальными и фактическими параметрами двигателя и как быстро окупится подобное мероприятие.

На замену электродвигателя могут повлиять два основных фактора – его загрузка и его КПД. Если коэффициент нагрузки электродвигателя менее 45 %, то замена электродвигателя на менее мощный, очевидна. Коэффициент актуальности замены электродвигателя при его недогрузке может быть определен

$$K_3 = N * Q * (1 - K_{\text{н}}),$$

где

$K_{\text{н}}$  - коэффициент снижения КПД электродвигателя в зависимости от загрузки;

$N$  – мощность электродвигателя, кВт;

Например, для двигателя 75 кВт при загрузке 40 % коэффициент актуальности замены электродвигателя на двигатель мощностью 30 кВт составит

$$K_3 = N \cdot Q \cdot (1 - K_M) = 75 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,85) = 4,5 \text{ кВт}$$

При замене старого электродвигателя на новый коэффициент актуальности замены электродвигателя может быть оценен

$$K_3 = (\eta_{\text{нов}} - \eta) / 100 + (\Delta\eta + \Delta U + K_{\text{эксп}} \cdot \mu) \cdot N$$

где:

$\eta_{\text{нов}}$  – Значение КПД предлагаемого двигателя, определяется согласно Табл. 2.

$\eta$  – КПД паспортное установленного двигателя, %;

$\Delta\eta$  – снижение КПД электродвигателя при превышении температуры нагрева подшипников и корпуса выше нормативно;

$K_{\text{эксп}} \cdot \mu$  – снижение эффективности двигателя, связанное с его долгим сроком эксплуатации и проведенными капитальными ремонтами;

$\Delta U$  – потери, связанные с несимметрией обмоток двигателя;

$N$  – мощность электродвигателя, кВт;

Остальные коэффициенты используются согласно Приложение 3 Фактические параметры работы электродвигателей. Результаты данной оценки указываются в соответствующей графе Приложение 4 Возможность применения мероприятий.

Например, при замене старого электродвигателя мощностью 30 кВт на новый той же мощностью коэффициент актуальности замены электродвигателя при  $\eta_{\text{нов}} = 92,3$ ,  $\eta = 90,7$ ,  $\Delta\eta = 0,015$ ,  $\Delta U = 0,05$ ,  $K_{\text{эксп}} \cdot \mu = 0,15$  может составить

$$K_3 = (\eta_{\text{нов}} - \eta) / 100 + (\Delta\eta + \Delta U + K_{\text{эксп}} \cdot \mu) \cdot N =$$

$$((92,3 - 90,7) / 100 + 0,015 + 0,05 + 0,15 \cdot 1) \cdot 30 = 6,93 \text{ кВт}$$

### **Ограничения по применимости мероприятия:**

Замена электродвигателя на менее мощный, даже если его средняя мощность значительно ниже номинальной, невозможна, если максимальная нагрузка двигателя соответствует номинальной или близкой к номинальной, в этом случае следует рассмотреть возможность применения ЧРП.

## **8.7 Определение финансовой эффективности и ориентировочных затрат**

Целью выполнения настоящего этапа определение финансовой привлекательности всех предложенных типовых мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности.

### **8.7.1 Определение потенциала энергосбережения**

Результаты выполнения расчётов, описанных в данном разделе, заполняются в соответствующие графы 5 и 6 Приложение 4 Ранжирование мероприятий по финансовой привлекательности.

## Установка плавного пуска

Потенциал снижения потребления электроэнергии при значительных затратах на пусковые режимы работы, учитывая, что средние значения пускового тока превышают номинальные в 6 раз определяются по следующей формуле:

$$P_{э\text{нат}} = K_{упп} * n$$

где:

$P_{э\text{нат}}$  – потенциал энергосбережения, кВт\*ч в год;

$n$  – время работы в год, ч;

Далее необходимо определить потенциал энергосбережения в денежном эквиваленте, для этого просто умножаем тарифную стоимость электроэнергии на потенциал энергосбережения в натуральном выражении, формула которого приведена выше.

