

УДК 621.3

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Жук К.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В.Н.

Режим электропотребления – это изменение электрических нагрузок (потребляемой мощности) предприятия и его отдельных электроприемников во времени: в разрезе суток, дней недели, сезона года. Режимы электропотребления отражаются соответствующими графиками электрических нагрузок и характеризуются рядом показателей, в частности:

- коэффициентом нагрузки (заполнения суточного графика), определяемым как отношение среднесуточной нагрузки к максимальной (пиковой);
- годовым (суточным, месячным) числом часов использования максимума нагрузки (максимальной мощности) потребителя; рассчитывается как отношение величины электропотребления за данный период к максимальной нагрузке за этот период;
- коэффициентом одновременности нагрузки (или коэффициентом спроса), который равен отношению совмещенной максимальной нагрузки предприятия к сумме нагрузок его отдельных электроприемников.

Основными задачами регулирования режимов электропотребления являются снижение суточных максимумов и выравнивание графиков нагрузки предприятий путем заполнения ночного провала и переноса нагрузок во внепиковые (дневные) часы суток. При этом изменяются указанные показатели: повышается коэффициент нагрузки и число часов использования максимума, снижается коэффициент одновременности нагрузки (спроса). Способами регулирования режимов электропотребления на промышленных предприятиях являются следующие организационные и организационно–технические мероприятия:

- введение вторых и третьих смен (на односменных и двухсменных предприятиях);
- установление междусменных перерывов (в часы максимума нагрузки энергосистемы);
- введение разных часов начала и конца смен различных цехов (относительный сдвиг смен во времени);
- назначение разных выходных дней для различных цехов (особенно энергоемких);
- перераспределение во времени (в течение суток) отдельных энергоемких процессов;
- совмещение во времени (согласование) ремонтов агрегатов – крупных электроприемников;
- разработка последовательности отключения отдельных электроприемников и подключения собственных генераторов (если таковые имеются на предприятии).

Регулирование режимов электропотребления промышленных предприятий ведет к выравниванию графика нагрузки энергосистемы и снижению общесистемного максимума. В результате в энергокомпании сокращаются текущие и капитальные затраты, улучшается баланс генерирующих мощностей, повышается конкурентоспособность компании на рынке электроэнергии. У потребителя же интерес к регулированию своих нагрузок связан прежде всего со снижением платы за электроэнергию (мощность). Отсюда следует, что экономической основой режимного взаимодействия предприятий с энергокомпаниями служат дифференцированные тарифы на электроэнергию, стимулирующие проведение соответствующих регулировочных мероприятий. Для этого может применяться «тарифное меню», включающее двухставочные тарифы с отдельной оплатой пиковой мощности и энергии.

На рис.1 приведена структура результатов режимного взаимодействия энергокомпании с потребителями посредством специальных тарифов на электроэнергию. Следует обратить внимание на вероятные затраты и потери, которые могут сопровождать процесс регулирования, понижая его эффективность, причем для обеих сторон. Так, потребитель может нести дополнительные издержки, вызванные работой технологического оборудования в переменном режиме.

В связи с этим необходимо также отметить, что при режимном взаимодействии энергосистемы (энергокомпания) и потребителя могут иметь место случаи, когда выравнивание совмещенного графика нагрузки энергосистемы сопровождается ухудшением формы графика нагрузки данного потребителя. При этом потери в сетях энергосистемы снижаются, а потери в распределительных сетях промышленного предприятия возрастают. Кроме того, если в составе кратковременно отключаемой нагрузки находятся агрегаты с синхронными двигателями, то возможно увеличение потребления реактивной мощности из энергосистемы, что вызывает дополнительные потери активной мощности в ее сетях и сетях потребителя.

