

# 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

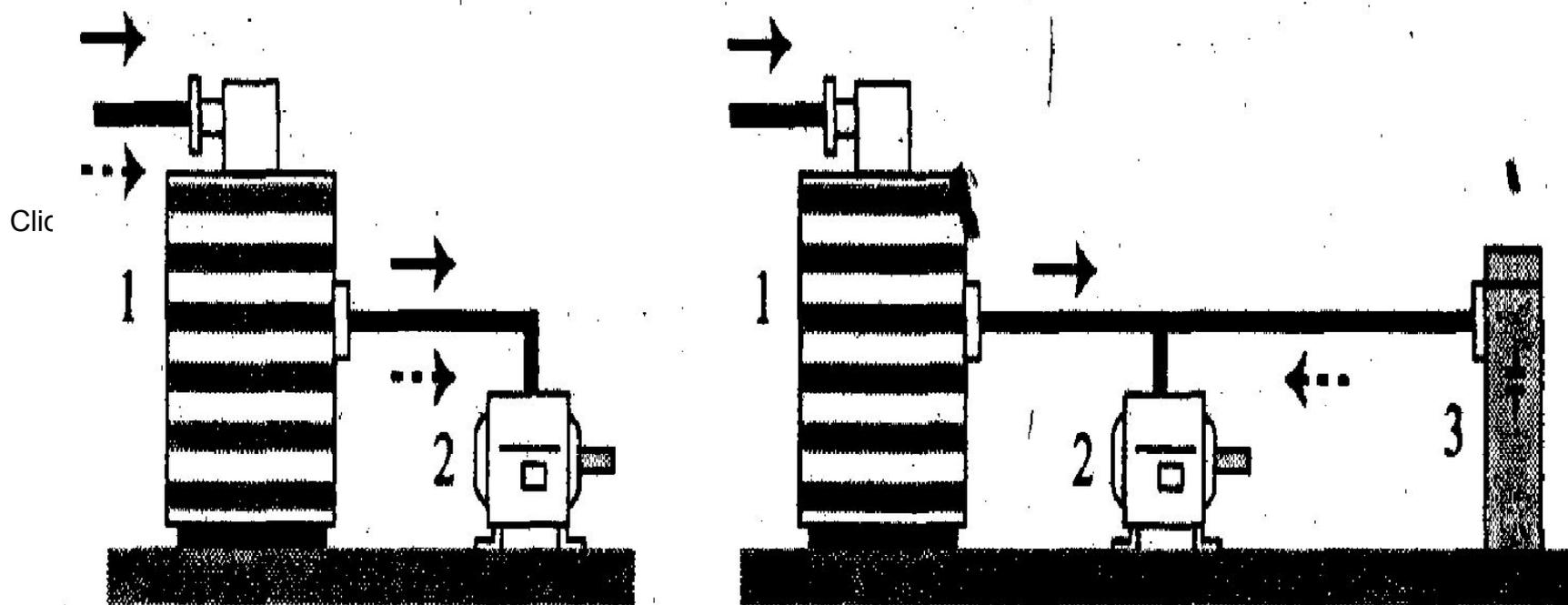


Схема применения правильной компенсации реактивной мощности электродвигателя:

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 ( $K_n = 60\%$ ).