Например для электродвигателя мощностью 30 кВт, при  $K_{упп} = 3,37$  кВт, при времени работы электродвигателя 7000 часов получим

$$P_{э\text{нат}} = K_{упп} * n = 3,37 * 7000 = 23590 \text{ кВтч}$$

или в денежном выражении при тарифе 17 тенге/кВт\*ч 401 тыс. тг.

Для электродвигателя мощностью 30 кВт в системе водоснабжения  $K_{упп} = 3,33$  кВт. При работе двигателя в течении года 7000 часов, перерасход электроэнергии составит порядка 23310 кВтч в год. При стоимости электроэнергии 17 тенге/кВт\*ч дополнительные финансовые расходы составят 396,3 тыс. тг;

## Установка ЧРП

В настоящей методике это самый сложный раздел, установить объём сокращения потребления электроэнергии при использовании ЧРП определить крайне сложно т.к. изменение момента на валу двигателя в зависимости от частоты вращения приводного вала для каждого типа оборудования будут сильно отличаться. Однако для всех асинхронных двигателей существует следующая закономерность – снижение частоты кубически снижает потребляемую мощность (изменение частоты = изменение мощности<sup>3</sup>). При этом производительность машин может изменяться по различным законам и принципам, но в целом будет изменяться кратно изменению частоты вращения (изменение частоты = изменение производительности). Следовательно, если рассматриваемый двигатель приводит в движение рабочий орган какой-то машины, которая в результате проведения измерений или наблюдений постоянно меняет свою потребляемую мощность (изменяется производительность) то для такой установки будет актуально использование изменение частоты вращения, т.к. без использования ЧРП изменение момента на валу будет изменяться линейно потребляемой мощности (изменение производительности = изменение потребляемой мощности). Исходя из приведённой выше информации, мы можем представить следующую зависимость изменения потребляемой мощности при установке ЧРП при сохранении производительности:

$$P_{\text{нат}} = (\Delta N - \sqrt[3]{\Delta N}) * n$$

где:

$P_{\text{нат}}$  – потенциал энергосбережения, кВт\*ч/год;

$\Delta N$  – принимается согласно измерений (приложение 1), кВт;

$n$  – время работы в год, ч;

Далее необходимо определить потенциал энергосбережения в денежном эквиваленте, для этого просто умножаем тарифную стоимость электроэнергии на потенциал энергосбережения в натуральном выражении, формула которого приведена выше. Следует учитывать, что данная методика даёт общий взгляд на определение потенциала энергосбережения и для установки ЧРП уровень неопределённости может достигать 50%, соответственно, для качественно определения потенциала энергосбережения следует проводить ТЭО для каждой конкретной установки, учитывая графики параметров работы рассматриваемого оборудования и характеристики режимов эксплуатации и т.д.

### **Замена электродвигателей**

Есть две причины для замены двигателей, что приведет к пассивному энергосбережению:

- 1) Использование преимуществ современных высокоэффективных двигателей.
- 2) Недопущение превышения достаточной мощности двигателя.

В зависимости от мощности, коэффициент полезного действия современных высокоэффективных двигателей выше, чем у обычных на 1-10%. Двигатели, работающие достаточно много, должны стать первыми в очередь на замену более современными, тем более, если требуется перемотка. Перемотанные двигатели, как правило, теряют 3-4% КПД по сравнению с изначальным значением. Однако, если двигатель работает достаточно мало (менее 3000 часов в год), его замена может быть экономически нецелесообразна, особенно, если он еще не выработал свой ресурс и ему не требуется перемотка. Также при замене двигателя важно убедиться, что рабочие характеристики (такие как скорость вращения) нового двигателя соответствуют характеристикам заменяемого.

Электродвигатели достигают наивысшего КПД, если они нагружены на 60-100% от максимально возможной мощности. При работе с нагрузкой менее 50% КПД электродвигателя резко падает.