Дополнительные затраты предприятия–потребителя, вызванные регулированием режима электропотребления, должны быть перекрыты экономией на оплате энергоносителя. Поэтому выбор потребителем рационального тарифа из предложенного энергокомпанией «меню» должен основываться на критерии максимальной эффективности технически возможных регулировочных мероприятий. В то же время энергокомпания при обосновании размера тарифных ставок должна принимать во внимание как их стимулирующее воздействие, так и необходимость возмещения ожидаемых потерь от недополучения выручки. С учетом сложности задачи наилучшим вариантом решения была бы самостоятельная корректировка усредненных ставок отдельными заинтересованными потребителями в определенных пределах, установленных энергокомпанией и утвержденных энергетической комиссией.

Таким образом, выбор тарифной системы потребителем должен определяться экономической целесообразностью и регулировочными возможностями электроприемников, а не регламентироваться принадлежностью к той или иной энергопотребительской группе.

В частности, в качестве критерия выбора двухставочного тарифа с отдельной оплатой, заявленной (максимальной) мощности и потребленной электроэнергии предлагается показатель годового (месячного) числа часов использования этой мощности потребителем.

Известно, что стоимость 1 кВт·ч электроэнергии при двухставочном тарифе определяется следующим образом:

$$\bar{S}_3^n = \frac{a_M}{h_M} + b_3,$$

где a_M – ставка платы за 1 кВт заявленной (максимальной) мощности потребителя в часы общесистемного максимума, руб./(кВт·год);

b_3 – ставка платы за 1 кВт·ч фактически потребленной за расчетный период электроэнергии, руб./(кВт·ч);

h_M – годовое число часов использования мощности потребителя, ч/год.

Из формулы следует, что стоимость единицы энергии снижается с ростом показателя по гиперболической зависимости. Это означает, что двухставочный тариф стимулирует повышение коэффициента нагрузки потребителей и выравнивание их суточных графиков.

Чтобы определить предельное, которое является условием перехода для одноставочного потребителя на двухставочные тарифы, необходимо приравнять суммы годовых платежей по альтернативным тарифам:

$$\bar{S}_3' \cdot P_M \cdot h_M = a_M \cdot P_M + b_3 \cdot P_M \cdot h_M,$$

где \bar{S}_3' – одноставочный тариф на электроэнергию;

P_M – среднегодовое значение заявленной (максимальной) мощности потребителя.

Из выражения получаем предельное значение \bar{h}_M :

