

Автоматизированное управление электропотреблением торгового центра (здания с торговыми площадями)

Гнездилов Дмитрий Константинович

*Дальневосточный государственный университет путей сообщений
студент*

Научный руководитель:

Соловьев В.А.

*Комсомольский-на-Амуре государственный университет
д.т.н., проф.*

Аннотация

Рассматриваются вопросы энергосбережения при эксплуатации вентиляторных и насосных установок, а также система автоматизированного управления энергопотреблением зданий с торговыми площадями. Предложенная трехконтурная система автоматизированного управления нагревом воздуха позволяет уменьшить потери мощности и обеспечить стабилизацию электропотребления.

Ключевые слова: торговые площади, преобразователь частоты, энергоэффективность.

Automated electrical consumption of a shopping center (buildings with shopping areas)

Gnezdilov Dmitrii Konstantinovich

*Far Eastern State Transport University
Student*

Research Supervisor:

Solovyev V.A.

*Komsomolsk-on-Amur State University
professor*

Abstract

The issues of energy saving in the operation of fan and pump installations, as well as the system of automated energy management of buildings with retail space are considered. The proposed three-circuit system for automated control of air heating allows you to reduce power losses and ensure the stabilization of power consumption.

Keywords: retail space, frequency converter, energy efficiency.

Актуальность темы

По технологическим показателям электроэнергии в настоящее время не имеет альтернативы практически во всех отраслях народного хозяйства, особенно для привода мощных механизмов.

Преимущество электрической энергии в отношении других видов энергии заключаются в следующем [2]:

- возможности концентрации производства электроэнергии и удельных расходов топлива;
- возможности передачи ее на значительное расстояние;
- возможности создания электрических машин мощностью от нескольких ватт до сотен киловатт для привода различных механизмов;
- возможности гибкого автоматизированного управление с использованием бесконтактных устройств, дистанционного управления и контроля за технологическим процессом, применение автоматизированных систем управления;
- значительных гигиенических и положительно экологических показателей, что особенно важно в условиях защиты окружающей среды от негативного воздействия других видов энергии.

Опыт индустриально развитых стран показал, что при решении вопроса о направлении капиталовложений на увеличение производства электроэнергии или на энергосбережение всегда получается положительный ответ в пользу инвестиций в энергосбережение. Важной предпосылкой энергосбережения в сфере бытовых потребителей и общественных зданий является подорожание топлива, в том числе и тепловой энергии. Это требует экономного использования электроэнергии всеми элементами благоустройства зданий, в том числе в системах вентиляции, кондиционирования, насосных установках и др.

Целью работы является анализ основных путей снижения электропотребления торговых площадей и разработка энергосберегающих систем электропотребления

Основной материал

В настоящее время определены наиболее перспективные направления снижения электропотребления для систем вентиляции, нагрева и насосных установок, применяемых на торговых площадях:

- правильный выбор мощности электродвигателей для систем вентиляции, нагрева насосных установок с учетом реального графика нагрузки и режима работы;
- разработка и внедрение частотно-регулируемых электроприводов для малых и мощных систем вентиляции, нагрева и насосных установок;
- разработка, изготовление новых и совершенствование существующих средств контроля и измерения энергетических и технологических параметров систем вентиляции и нагрева и насосных установок;
- создание системы стабилизации электропотребления вентиляторными и насосными установками.

Первое направление энергосбережения – это правильный выбор мощности электродвигателя вентилятора или насоса с учетом его режима работы (S1, S2, S3 и др.) и реального графика нагрузки позволит не только обеспечить надежную работу электропривода, но и значительно уменьшить потери мощности во время его работы. И так, если выбранный двигатель для вентилятора или насоса имеет мощность, меньше номинальной, то есть $P_B < P_{ном}$ или $P_H < P_{ном}$, то во время работы его с номинальной нагрузкой обмотки статора двигателя будут перегреваться, срок службы этих электродвигателей сокращается в десятки раз, а при возможных пиковых нагрузках не будет обеспечиваться нормальная работа привода.

Если же выбран двигатель для вентилятора или насоса имеет мощность, которая больше номинальной, то есть $P_B > P_{ном}$ или $P_H > P_{ном}$, то недогруженный электродвигатель потребляет больше реактивной мощности, что приводит к росту потерь в меди, снижению КПД двигателя и $\cos\phi$. Поэтому выбранная по существующей методике мощность двигателя вентилятора или насоса должна строго соответствовать величине и характеру нагрузки [3].