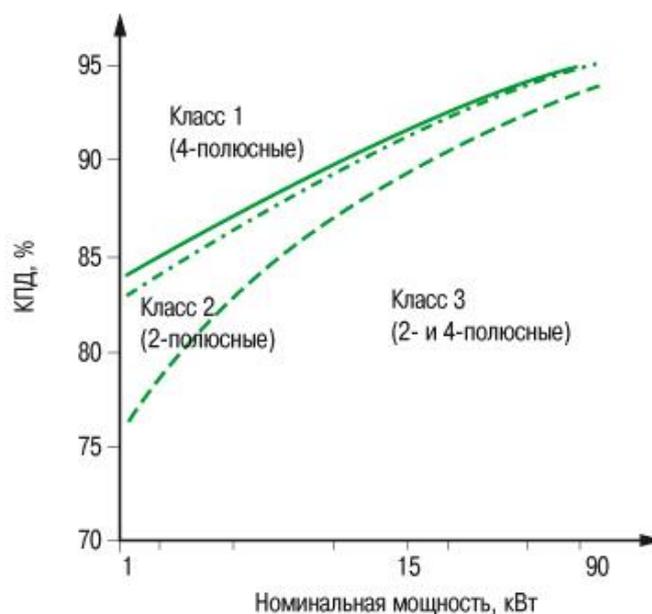


Рис. 4 Определение класса КПД для электродвигателей низкого напряжения, установленного Европейской комиссией и Европейским комитетом производителей электроустановок и силовой электроники (СЕМЕР)

Так принято, что конструкторы обычно завышают необходимые параметры двигателей для обеспечения достаточного запаса прочности, чтобы устранить риск отказа оборудования при любых, даже маловероятных, условиях. Изучение указанной проблемы показало, что примерно в трети случаев применения электродвигателей, их характеристики значительно превышают необходимые и, как результат, эти двигатели работают с нагрузкой менее 50 % от номинальной. Средняя нагрузка на двигатели – 60%. Двигатели с избыточной мощностью не только неэффективны в процессе эксплуатации, но и стоят значительно дороже. Работа электродвигателя с мощностью, значительно меньше номинальной, также приводит к снижению коэффициента мощности, что может привести к дополнительным материальным затратам на оплату электроэнергии. Решение о замене двигателя должно учитывать приведенные выше факторы, не забывая о сроке эксплуатации мотора.

Для достижения максимального энергосбережения необходимо объединить приведенные доводы и производить замену двигателей современными высокоэффективными электродвигателями с правильно выбранной мощностью.

Замена незагруженного электродвигателя другим, меньшей мощности, должна быть рентабельной, т.е. способствовать уменьшению суммарных потерь активной мощности в энергосистеме (в ЭД и электросетях). При нагрузке ЭД в пределах 45-70 % номинальной мощности, их замена должна быть подтверждена уменьшением суммарных потерь.

Потери двигателей определяются по следующей формуле:

$$P_{э\text{наг}} = K_э * n$$

где:

$P_{э\text{наг}}$  – потенциал энергосбережения, кВт\*ч в год;

n – время работы двигателя в год, ч.

Далее необходимо определить потенциал энергосбережения в денежном эквиваленте, для этого просто умножаем тарифную стоимость электроэнергии на потенциал энергосбережения в натуральном выражении, формула которого приведена выше.

### 8.7.2 Определение уровня затрат

Это самый важный пункт любой работы по энергосбережению, ведь от затрат и зависит эффективность предлагаемых мер, соответственно при совсем низкой финансовой эффективности мероприятия внедрять не следует.

Самый верный способ определения уровня затрат на мероприятие - это запрос ценового предложения для каждого конкретного мероприятия у нескольких потенциальных поставщиков, при этом поставщики должны быть зарекомендовавшими себя на рынке компаниями с успешной историей для исключения всех возможных рисков, связанных с эксплуатацией оборудования.