$$\bar{h}_M = \frac{a_M}{\bar{S}_3' - b_3},$$

Дифференцированные тарифы

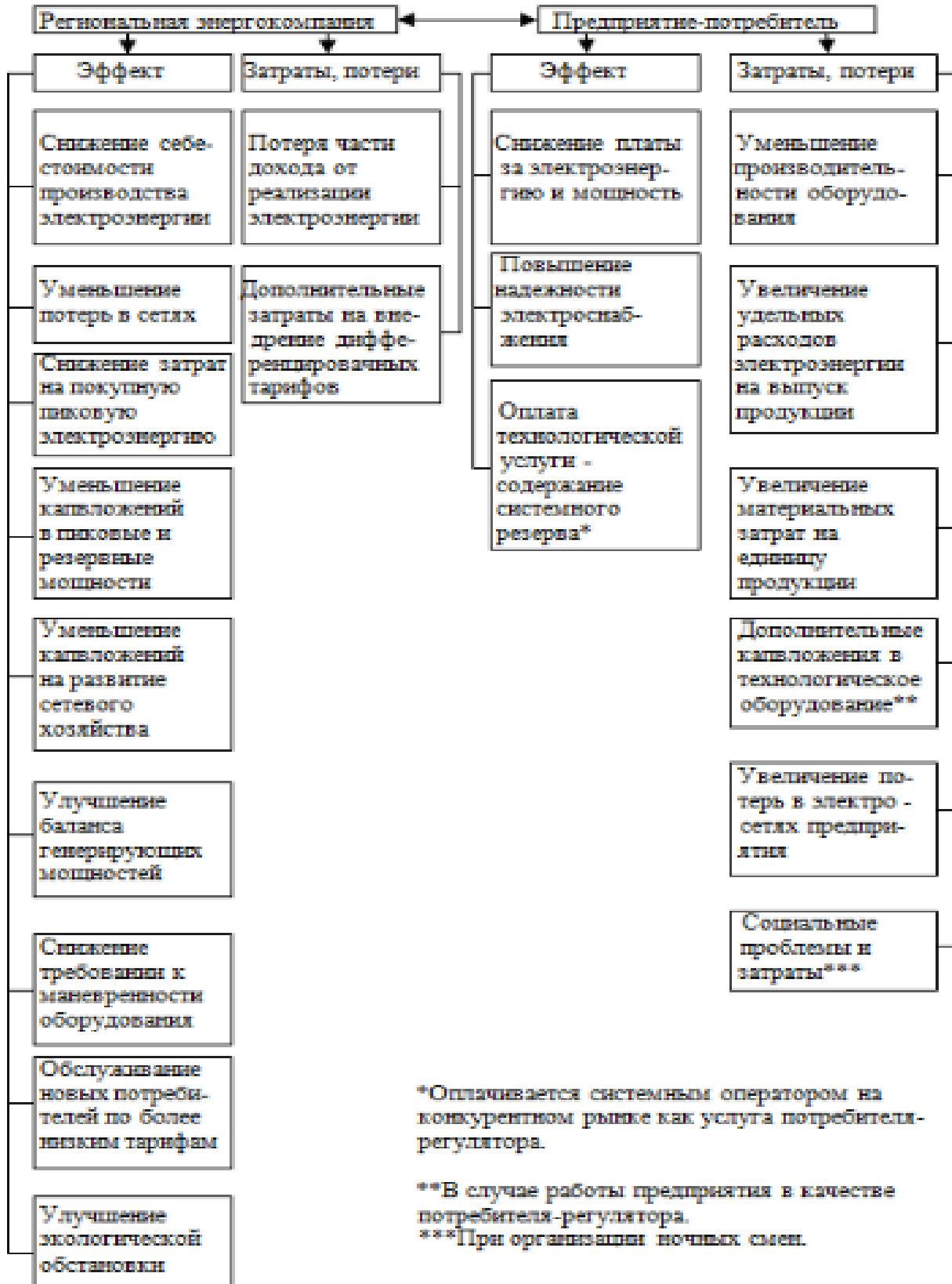


Рисунок 1 – Ожидаемые результаты регулирования режимов

Определение \bar{h}_M для потребителя данного вида напряжения иллюстрирует рисунок 2:

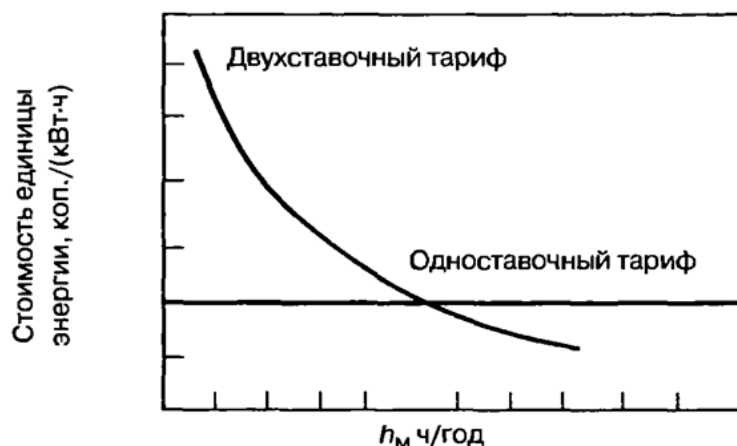


Рисунок 2 – Зависимость стоимости единицы энергии от числа часов использования мощности потребителя.

