

Обследование электрооборудования, проверка соответствия мощности электродвигателей

Электродвигатели являются наиболее

Click to edit the notes format

распространенными потребителями на промышленных предприятиях. Они потребляют около 80% электроэнергии. При проведении энергоаудита необходимо проверять соответствие мощности привода мощности нагрузки, так как превышение мощности электродвигателя приводит к снижению КПД и $\cos \varphi$. С уменьшением загрузки двигателя возрастает доля потребляемой реактивной мощности, которая идет на создание магнитного поля системы по сравнению с активной мощностью и снижается величина $\cos \varphi$.

Для каждого промышленного предприятия питающая энергосистема задает экономическое значение реактивной мощности $Q_{э}$, которую она может передать в период максимума нагрузки энергосистемы. Зная реактивную нагрузку предприятия $Q_{п}$ или максимум его нагрузки P_{max} , можно определить мощность компенсирующих устройств, которую необходимо установить на промышленном предприятии:

Где — $\cos \phi_{ф}$ - фактический коэффициент реактивной нагрузки предприятия;
 $\cos \phi_{э}$ коэффициент реактивной нагрузки, соответствующей $Q_{э}$.

Для снижения потребления реактивной мощности самими электроприемниками существуют мероприятия, не требующие установки специальных компенсирующих устройств:

Click to edit the notes format

- 1) повышение загрузки технологических агрегатов и использование их по времени, сопровождающееся повышением коэффициента загрузки электродвигателей и $\cos\varphi$;
- 2) применение ограничителей холостого хода асинхронных электродвигателей и сварочных агрегатов;
- 3) замена, перестановка и отключение трансформаторов, загруженных в среднем менее 30% от их номинальной мощности. Особое внимание следует уделять автоматизации работы двухтрансформаторных подстанций. При снижении нагрузки трансформаторов ниже 35% один из них на этот период должен отключаться с сохранением действия автоматического включения резерва;
- 4) замена малозагруженных двигателей двигателями меньшей мощности. Здесь нужно сравнивать потребление реактивной мощности и потери активной в асинхронном двигателе (АД):

5) замена асинхронных двигателей синхронными и применение последних для всех новых установок электропривода там, где это приемлемо по технико-экономическим соображениям.

Необходимо учитывать, что особенности конструктивного выполнения АД влияют на потребление ими реактивной мощности.

Закрытые и взрывозащищенные АД имеют увеличенный по сравнению с обычным объем магнитной цепи, потребляют большую реактивную мощность, следовательно, их использование должно быть объективно обосновано.

Тихоходные двигатели имеют большой объем магнитопровода, поэтому их применение должно по возможности ограничиваться. Например, у АД мощностью 17 кВт при синхронной частоте вращения

3000 об/мин $\cos \varphi = 0,9$; при 1500 – 0,89; при 1000 – 0,86; при 750 – 0,83 и при 600 – 0,77.

Ремонты двигателей следует проводить с условием сохранения их номинальных данных.

Основным направлением снижения реактивной мощности преобразователей является применение наиболее целесообразной силовой схемы самого преобразователя.

Исследования в области преобразовательной техники позволили

Click to edit the notes format

создать компенсационные преобразователи, принципиальное отличие которых от обычных в том, что они могут не только потреблять, но и генерировать реактивную мощность. Такие преобразователи необходимо использовать в первую очередь.

Крупные сварочные машины могут снабжаться индивидуальной компенсацией, что позволяет повысить $\cos \varphi$ до единицы.

Предприятие не может обеспечить заданный со стороны энергосистемы режим реактивной мощности без дополнительной ее компенсации с помощью компенсирующих устройств. Под компенсацией реактивной мощности следует понимать установку источника реактивной мощности (ИРМ) вблизи ее потребителя. Сочетание ИРМ с устройствами управления, защиты и т. д. называется компенсирующим устройством.

В качестве ИРМ применяются синхронные двигатели (СД), **компенсаторы** в виде комплектных конденсаторных установок (ККУ) и статические источники.

СД при работе в режиме перевозбуждения являются источниками реактивной мощности, и их надо использовать для компенсации реактивной мощности в первую очередь.

ККУ – наиболее распространенные источники реактивной мощности в промышленных электрических сетях до и выше 1000 В. Они имеют преимущества: малые потери активной мощности (0,0025–0,005кВт/квар), простоту монтажа и эксплуатации, возможность установки в любом сухом помещении и в любом месте схемы электрической сети.