Именно запрос ценовых предложений необходимо использовать за основу при определении уровня затрат на мероприятия.

Для проведения поверхностной оценки потенциала энергосбережения можно воспользоваться укрупнёнными данными, например, исходя из средней стоимости каждого установленного киловатта мощности оборудования можно провести ориентировочную оценку для каждого мероприятия и определить его принципиальный уровень затрат.

Далее приведены ориентировочные сведения о стоимости основного оборудования, необходимого для проведения основных расчётов. Ввиду наличия большого количества компаний, представленных на рынке нашей страны, с отечественной и зарубежной продукцией ориентировочные затраты представленные в Табл. ,Табл. и Табл. определены согласно средним ценовым предложениям для различных предприятий от разных компаний, присутствующих на рынке и могут значительно отличаться в зависимости от поставщика и условий поставки. Уровень стоимости актуален на 2018-2019 гг.

Табл. 3 Оценка стоимости электродвигателей

Стоимость 1 кВт установленной мощности электродвигателя, тыс. тг	1-5 кВт	5-15 кВт	15-200 кВт	200-800 кВт
	22	15	9	8

Табл. 4 Оценка стоимости ЧРП

Стоимость 1 кВт установленной мощности ЧРП, тыс. тг	5 кВт	15 кВт	45 кВт	110 кВт	500 кВт
	30	20	18	16	14

Табл. 5 Оценка стоимости УПП

Стоимость 1 кВт установленной мощности УПП, тыс. тг	15 кВт	45 кВт	110 кВт	300 кВт	500 кВт
	12	7,5	5	4	3

Предлагаемые на замену двигатели должны соответствовать классу энергоэффективности не ниже IE2.

### 8.7.3 Определение простого срока окупаемости

Минимальный уровень эффективности мероприятий по энергосбережению должен быть определён заказчиком энергетического экспресс-аудита, но при отсутствии данных требований необходимо рассматривать мероприятия со сроком окупаемости не более 5 лет, данную норму используют все западные инвестиционные фонды при глобальном рассмотрении финансовых проектов.

Простой срок окупаемости определяется согласно Приложению 5 Ранжирование мероприятий по финансовой привлекательности по следующей формуле:

$$Cp_o = \frac{P_m}{\Pi_3},$$

где  $Cp_o$  – простой срок окупаемости, лет;

$P_m$  – затраты на реализацию мероприятия, тыс. тг;

$\Pi_3$  – потенциал энергосбережения/экономия ежегодная при внедрении мероприятия в денежном эквиваленте, тыс. тг.

**Приложение 1 Опросный лист по электродвигателям (заполняется заказчиком)**

№ п/п	Наименование установки с электродвигателем	Уст. мощность, кВт	Годовое потребление электроэнергии, МВт*ч/тыс. тг	КПД двиг., %	Напряжение, В	Обороты, об/мин	Год выпуска	Время работы в год, ч
1	2	3	4	5 ( $\eta$ )	6	7 (n)	9	10 (n)
1								
2								
3								

**Приложение 2 Измеренные параметры работы электродвигателя**

№ п/п	Наименование установки с электродвигателем	$\cos f$	Средняя потребляемая мощность, кВт	Размах потребляемой мощности, кВт <sup>1)</sup>	Число пусков двигателя в час	Температура подшипников и корпуса двигателя t <sup>0</sup> C
1	2	3	4 (N)	5 ( $\Delta N$ )	6 (v)	7
1						
2						
3						

1) - Размах потребляемой мощности определяется согласно результатам измерения анализатором качества электроэнергии и представляет собой разницу между максимальным и минимальными значениями потребляемой мощности двигателем.

Примечание:

При сборе данных следует определить тарифную стоимость электроэнергии – определяется согласно суммарных затрат на поставку электроэнергии относительно общего количества потреблённой электроэнергии за последние 6 месяцев (используется для определения финансовой эффективности).