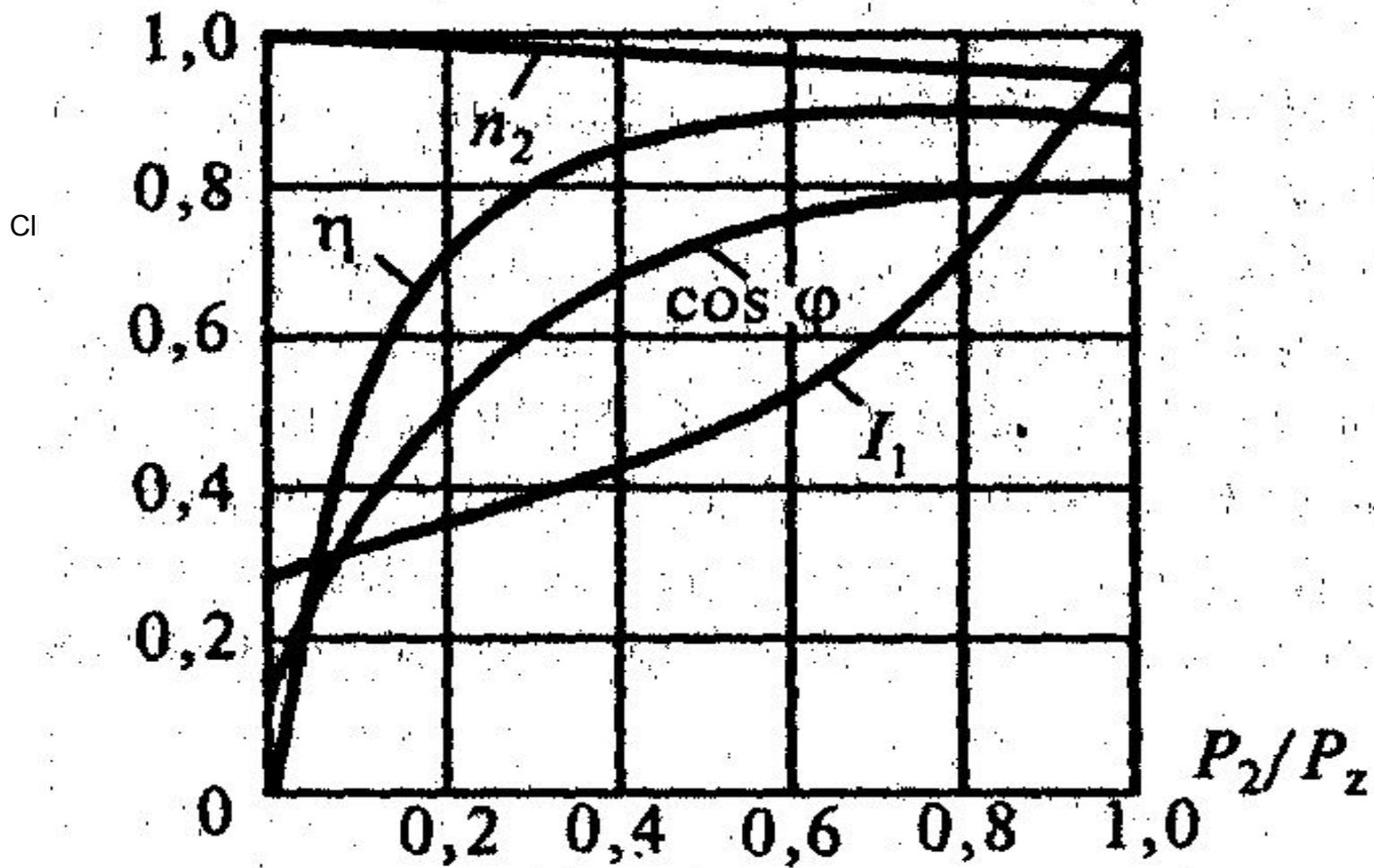
**Решение.**

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  $n_2$ ,  $\eta$ ,  $\cos \varphi$ ,  $I_1$  от мощности на валу  $P$

**Косинусные конденсаторы и конденсаторные установки,  
использующиеся 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  $\eta_n$  – КПД двигателя при номинальной нагрузке;  $K_n$  – коэффициент нагрузки;  $K_t$  – коэффициент использования двигателя;  $\alpha$  – 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  $\Delta W$  и  $\Delta W_0$  определяет увеличение удельного расхода электроэнергии в зависимости от нагрузки и продолжительности холостого хода электродвигателя