Таким образом, используя приведенные выше зависимости и график, конкретный потребитель должен оценить свои регулировочные возможности, резервы повышения коэффициента нагрузки (или) и принять окончательное решение о выборе модели тарифа на электроэнергию. Например, если предприятие – потребитель высокого напряжения имеет фактический коэффициент нагрузки (отношение средней нагрузки к максимальной в контрольные часы суток) за расчетный период 75%, то, чтобы экономически эффективно воспользоваться двухставочным тарифом, ему необходимо поднять этот коэффициент как минимум до 80%.

Для того, чтобы далее снижать затраты, применяя двухставочные тарифы в качестве первого шага рекомендуется построить график ежемесячных платежей за электроэнергию в зависимости от коэффициента нагрузки (рис. 3). По этому графику можно установить, на какую потенциальную экономию следует рассчитывать при увеличении коэффициента нагрузки.

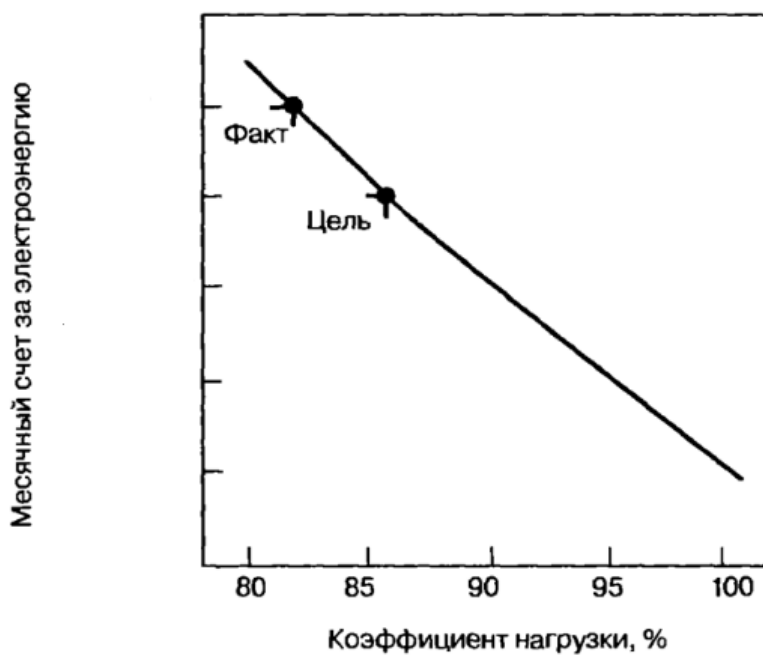


Рисунок 3 – Типичная зависимость месячного счета за электроэнергию от коэффициента нагрузки

Следующий шаг – построение кривой изменения нагрузки в течение суток (суточного графика нагрузки потребителя). График нагрузки (рис. 4) укажет на величины пиков и провалов и подскажет, как выровнять нагрузку.