### Приложение 3 Фактические параметры работы электродвигателей

№ п/п	Наименование установки, с электродвигателем	Доля мощности электродвигателя (0-1)	коэффициент дискретизации пусковых режимов двигателя (0-1)	Размах изменения нагрузки двигателя (0-1)	Коэффициент мощности двигателя (0-1)	Загрузка двигателя (0-1)	Использование двигателя (0-1)	Превышение нагрева подшипников и корпуса (0-1)	Давний срок изготовления двигателя
1	2	3 ( $\delta N$ )	4 ( $d_i$ )	5 ( $N_p$ )	6 ( $\varphi$ )	7 ( $Q$ )	8 ( $i$ )	9 ( $\Delta t$ )	10 ( $\mu$ )
1									
2									

### Приложение 4 Возможность применения мероприятий

№ п/п	Наименование двигателя	Установка устройств плавного пуска	Установка ЧРП	Замена двигателя
1	2	3 ( $K_{УПП}$ )	4 ( $K_{ЧРП}$ )	5 ( $K_3$ )
1				
2				

### Приложение 5 Ранжирование мероприятий по финансовой привлекательности

№ п/п	Наименование электродвигателя	Наименование мероприятия	Предполагаемый уровень затрат (коэффициент согласно таблицы)	Потенциал энергосбережения, кВт*ч		Простой срок окупаемости
				кВт*ч/год	тыс. тг	
1	2	3	4 ( $P_m$ )	5 ( $P_{\text{нат}}$ )	6 ( $P_{\text{тг}}$ )	7 ( $C_p$ )
1						
2						

(при отсутствии собственной, методика ранжирования согласно НТД РК или ENSI)

## Список литературы

1. Обзор государственной политики Республики Казахстан в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, Брюссель, 2014
2. KAZENERGY (2017). Национальный Энергетический Доклад.
3. Учебно-методическое руководство по энергетическому экспресс-аудиту/Под общей редакцией д.т.н. А. Новосельцева и д.т.н. Г. Таткеевой, Астана. 2014. –123 с.
4. Правила проведения энергоаудита Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 августа 2012 года №1115
5. Методика проведения энергоаудита котельных установок с установленной мощностью до 100 Гкал/час. Утв. приказом Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства регионального развития Республики Казахстан от 27.12.2013 г. № 394-нқ с 01.05.2014 г.
6. Щелоков Я.М. Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника. Екатеринбург: 2011. 150 с.
7. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / под ред. О.Л. Данилова и П.А. Костюченко. М.: ЗАО «Технопромстрой», 2006.
8. Данилов Н.И. Основы энергосбережения: учебник – 2-е изд., доп. и перераб. / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: Изд. дом «Автограф». 2010. 528 с.

## Приложение 6 Пример проведения экспресс аудита электродвигателей

В данном разделе будет рассмотрен пример проведения экспресс аудита с описанием основных процессов.

### Подготовительный этап

Начало работ по аудиту основывается на сборе исходной информации, в ходе которого заказчик должен определить область экспресс-аудита и определить перечень электродвигателей, по которым предполагается провести работу. Далее энергоаудитор совместно с заказчиком должны заполнить опросный лист, в котором приведены основные данные, необходимые для дальнейшего проведения работ.

Разберём пример проведения экспресс аудита одного предприятия, у которого в эксплуатации находятся различные двигатели.

К примеру, на предприятии используется следующий тип оборудования:

№ п/п	Наименование агрегата	Мощность установленного электродвигателя, кВт	Примечание
1.	Вентилятор осевой	15	
2.	Насос глубинный	7,5	На скважине
3.	Насос циркуляционный	5,5	Система отопления

4.	Компрессор	7	для накачки шин
5.	Компрессор	90	Винтовой для производственной линии
6.	Чиллер	95	

Энергоаудитор направляет предприятию опросный лист, который заполняет заказчик. На основании этой таблицы и будет строиться дальнейшая работа.