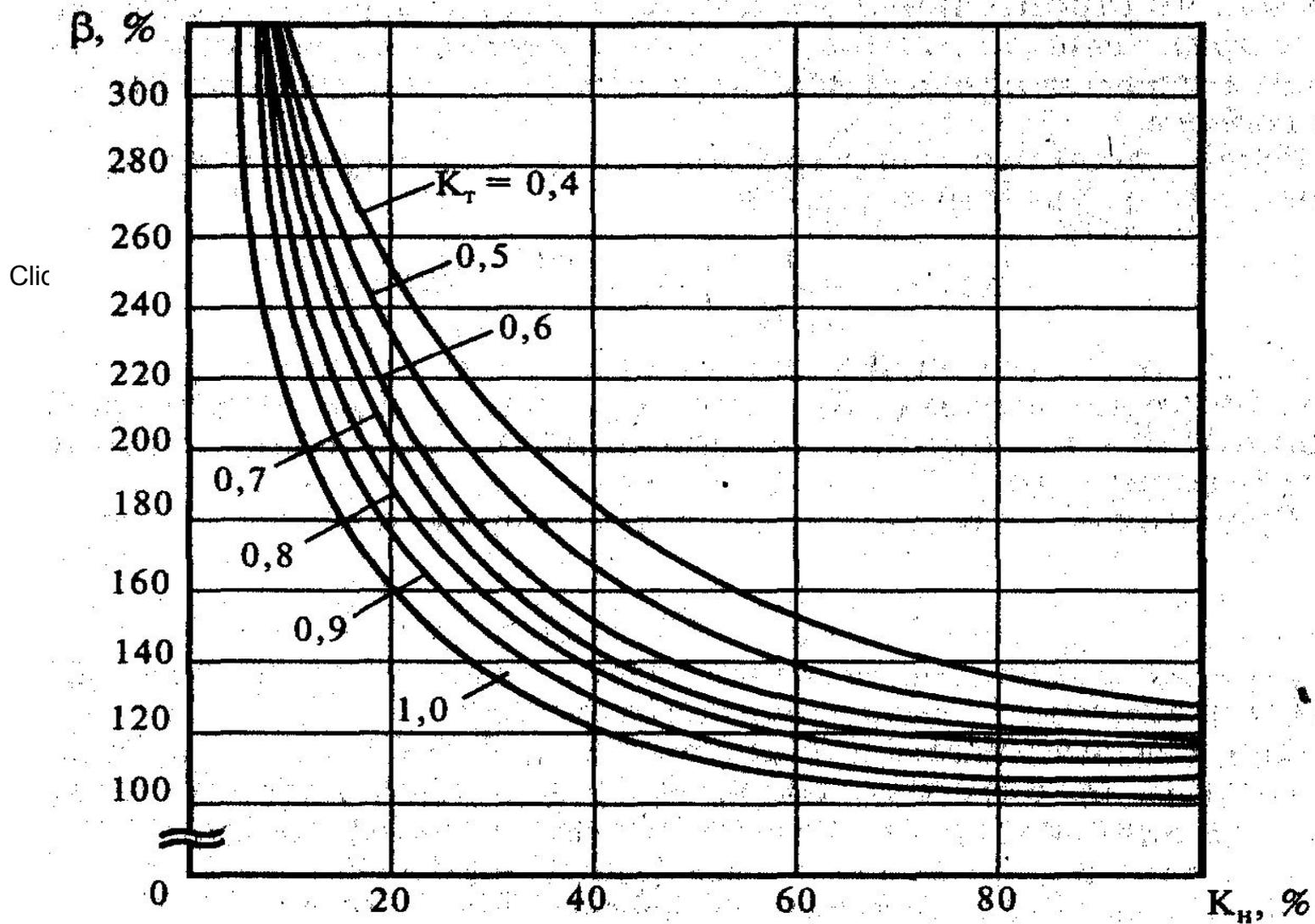
отсюда следует, что экономия электроэнергии можно достичь отключением двигателя, работающего вхолостую, повышением загрузки двигателя и увеличением КПД. Собственно экономию энергии, получаемую в результате повышения нагрузки эл.машины, определяют с использованием кривых (рис. ) и с учетом коэффициента

$\beta_1$  и  $\beta_2$  – соответственно значения коэффициента  $\beta$  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 воздуходувках 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  $\varepsilon$ , 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