Эффективность работы двигателя зависит от типа, скорости вращения, времени нагрузки двигателя, а также от его мощности:

Click to edit the notes format

- для двигателей мощностью 5 кВт при 100%-ной нагрузке КПД равен 80%, для двигателей мощностью 150 кВт КПД – 90%;
- для двигателей мощностью 5 кВт при 50%-ной нагрузке КПД равен 55%, для двигателей мощностью 150 кВт КПД – 65%;

При снижении нагрузки двигателя до 50% и менее его эффективность начинает быстро падать вследствие того, что потери энергии в железе начинают преобладать.

Основные потребители реактивной мощности на коммунальных, промышленных предприятиях являются:

Click to edit the notes format

- асинхронные двигатели (45 – 65)% ;
- электропечные установки (8)%;
- вентильные преобразователи (10)%;
- трансформаторы всех ступеней трансформации (20 – 25)%

Перечень мероприятий, позволяющих повысить $\cos \varphi$:

- увеличение загрузки асинхронных двигателей. При снижении до 40% мощности, потребляемой асинхронным двигателем, переключать обмотки с треугольника на звезду. Мощность двигателя при этом снижается в 1,7 раза.

- применение ограничителей времени работы асинхронных двигателей и сварочных трансформаторов в режиме холостого хода.

Click to edit the notes format

- замена асинхронных двигателей синхронными.
- нагрузка трансформаторов должна составлять более 30 % номинальной мощности

Для компенсации реактивной мощности используются следующие технические средства:

- синхронные двигатели в режиме перевозбуждения.
- комплектные конденсаторные батареи.
- статические компенсаторы (управляемые тиристорами реакторы или конденсаторы)

Click to edit the notes format

Перечень мероприятий по энергосбережению в установках, использующих электродвигатели:

- мощность двигателя должна соответствовать нагрузке;
- при часто повторяющемся режиме работы на холостом ходу двигатель должен легко выключаться;
- проверять качество эксплуатации трансмиссии – на эффективность работы системы влияет смазка подшипников и узлов трения;
- возможность применения электронных регуляторов скорости вращения в двигателях, часть времени работающих не на полной нагрузке.
-

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Click to edit the notes format

Click to edit the notes form $I =$

Из этого соотношения следует, что чем меньше $\cos \varphi_{\text{потр}}$, тем больше ток *потребителя* I , тем больший ток проходит по проводам линии электропередачи, тем больше потери энергии в этой линии и меньше к.п.д. ее и всей системы. Кроме того, увеличение тока требует для его передачи большего сечения, т. е. больше расход цветного металла. Таким образом, низкий коэффициент мощности потребителя $\cos \varphi_{\text{потр}}$ приводит к увеличению мощности источника, питающего этот потребитель, уменьшению к.п.д. линии электропередачи и к увеличению сечения проводов линии электропередачи.

Реактивная мощность при синусоидальном напряжении
однофазной сети мощность P определяется как

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Влияние увеличения $\cos \varphi$ на снижение реактивных потерь

Прежний $\cos \varphi$	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
Новый $\cos \varphi$	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
Снижение тока, %	37,5	44,5	25	33	12,5	22	11
Снижение потерь по сопротивлению, %	61	69	43,5	55,5	23	39,5	21

Рекомендуемая емкость статических конденсаторов для корректировки единичных асинхронных двигателей

Click to edit the notes format

Мощность трехфазного электродвигателя на напряжение 380 В, кВт	Статический конденсатор, кВАр, в % мощности двигателя
1 - 3	50
4 - 10	45
11 - 29	40
30	35