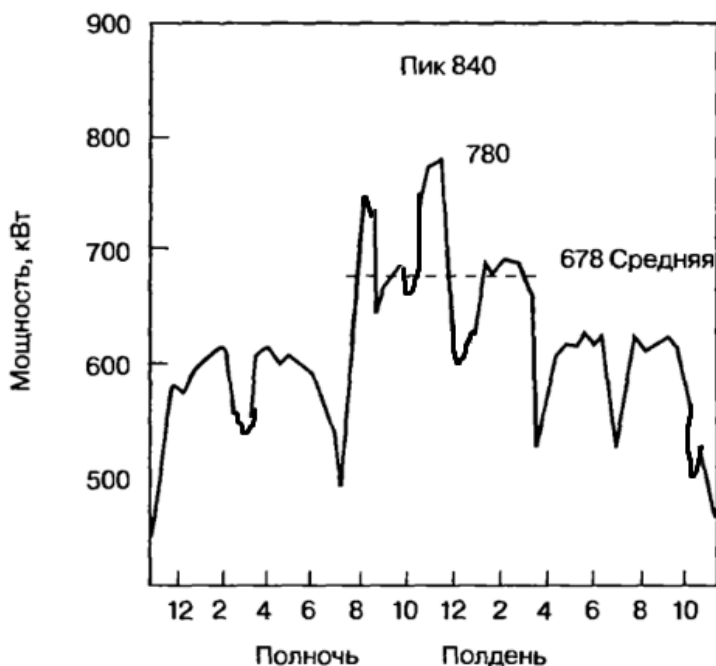


Рисунок 4 – Суточный график нагрузки промышленного предприятия

Однако для этого необходимо также иметь данные о нагрузках отдельных электроприемников предприятия. Причем наибольшие возможности регулирования нагрузки обычно связаны с самыми крупными потребителями; поэтому надо знать графики их работы и вклад в пиковые нагрузки всего предприятия.

Наиболее распространенные способы уменьшения нагрузки на предприятии, не требующие ее автоматической регулировки, сводятся к следующим.

Распределение пусковых нагрузок. Когда максимальная нагрузка приходится на начало смены, как это показано на рис.4, нужно рассмотреть возможности разнесения пусковых нагрузок на два или более интервала.

Передача нагрузки на другую смену. Нагрузки в дневную смену, как правило, выше, чем в другое время. Поэтому целесообразно снижать пиковые нагрузки, по возможности уменьшая потребленные в дневные часы и перенося выполнение части работ на вечерние и ночные смены.

Увеличение производства электроэнергии на самом предприятии. В ряде случаев технологические особенности производства жестко ограничивают возможности перераспределения нагрузок во времени. Тогда экономически выгодным может оказаться применение собственных высокоманевренных электрогенерирующих установок, включаемых в периоды максимальных оплачиваемых нагрузок, особенно при высоких ставках платы за мощность и ограничениях, вводимых энергосистемой в периоды пикового потребления.

Для осуществления автоматического регулирования электрических нагрузок рекомендуется разделить последние на две категории: основные (существенные) и второстепенные (несущественные).

Существенные нагрузки важны для обеспечения технологического процесса, безопасности работающих и комфортных условий труда (включая экологическую составляющую). Незапланированное отключение их в целях регулирования режима электропотребления недопустимо.

Несущественные нагрузки допускают временное отключение без заметного влияния на производство. Примерами таких нагрузок служат кондиционеры, вентиляторы и вытяжные устройства, холодильники и компрессоры, подогреватели воды, зарядные устройства. Автоматические регуляторы периодически отключают эти электроприемники, чтобы исключить увеличение совмещенной нагрузки выше определенного уровня.

Некоторые электроемкие предприятия с непрерывным производственным циклом и равномерными графиками нагрузки располагают технологическими установками, допускающими по эксплуатационным условиям снижение потребляемой мощности в широком диапазоне, вплоть до отключения их на периоды утреннего и вечернего максимумов энергосистемы (например, производство ферросплавов, цемента, добыча нефти и др.). Такие предприятия способны работать в специальном режиме потребителя-регулятора (ПР) параллельно с энергосистемой, т.е. практически по ее графику нагрузки. При этом недовыработка продукции в часы системных максимумов возмещается форсированием наличных агрегатов в часы ночного спада нагрузки энергосистемы либо установкой дополнительных агрегатов, также подключаемых в ночное время. Как отмечалось выше, работа в режиме ПР приводит к некоторому экономическому ущербу, связанному в основном со снижением производительности технологических установок, увеличением удельных расходов электроэнергии и сырья. Это должно компенсироваться стимулирующими тарифами, а также, возможно, и соответствующей оплатой технологических услуг по резервированию мощностей и выравниванию графика нагрузки энергосистемы в рамках отдельного контракта предприятия с энергокомпанией.

Необходимо подчеркнуть, что в условиях рыночных отношений предприятие будет переходить в режим ПР только в обмен на достаточно сильные финансовые стимулы. Поэтому в ПР прежде всего заинтересованы энергокомпании с весьма напряженным балансом генерирующих мощностей, дефицитом высокоманевренных энергоустановок и серьезными трудностями прохождения ночного провала графика электрических нагрузок энергосистемы.