На основе собранных данных будет планироваться дальнейшая работа, но в любом случае все предлагаемые мероприятия по результатам экспресс аудита должны быть основаны на достоверных данных, проанализированных и обработанных энергоаудитором.

### Приложение 1

В данном примере заказчик определил 6 двигателей для проведения экспресс аудита. Заполненный опросный лист приведён далее.

№ п/п	Наименование установки с электродвигателем	Уст. мощность, кВт	Годовое потребление электроэнергии, МВт*ч/ тыс. тг	КПД двигателя, %	Номинальное напряжение питания двигателя, В	Год выпуска	Время работы в год, ч
1	2	3 (Ni)	4	5 (η)	6	7	8 (n)
1	Вентилятор осевой	15	88,01 / 898,46	85	380	1985	8760
2	Насос глубинный	7,5	5,10 / 35,94	82	380	1990	700,8
3	Насос питьевой воды	5,5	37,09 / 329 435,57	81	380	2006	8760
4	Компрессор	7	3,49 / 41,93	83	380	2003	876
5	Компрессор винтовой	90	544,87 / 6 538,46	94	380	2009	8760
6	Чиллер	95	165,97 / 1 991,59	93	380	2006	3066
7	ИТОГО	220	867,88 / 9 835,81				

Стоит отметить, что текущая тарифная стоимость электроэнергии для предприятия составляет 17 тенге/кВт\*ч.

По установленной мощности самыми значимыми являются компрессор и чиллер, но при этом суммарное потребление электроэнергии чиллером намного ниже так как он имеет сезонное использование – около 3-4 наиболее жарких месяцев в году. Наибольшее потребление имеет компрессор,

Для анализа дальнейших действий мы должны оценить стоимость самих двигателей относительно объёма потребляемой ими электроэнергии. Результат приведён далее:

№	Наименование	Годовое	Стоимость	Отношение	Примечание
---	--------------	---------	-----------	-----------	------------

п/п	установки с электродвигателем	потребление электроэнергии, МВт*ч/тыс. тг	двигателя, тыс. тг	стоимости и потребления	
1	Вентилятор осевой	88,01 / 898,46	225	3,99	Измерение
2	Насос глубинный	5,10 / 35,94	112,5	0,32	Неактуально
3	Насос питьевой воды	37,09 / 329 435,57	82,5	3,99	Измерение
4	Компрессор	3,49 / 41,93	105	0,40	Неактуально
5	Компрессор винтовой	544,87 / 6 538,46	810	8,07	Измерение
6	Чиллер	165,97 / 1 991,59	855	2,33	Неактуально

Стоимость электроэнергии определена согласно Табл. . Как видно из представленной выше таблицы – наиболее явным местом проведения работ по экспресс аудиту является Компрессор винтовой, его потребляемая за 1 год электроэнергия в 8 раз превышает его собственную стоимость, соответственно любое отклонение в его работе может привести к значительным нерациональным затратам на электроэнергию. Для нескольких других двигателей внедрение энергосберегающих мероприятий является неактуальной задачей так как любое мероприятие будет окупаться значительно дольше 5 лет, что теряет всяческий интерес к их дальнейшему рассмотрению. В примечаниях указаны 3 самых актуальных двигателя, по которым и будут произведены измерения. Другие двигатели, не вошедшие в программу измерения анализатором качества электроэнергии могут быть подвержены визуальному и термографическому обследованию.

### **Измерительный этап**

Приступая к измерениям энергоаудитор должен определить требуемую длительность и интервал ведения регистрации параметров анализатором качества. Для двигателей, работающих в неизменном режиме могут быть измерены в течении нескольких часов, а двигатели, работа которых связана с суточными характеристиками должны измеряться не менее одних суток. Интервал регистрации параметров может составлять от нескольких секунд для часовых измерений до 15 минутного интервала для суточного измерения.

Результаты выполнения измерительного этапа оформляются в приложении 1 методики.