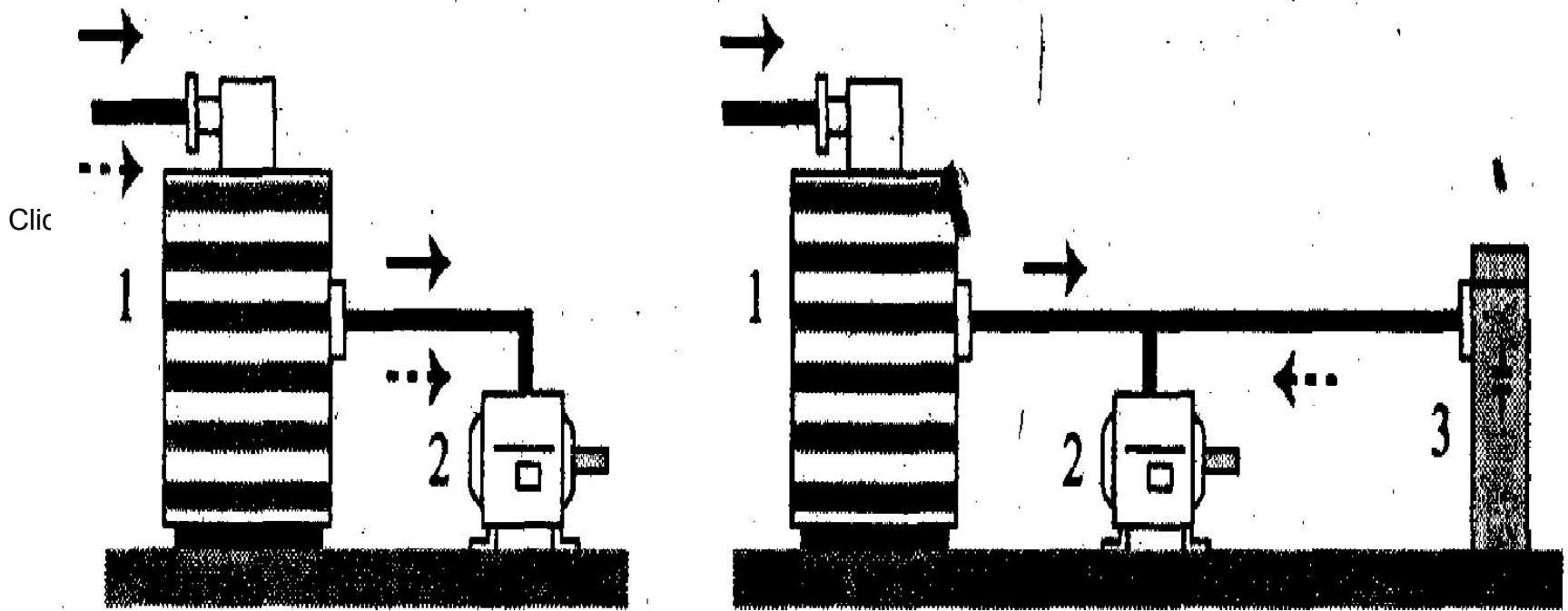


Схема применения правильной компенсации реактивной мощности электродвигателя:

1 — трансформатор; 2 — электродвигатель; 3 — конденсатор В первом примере (без использования конденсатора) нагрузка на трансформатор и электрическую сеть увеличивается из-за реактивной мощности (пунктирная стрелка слева). Этого можно избежать, как в примере справа, когда только активная мощность (жирная стрелка) влияет на нагрузку сети.

Пример. Асинхронный двигатель, включенный в сеть с напряжением $U=220\text{В}$ и частотой $f=50\text{Гц}$, развивает на валу мощность $P_{\text{дв}}=11,4\text{ кВт}$. К.П.Д. двигателя $\eta = 95\%$ при $\cos \varphi = 0,74$. Определить емкость C конденсатора, который необходимо включить параллельно с двигателем, чтобы повысить $\cos \varphi$ установки до $0,95$.

Решение. Мощность и ток потребляемый двигателем из сети;

Реактивная составляющая тока двигателя

Ток установки I при подключении конденсаторов, т.е.

При $\cos \varphi = 0,95$ угол $\varphi = 180$, $\sin 180 = 0,31$. Реактивная составляющая тока установки

[Click to edit the notes format](#)

Ток конденсаторов

Емкостное сопротивление конденсаторов

Емкость конденсаторов, которые нужно подключить параллельно двигателю, для улучшения $\cos \varphi$ до 0,95:

Пример. Определить мощность батареи конденсаторов для повышения коэффициента мощности насоса до значения $\cos \varphi = 0,92$. марка двигателя 4А 180 S2 У3

Click to edit the notes format

длительно работает с нагрузкой, равной 60% от номинальной ($K_n = 60\%$).