Практикой доказано [2], что целесообразна замена электродвигателей, работающих с загрузкой 45-70%. Капитальные затраты на установку электродвигателей меньшей мощности окупаются за счет экономии электроэнергии.

Но в каждом конкретном случае целесообразность замены двигателей должна быть подтверждена расчетом экономии электроэнергии как в самом электродвигателе, так и в электрических сетях.

Суммарные потери активной мощности ΔP для существующего и нового электродвигателя можно определить по формуле:

$$\Delta P = [Q_{н.х.} (1 - k_3^2) + k_3^2 Q_n] \cdot k_3 + \Delta P_{н.х.} + k_3^2 \Delta P_{н.з.} \text{ кВт} \quad (1)$$

где: $Q_{н.х.} = \sqrt{3} U_{ном} I_{н.х.} \sin \phi$ – реактивная мощность, которую потребляет электродвигатель в режиме холостого хода, кВАр;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение двигателя, кВ;

$I_{н.х.}$ – ток холостого хода двигателя, А;

k_3 – коэффициент загрузки, равный отношению реальной мощности двигателя к номинальной;

Q_n – реактивная мощность двигателя при номинальной нагрузке, кВАр;

k_3 – коэффициент повышения потерь при переходных режимах (принимается $k_3 = 0,1 \div 0,15$)

$\Delta P_{н.х.}$ – потери холостого хода двигателя, кВт;

$\Delta P_{н.з.}$ – прирост потерь активной мощности при полной нагрузке, кВт

Номинальную мощность P_δ , напряжение, ток, потери холостого хода, КПД электродвигателя (η_n) при полной нагрузке определяются по паспортным данным оборудования, коэффициент $\cos\phi$ рассчитывается по результатам измерений Q_n и $\Delta P_{н.з.}$ и по формулам:

$$Q_n = P_\delta \operatorname{tg} \phi_n / \eta_n \text{ кВАр} \quad (2)$$

$$\Delta P_{н.з.} = P_{\partial} (1 - \eta_n) / [\eta_n (1 + \gamma)] \text{ кВт} \quad (3)$$

$$\text{где } \gamma = \Delta P_{н.х.} / (1 - \eta_n \Delta P_{н.х.})$$

Снижение ΔP (1) рассчитывают для существующего электродвигателя ΔP_1 и нового ΔP_2 , мощность которого максимально приближена к средней нагрузке. Если $\Delta P_1 - \Delta P_2 > 0$, то замена существующего электродвигателя на двигатель меньшей мощности целесообразна. В этом случае будет иметь место снижение потерь электроэнергии ΔA_e , определяемых:

$$\Delta A_e (\Delta P_1 - \Delta P_2) \cdot t_q, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (4)$$

где t_q – среднее за год время работы двигателя, ч.

Капитальные затраты на приобретение нового двигателя можно не учитывать, если освободившийся электродвигатель будет использован в другом технологическом агрегате. Если нет, то стоимость определяется

$$B = q_3 \cdot \Delta A_e, \text{ руб} \quad (5)$$

где – тариф на электроэнергию, руб/кВт

Величина B (5) должна быть не больше приведенных затрат на новый двигатель с учетом амортизации, то есть:

$$q_3 \cdot \Delta A_e \geq K_{\partial} (E_n + E_a) \text{ руб} \quad (6)$$

где K_{∂} – капитальные затраты на новый электродвигатель.

Целесообразность внедрения автоматизированных систем управления работой электродвигателей следует решать в каждом конкретном случае. Но во всех случаях капитальные затраты на установку систем автоматизации и годовые затраты на ее обслуживание должны перекрываться стоимостью сэкономленной электроэнергии, то есть

$$Z_3 \cdot \Delta A_e \geq K_{авт} \cdot E_n + H_{авт}, \quad (7)$$

где: Z_3 –затраты на электроэнергию (для отдельного хозяйства – это тариф на электроэнергию)

$K_{авт}$ – капитальные затраты на систему автоматизации;

$H_{авт}$ – годовые затраты на систему автоматизации без учета стоимости электроэнергии.