### **Приложение 2**

После выполнения измерений производится их предварительная обработка и последующее заполнение приложения 1 методики.

### **Примеры обработки измерений для электродвигателя компрессора**

Далее на рисунках приведены результаты обработки измерений для каждого двигателя, вошедшего в программу измерений экспресс-аудита.



Рис. 5 Пример обработки результатов измерения двигателя компрессора 90 кВт

Как видно из Рис. 5 размах потребляемой мощности для графы 11 определён из разности максимальных и минимальных значений потребляемой мощности работающего двигателя.

Среднее значение потребляемой мощности определяется математически, на графике среднее значение потребляемой мощности выделено зелёной линией.

Далее на термограмме приведены результаты термограммы двигателя, по которой определена степень нагрева подшипников двигателя.

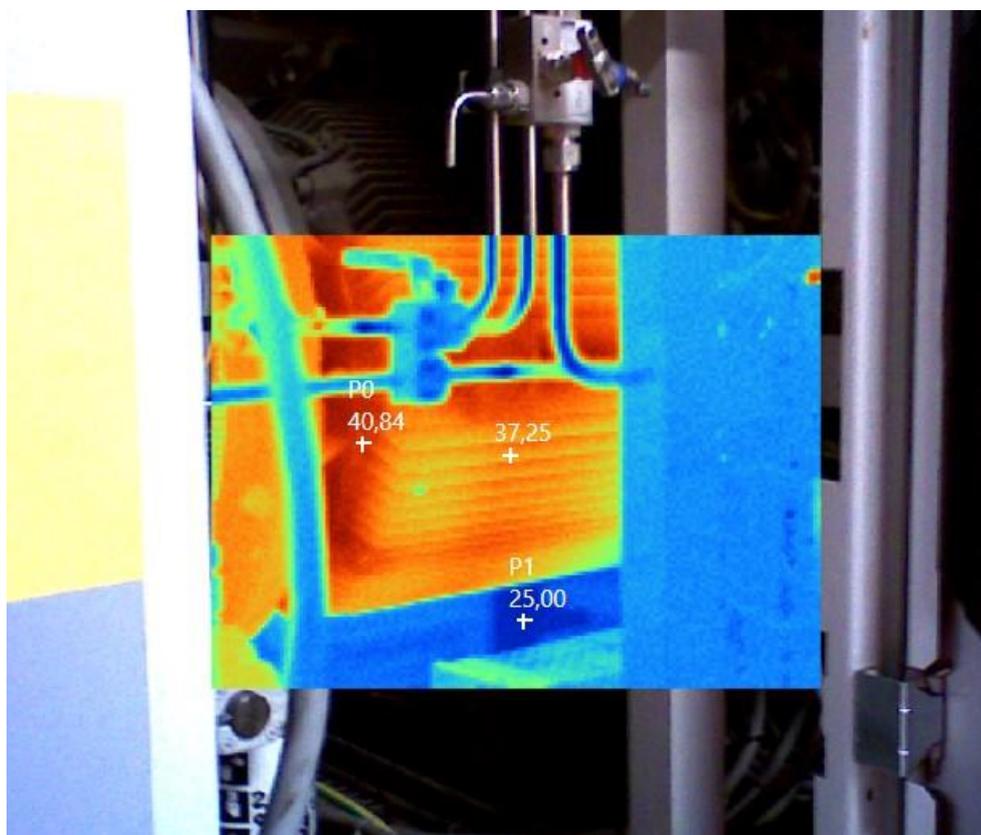


Рис. 6 Результаты тепловизионного обследования

Далее в соответствии с разделом 8 методики мы заполняем приложение 1.