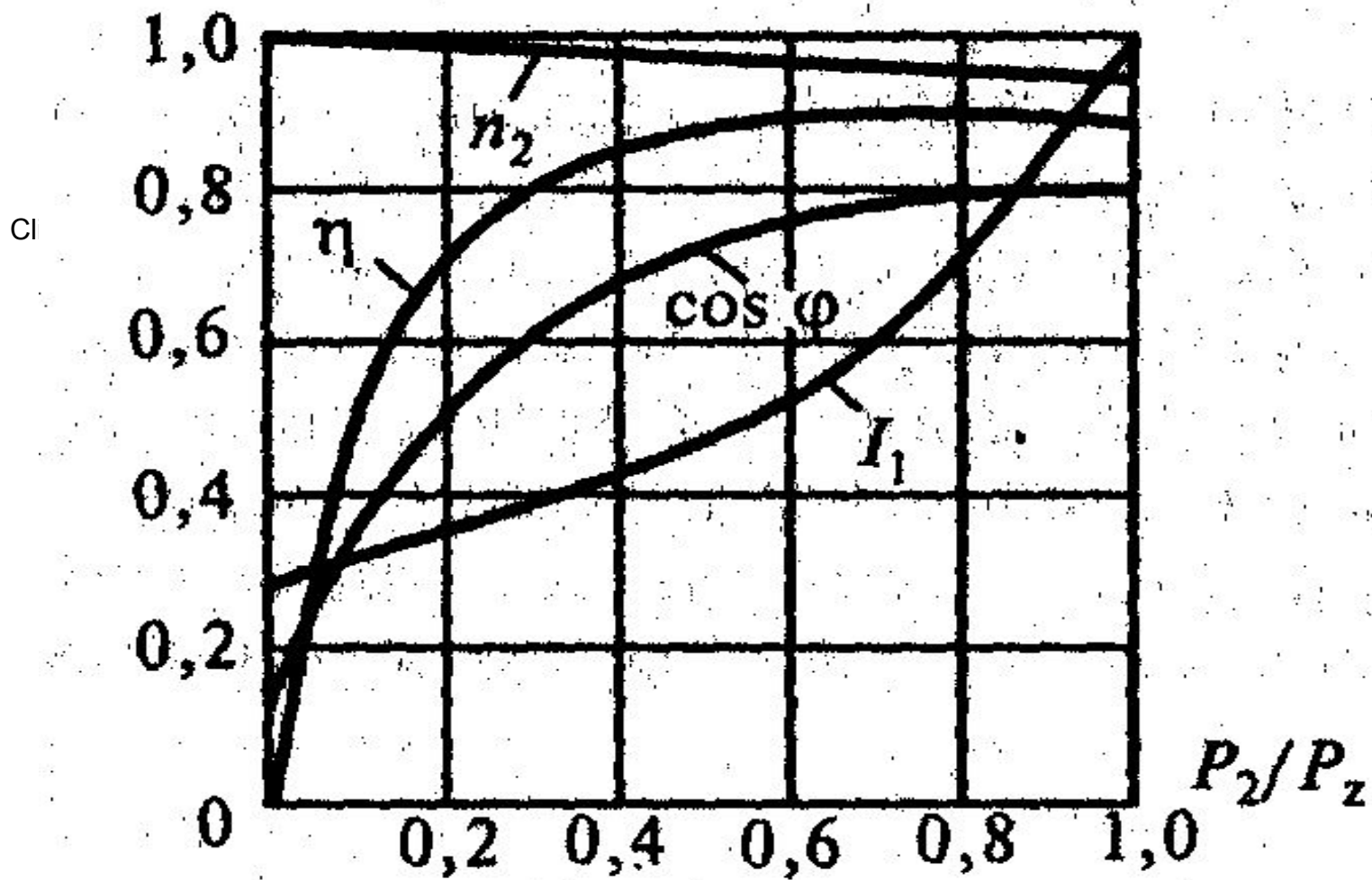
Решение.

1. С помощью механической характеристики определяем $\cos \varphi$ с которым работает двигатель: $\cos \varphi_1 = 0,78$ (при $K_n = 60\%$)

2. Мощность развиваемая АД

3. Величина мощности батареи конденсаторов

4. Выбираем конденсатор КМ-0,22-4,5 ($Q = 4,5$ кВАр) по табл.



Рабочие характеристики АД, показывающие зависимости эксплуатационных параметров n_2 , η , $\cos \varphi$, I_1 от мощности на валу P

**Косинусные конденсаторы и конденсаторные установки,
используемые для повышения $\cos \varphi$**

Наименование	Тип	Номинальная мощность, Q_n , квар
Конденсатор в трехфаз- ном исполнении	КМ-0,22-4,5	4,5
То же	КС-0,22-6	6
—	КС-0,22-8	8
—	КМ-0,22-9	9
—	КМ-0,38-13	13
—	КС-0,38-18	18
—	КМ-2-0,38-26	26
—	КС-0,38-50	50
Комплектная конденса- торная установка	ККУ-0,38-1	80
То же	УК-0,38-110УЗ	108
—	УКТ-0,38-150УЗ	150
—	УКЛ(п)Н-0,38-300-50УЗ	300

Суммарные потери в электродвигателе имеют четыре

Click to edit the notes format

основные составляющие:

- потери в стали, связанные с напряжением

$P_{ст} = P_{в.т} + P_{г.} \equiv$ и не зависят от нагрузки;

- активные потери в меди, пропорциональные квадрату тока нагрузки;

- потери на трение – постоянны для данной частоты вращения и не зависят от нагрузки;

- добавочные потери от рассеивания – зависят от нагрузки.

Способы сокращения непроизводительного расхода энергии

Эти способы являются общими для всех приводных электрических машин. К ним относятся следующие:

1. Увеличение загрузки электрооборудования до номинальной мощности и повышение равномерности его работы

Расчет экономии электроэнергии в этом случае удобно вести, определяя ее удельный расход:

где η_n – КПД двигателя при номинальной нагрузке; K_n – коэффициент нагрузки; K_t – коэффициент использования двигателя; α – коэффициент, зависящий от типа и конструкции двигателя ($\alpha = 0,7 - 0,9$).