Для энергоемких потребителей с высоким регулировочным потенциалом может оказаться целесообразным переход с двухставочного тарифа (с оплатой участия в совмещенном максимуме энергосистемы) на тарифы, дифференцированные по зонам суток. Эти тарифы стимулируют потребителей не только к снижению нагрузки в пиковой зоне графика, но и к заполнению зоны ночного провала. При этом «тарифное меню» может предложить потребителю на выбор следующие варианты:

- ставки платы за 1 кВт·ч электроэнергии, дифференцированные по трем зонам суток: пиковой, полупиковой, ночной;
- ставки платы за 1 кВт·ч электроэнергии, дифференцированные по двум зонам суток: дневной и ночной;
- сохранение ставки платы за 1 кВт заявленной мощности потребителя и дифференцированные по трем зонам суток ставки платы за потребленную электроэнергию.

Пример 1. Технологическая установка потребляет в номинальном режиме 40 МВт. Номинальный часовой выпуск продукции 4,2 т/ч. Число календарных дней работы установки в году 350. Суточная продолжительность работы установки 24 ч. Годовой выпуск продукции 35300 т. Средняя норма расхода электроэнергии при номинальном режиме 12000 кВт·ч. Годовой расход электроэнергии $400 \cdot 10^6$ кВт·ч. Удельные материальные затраты 187 руб./т. Продолжительность дневного максимума в энергосистеме 2 ч. вечернего – 4ч (всего 6 ч).

1. Двухставочный тариф на электроэнергию: плата за мощность 21,79 руб./(кВт·мес); плата за энергию 0,19 коп./(кВт·ч). В целях снижения платы за электроэнергию предполагается снизить потребляемую мощность в часы максимума энергосистемы на 30%. При этом часовая производительность установки снизится до 60% от номинальной; удельный расход электроэнергии возрастет до 13 900 кВт·ч/т (15,8%), материальные затраты увеличатся на 5%.

Чтобы в последующие часы суток недовыпуск продукции в часы максимума был компенсирован, необходимо увеличить часовую производительность установки на 13% по сравнению с номинальной (допустимый форсированный режим). При этом удельный расход электроэнергии возрастает до 12300 кВт·ч/т (2,5%); удельные материальные затраты – на 1,5%. При этих данных годовой расход электроэнергии будет увеличен на 19 051 200 кВт·ч; материальные затраты – на 133 599 руб./год.

Экономия на оплате мощности составит:

$$\Delta_{\text{ОМ}} = P_{\text{м}} \cdot t \cdot P_{\text{ном}} \cdot \Delta P,$$

где $P_{\text{м}}$ – плата за мощность;

t – время;

$P_{\text{ном}}$ – потребление ЭЭ в номинальном режиме;

ΔP – снижение потребляемой мощности в часы максимума.

$$\Delta_{\text{ОМ}} = 21,79 \cdot 12 \cdot 40 \cdot 0,3 \cdot 10^3 = 3\,137\,760 \text{ руб./год.}$$

Чистая экономия от регулировочного мероприятия равна:

$$\Delta_{\text{чэ}} = \Delta_{\text{ОМ}} - P_{\text{э}} \cdot 10^{-2} \cdot W_{\text{год}} - M$$

где $\Delta_{\text{ОМ}}$ – экономия по оплате мощности;

$P_{\text{э}}$ – плата за энергию;

$W_{\text{год}}$ – годовой расход электроэнергии;

M – материальные затраты.

$$\Delta_{\text{чэ}} = 3\,137\,760 - 0,19 \cdot 10^{-2} \cdot 19\,051\,200 - 133\,599 = 2\,967\,964 \text{ руб./год.}$$

Литература

1. edu.stashko [Электронный ресурс] / Учебное пособие для бакалавров. – Москва, 1997. – Режим доступа : <http://edu.stashko.ru> – Дата доступа : 02.05.18
2. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. Пособие / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.