№ п/п	Наименование установки с электродвигателем	cos φ	Средняя потребляемая мощность, кВт	Размах потребляемой мощности, кВт <sup>1)</sup>	Число пусков двигателя в час	Напряжение фаз двигателя, В (А/В/С)			Температура, (t <sup>0</sup> С)		
									8 (фон)	9 (подш.)	10 (стат.)
1	2	3	4 (N)	5 (ΔN)	6 (v)	7			8 (фон)	9 (подш.)	10 (стат.)
1	Вентилятор осевой	0,9	10,05	7,9	1	378	370	385	30	80	57
2	Насос питьевой воды	0,9	4,23	2,6	3	385	380	384	30	37	34
3	Компрессор винтовой	0,86	62,20	38	1	375	380	385	30	40	37

### Аналитический этап

На аналитическом этапе определяются параметры согласно приложения 2 методики. Далее приведён пример определения данных параметров для рассматриваемых двигателей.

### Приложение 3

Заполнение данного приложения полностью основано на результатах оформления приложения 1 и выполненных измерениях.

#### Определение параметров для двигателя компрессора.

№ п/п	Наименование установки, с электродвигателем	Доля установленной мощности	Коэффициент дискретизации пусковых режимов двигателя	Размах изменения нагрузки двигателя	Коэффициент мощности и двигателя	Загрузка двигателя	Несимметрия напряжения обмоток	Превышение нагрева подшипников и корпуса	Давний срок изготовления двигателя
		(0-1)	(0-1)	(0-1)	(0-1)				
1	2	3 (δN)	4 (d <sub>i</sub> )	5 (δ <sub>N</sub> )	6 (φ)	7 (Q)	8 (ΔU)	8 (ΔT <sub>ш</sub> )	9 (K <sub>эксп</sub> · μ)
1	Вентилятор осевой	0,07	0,025	0,79	0,94	0,67	0,0202	0	0,2
3	Насос питьевой воды	0,03	0,075	0,61	0,94	0,77	0,0079	0	0,1
5	Компрессор винтовой	0,41	0,025	0,61	0,9	0,69	0,0132	0	0,1

### Приложение 4

Главная задача – определить где какое мероприятие будет наиболее актуальным.

№ п/п	Наименование двигателя	Установка устройств плавного пуска	Установка ЧРП	Замена двигателя
1	2	3 (K <sub>упп</sub> )	4 (K <sub>чрп</sub> )	5 (K <sub>з</sub> )
1	Вентилятор осевой	0,27	5,21	3,60
3	Насос питьевой воды	0,3375	1,32	0,70345
5	Компрессор винтовой	1,73	29,06	11,99

Как видно из таблицы – для вентилятора осевого наибольший потенциал энергосбережения определён при установке ЧРП и замене двигателя, для компрессора винтового наибольший потенциал при установке ЧРП, другие мероприятия имеют меньший потенциал. Для каждого объекта аудита возможно применение только одного мероприятия, соответственно оно должно иметь максимальный потенциал энергосбережения.

## Приложение 5

После выбора мероприятий для обследованных двигателей необходимо определить стоимость затрат и сроки окупаемости.

№ п/п	Наименование электродвигателя	Наименование мероприятия	Предполагаемый уровень затрат (с учетом СМР), тыс. тг	Потенциал энергосбережения, кВт*ч		Простой срок окупаемости
				кВт*ч/год	тыс. тг	
1	2	3	4 (P <sub>м</sub> )	5 (П <sub>нат</sub> )	6 (П <sub>эт</sub> )	7 (C <sub>рo</sub> )
1	Вентилятор осевой	Замена двигателя	450	31 562,28	536,55	0,839
2	Насос питьевой воды	Установка ЧРП	132	1939,30813	32,96	4,004
3	Компрессорвинтовой	Установка ЧРП	3 240,00	227 654,68	3 870,13	0,837

Как видно из таблицы выше наибольший эффект имеет мероприятие по установке ЧРП на компрессор – оно является самым эффективным и имеет наибольшее сокращение потребление электроэнергии. Установка ЧРП на насос питьевой воды – имеет средний срок окупаемости, который не превышает 5 лет. Замена электродвигателя осевого вентилятора также может быть рекомендовано, так как имеет период окупаемости не более года.