Значения K_n и K_t определяются из выражений:

При максимальном использовании двигателя, т.е. при отсутствии холостого хода ($K_T = 1$) и полной нагрузке ($K_T = 1$), удельный расход энергии будет минимальным:

Click to edit the notes format

Отношение ΔW и ΔW_0 определяет увеличение удельного расхода электроэнергии в зависимости от нагрузки и продолжительности холостого хода электродвигателя

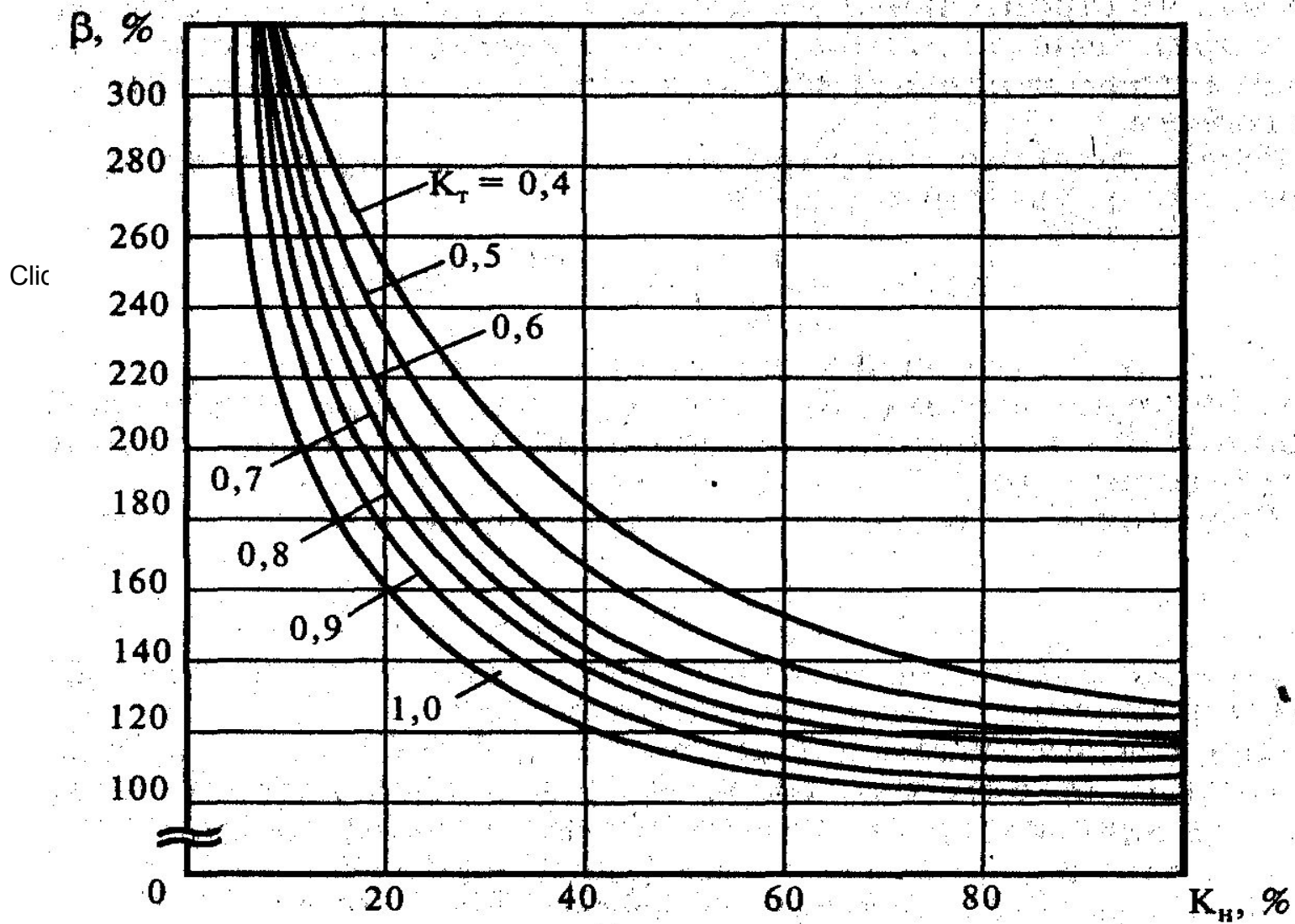
отсюда следует, что экономия электроэнергии можно достичь отключением двигателя, работающего вхолостую, повышением загрузки двигателя и увеличением КПД. Собственно экономию энергии, получаемую в результате повышения нагрузки эл.машины, определяют с использованием кривых (рис.) и с учетом коэффициента