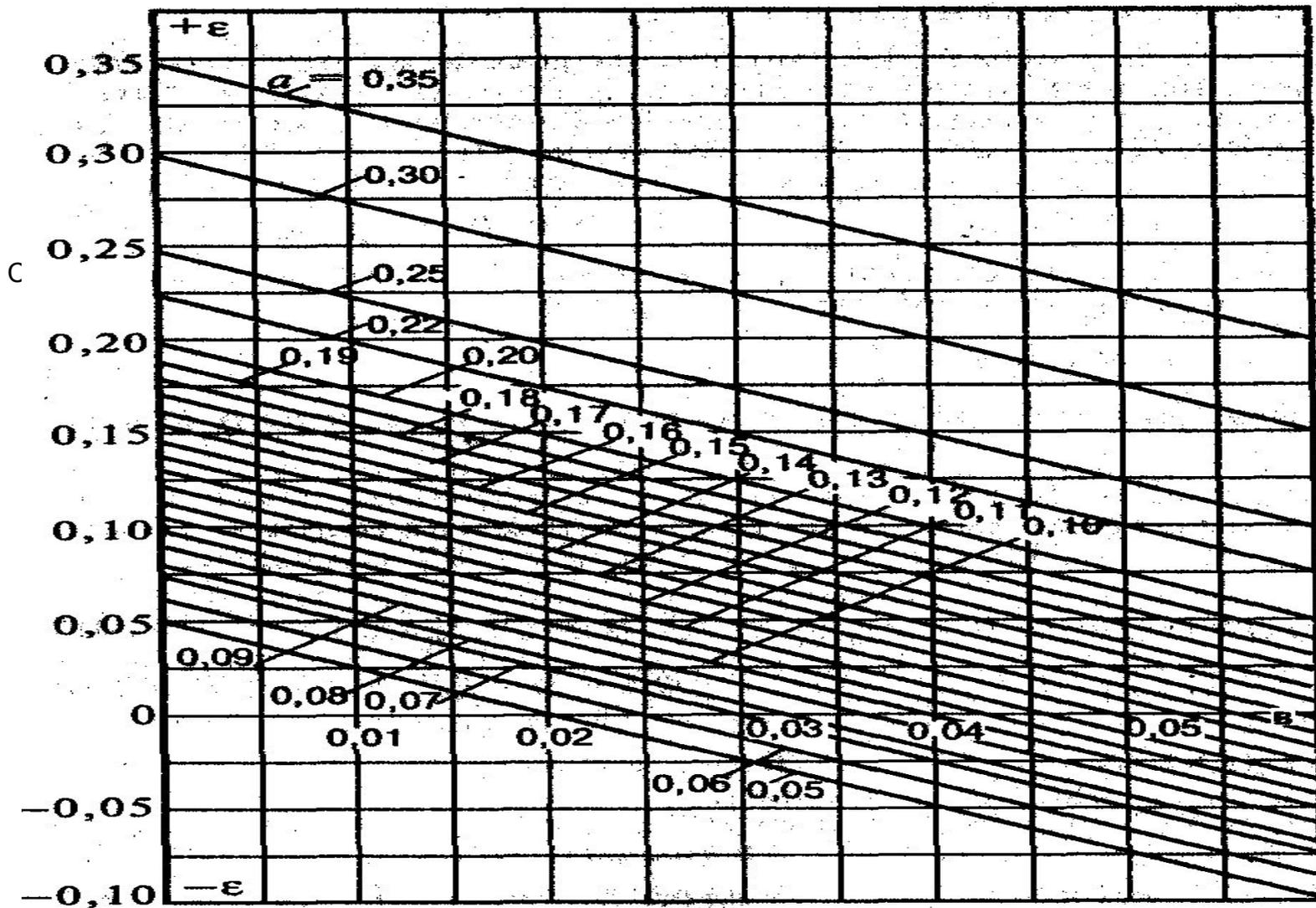


Диаграмма для определения эффективности ограничителей холостого хода

## *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;

$t_{\text{р}}$  – 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;

$T_{\text{р}}$  – время работы линии электроснабжения.