β_1 и β_2 – соответственно значения коэффициента β до и после повышения нагрузки. Числовая экономия электроэнергии

Пример: Электрорубанок (рейсмус), имеет электродвигатель, работающий с нагрузкой, равной 40% от номинальной ($K_H = 40\%$), продолжительностью холостого хода 50% ($K_T = 0,5$), притом $\eta = 0,85$; $\alpha = 0,8$. Найти часовую экономию электроэнергии при увеличении нагрузки (до $K_H = 80\%$) и сокращении времени холостого хода (до $K_T = 0,9$)

Решение: по графику (рис) для $K_H = 40\%$ и K_T определяем $\beta_1 = 167\%$, а для $K_H = 80\%$ и $K_T = 0,9$ тогда $\beta_2 = 107\%$. Вычислим

Тогда часовая экономия электроэнергии



Зависимость изменения удельных расходов электроэнергии от коэффициента нагрузки рабочей машины

Снижение напряжения регулятором позволяет уменьшить магнитное поле в железе двигателя, которое всегда избыточное для рассматриваемого режима нагрузки, снизить потери в стали, т.е. Click to edit the notes format повысить КПД. Сам регулятор (обычно в тиристорном исполнении) потребляет мало энергии. Его собственное потребление становится заметным, когда двигатель работает на полной нагрузке.

Часто в режиме холостого хода потребляется почти столько же энергии, сколько необходимо для работы. Переключение обмоток двигателя мощностью 7,5 кВт, работающего в номинальном ($U_{л} = 380 \text{ В}$) по схеме треугольник, при работе на пониженной нагрузке 1 кВт (режим Х.Х) переключение на схему звезда позволяет уменьшить потери мощности с 0,5 кВт до 0,25 кВт. Необходимо всегда избегать работы электродвигателей в режиме Х.Х.

Установках с регулируемым числом оборотов (насосы, вентиляторы и др) широко применяются

Click to edit the notes format

регулируемые электроприводы. Оценочные значения возможной экономии электроэнергии при применении регулируемого электропривода нагнетательного оборудования в пневмо – и гидросистемах равны:

- компрессорах – 50%;
- в воздухоподувках и вентиляторах - 40 – 50%;
- в насосах – 30%.

Тиристорные регуляторы напряжения дешевле, их диапазон регулирования скорости вращения на 10 -15 % ниже номинальных оборотов;

Частотные регуляторы (наиболее часто в транзисторном исполнении) дороже, но и диапазон регулирования у них шире. Стоимость электронного регулятора оборотов примерно равна стоимости электродвигателя.

Click to edit the notes format

Ориентировочная удельная стоимость электронного регулятора оборотов для нормального исполнения двигателя $P=75 - 200$ кВт составляет около 60 долларов за 1 кВт, с уменьшением мощности привода она увеличивается, и для 15 киловаттного двигателя стоимость электронной системы управления равна около 200 – 250 долл.

Применение регуляторов пуска (регуляторов напряжения) и торможения позволяет достичь экономии (1,6 – 3,7) % электроэнергии для двигателей $P= 22-30$ кВт при 20% времени загрузки.

Все шире находят применение более дорогие, энергетически эффективные (ЭЭ) двигатели, использующие более качественные электротехнические стали и медные обмотки большего сечения, позволяющие на (2 – 5) % уменьшить активные потери.

Разработчики отмечают 4 направления повышения

Click to edit the notes format

энергоэкономичности :

- большая длина сердечника из стальных пластин с низкими потерями. Этим уменьшаются магнитная индукция и, следовательно потери в стали.
- потери в меди уменьшаются максимальным использованием пазов и обеспечением подходящих размеров проводников.
- потери от рассеивания минимизируются тщательным подбором количества пазов и их геометрией.
- уменьшения потерь мощности в электродвигателе приводит к снижению мощности вентилятора обдува, затрачиваемого на его охлаждение.

Такие электродвигатели имеют более высокий КПД, допускают термические перегрузки, менее требовательны к обслуживанию, менее чувствительны к колебаниям напряжения сети и меньше шумят.

Некоторые ЭЭ – двигатели имеют цену двигателей обычного исполнения.

Их применение экономически целесообразно при большом времени загрузки.

Ликвидация или снижение до минимума холостого ход АД за счет совершенствования технологии производства, использования ограничителя х.х., приближения кнопочных станций. Используя диаграмму рис. можно определить размер экономии электроэнергии и установить экономическую целесообразность применения ограничителей холостого хода. Для этого находят расчетные параметры:

где P_0 – средняя мощность х.х. (сумма механической мощности х.х. системы электропривода и потерь мощности в стали двигателя), определяется путем замера нагрузки привода во время х.х., кВт•ч; P_n – номинальная мощность электродвигателя, кВт•ч; T_{xx} – время х.х. между циклами, с. По параметрам a и b на диаграмме определяется показатель эффективности ε , затем – часовая экономия электроэнергии

где Z – число циклов работы механизма в час

Пример. Электродвигатель серии 4А металлообрабатывающего станка, имеет мощность $P_H = 4$ кВт; $P_0 = 0,4$ кВт; $T_{xx} = 5$ с; $Z = 42$ цикл/ч.
Решение: Определим значения

[Click to edit the notes format](#)

из диаграммы показатель энергоэффективности $\varepsilon = -0,024$
ожидаемая часовая экономия электроэнергии

что означает перерасход электрической энергии. Установка ограничителей х.х. в этом случае не является целесообразной

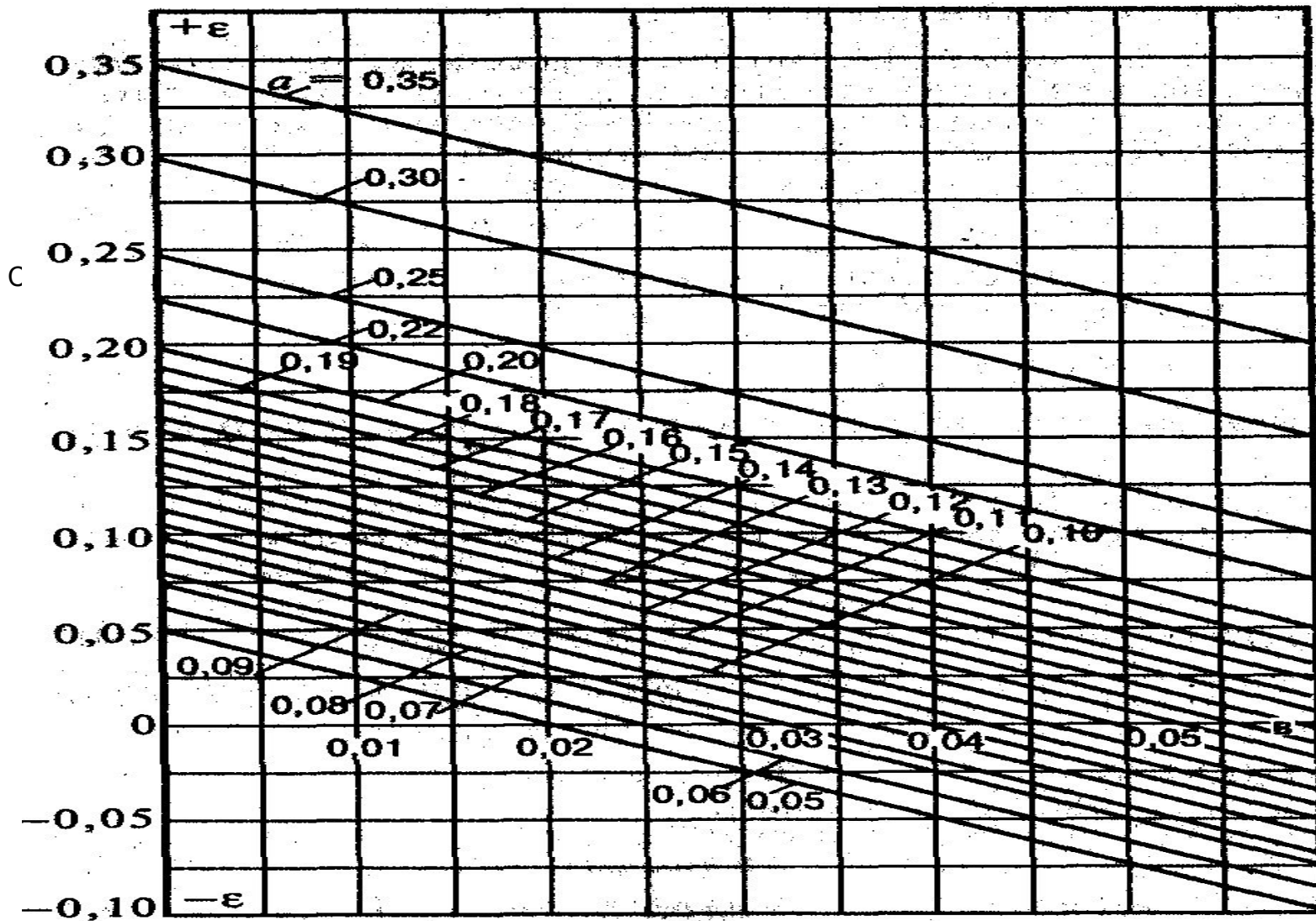


Диаграмма для определения эффективности ограничителей холостого хода

Применение электроприводов с частотными регуляторами (ЧРП) для оптимизации режимов эксплуатации насосов, вентиляторов

Обороты двигателя можно регулировать частотой электропитания, преобразуемой с помощью частотного преобразователя

Частотно регулируемый электропривод (ЧРП) – это электродвигатель (асинхронный или синхронный), оснащенный регулируемым преобразователем частоты. Он эффективен и быстро окупается в насосных и вентиляционных системах, большую часть времени работающих при пониженных подачах, в которых регулирование осуществляется с помощью регулирующих задвижек (регулирование дросселированием) или байпасом

Произведение теряемого на задвижках перепада давления на расход жидкости – это потери энергии в системе с дроссельным методом регулирования. При регулировании дросселированием подачи насосов ниже 40 – 50 % номинальной производительности резко начинают возрастать удельные затраты на перекачку жидкости. Часть напора

Click to edit the notes format

и гидравлической мощности

насоса теряется на задвижке, насос начинает работать в зоне характеристики с низким КПД

При использовании ЧРП устраняются потери энергии в регулирующем дроссельном устройстве (задвижке), насос работает в зоне с более высоким КПД. На рис. приведено сравнение эффективности различных способов регулирования режимов работы насосов. При регулировании режимов работы вентиляторов с заменой дроссельного устройства на ЧРП, подаче, равной 50% от номинального значения, потребляемая электродвигателем мощность с

ЧРП равна 13% номинальной мощности насоса; регулируемого дросселированием – 75%, т.е. экономия составит - 60% мощности номинального режима

Результаты внедрения ЧРП на тепловых пунктах получено:

- нормализовано давление в системе водоснабжения, которое по результатам анализа на (15 – 35)% превышало оптимальное, требуемое по условиям водоснабжения;
- повысилась надежность работы оборудования и сокращены затраты на ремонт и обслуживание за счет исключения динамических и гидравлических ударов;
- электропотребление насосными установками водоснабжения снизилось в среднем более чем на 45%;
- на 14 % снизилось водопотребление потребителями воды за счет снижения избыточного напора в системе.

Наибольшие потери возникают при неноминальных режимах эксплуатации этого оборудования.

Частотно регулируемый электропривод быстро окупает себя, если насосы и вентиляторы большую часть времени работают при пониженных подачах среды

Анализ режимов работы систем электроосвещения

Примерно 5-10% электропотребления предприятия Click to edit the notes format расходуется на функционирование системы освещения. В ходе энергоаудита необходимо проверить степень использования естественного и применения эффективных источников искусственного освещения, а также применения новых технологий его регулирования.

- замена ламп накаливания на люминисцентные в 6 раз снижает электропотребление;
- для систем освещения, устанавливаемых на высоте более 5 м от уровня освещаемой поверхности, рекомендуется применение металлогалогенных ламп вместо люминисцентных;

- применение современных систем управления. Автоматическое поддержание заданного уровня освещенности с помощью частотных регуляторов питания люминисцентных ламп, частота которых пропорциональна требуемой мощности освещения, позволяет достичь экономии электроэнергии до 25 – 30 %.
- использование современной осветительной (применение пленочных отражателей на люминисцентных светильниках позволяет на 40% сократить число ламп и, следовательно, мощность светильников);
- применение аппаратуры для зонального отключения освещения;
- использование эффективных электротехнических компонентов светильников (балластных дросселей с низким уровнем потерь).

Комплексная модернизация системы освещения позволяет экономить до 20 – 30% электроэнергии при среднем сроке окупаемости 1,5 – 2 года

Потери в электрических сетях предприятия

Нагрузочные потери электроэнергии на какой либо линии электроснабжения предприятия за учетный период составляют

Click to edit the notes format

где $K_{\text{ф}}$ - коэффициент формы графика суточной нагрузки (для электрических нагрузок большинства промышленных предприятий

$I_{\text{СК}}$ – средняя квадратичная величина тока отпуска сети;

$I_{\text{ср}}$ – средняя величина тока ($I_{\text{ср}}$ – средняя за характерные сутки величина тока в линии);

или

где W , Q – расход активной и реактивной энергии за характерные сутки;

t_p – число рабочих часов за характерные сутки (за учетный период), ч;

$\cos \varphi_{\text{св}}$ – средневзвешанная величина коэффициента мощности сети;

$R_{\text{э}}$ – эквивалентное активное сопротивление сети;

T_p – время работы линии электроснабжения.