Снижение мощности электродвигателей, а следовательно, расхода электроэнергии в вентиляторных и насосных установках возможно также путем повышения КПД вентилятора или насоса. Эффективным способом снижения расхода электроэнергии является замена вентиляторов и насосов старых конструкций более совершенными. В первую очередь замену следует делать оборудования, отработавшего уже 15-20 лет и более. Экономия электроэнергии за счет установки оборудования (например, насоса) с более высоким КПД можно определить:

$$\Delta A_{\eta} \geq 0,98H (1/\eta'_n - 1/\eta''_n) \cdot Q \cdot 1/t_p, \quad (8)$$

Второе направление энергосбережения – внедрение регулируемых электроприводов для систем вентиляции, нагрева и насосных установок.

Доказано [2], что 65% электроэнергии в энергетике, промышленности и других отраслях хозяйства потребляют асинхронные электродвигатели

вентиляторных и насосных установок, работающих с постоянной скоростью. Применение электроприводов с регулируемой скоростью является ключом к энергосбережению, повышению рентабельности и конкурентоспособности предприятия, улучшение экологического состояния государства.

Для частотного регулирования скорости асинхронных двигателей применяют высоковольтные и низковольтные преобразователи частоты (ПЧ), причем высоковольтные ПЧ начали внедрять в 90-х годах прошлого века. Наиболее распространенными являются двухзвеньевые ПЧ, то есть преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока. Суть такого преобразования состоит в том, что на первом этапе переменный ток (напряжение) частотой 50 Гц превращается в постоянный, а на втором – осуществляется инвертирование, то есть постоянный ток (напряжение) превращается в переменный с одновременным изменением частоты от 50 Гц и меньше. КПД таких преобразователей достаточно высок и находится в пределах $96,5 \div 98,5\%$.

Важным значением при применении ПЧ для действующих стандартных электродвигателей должна быть их совместимость. Следует учитывать, что за счет высших гармоник в кривой тока инвертора и ухудшение условий охлаждения имеет место увеличение дополнительных потерь в двигателе и, как следствие, снижение допустимого момента. Поэтому важным является применение широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Использование ШИМ при управлении инвертором ПЧ позволяет сформировать квазисинусоидальный ток в АД, что позволяет получить наибольшую эффективную электромагнитную совместимость инвертора и электродвигателя практически без разгрузки последнего. В настоящее время продолжается совершенствование технических решений и схем низковольтных и высоковольтных преобразователей частоты.

Третье направление энергосбережения предполагает совершенствование существующих средств контроля и измерения технологических и энергетических параметров и показателей систем вентиляции, нагрева и насосных установок, а также разработку и изготовление новых. Совершенствование существующих средств контроля предусматривает введение соответствующих корректирующих цепей, позволит значительно повысить точность контроля и измерения основных параметров систем. Большинство средств контроля не имеют аналоговых выходных сигналов, что тормозит их применение в приведенных выше объектах. К тому же, некоторые важные параметры невозможно контролировать и измерять в связи с отсутствием датчиков, приборов и др.

Итак, разработка новых средств контроля и измерения технологических и энергетических параметров и показателей является весьма актуальной задачей и ее решение позволит реализовать четвертое направление энергосбережения, то есть построить энергосберегающие системы потребления электроэнергии вентиляторными и насосными установками.

В современных зданиях, имеющих торговые площади, широко

применяют системы централизованной и местной приточной и вытяжной вентиляции, кондиционирования и обогрева. Для управления этими системами наибольшее распространение получили механизмы центробежного типа, в которых статическая мощность на валу изменяется примерно пропорционально кубу скорости, то есть механизмы с вентиляторной характеристикой.

Экономная работа систем вентиляции и кондиционирования возможна только при переменном режиме нагрузки, определяемый колебаниями температур и влажности в помещениях, интенсивностью работы технологического оборудования и др.

Для электропривода таких систем в большинстве случаев используют асинхронные электродвигатели с фазным ротором [2]. Простым способом регулирования производительности вентилятора, применяют в настоящее время, является регулирование скорости двигателя путем введения в цепь ротора регулирующих резисторов. При регулировании скорости механизмов с вентиляторной характеристикой мощность на валу электродвигателя равна:

$$P_{\partial} = P_{\partial.ном.} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3, \quad (9)$$

где: P_{∂} – мощность двигателя в реальном режиме, кВт;

ω – скорость двигателя в реальном режиме, об / мин .;

$P_{\partial.ном.}$ – мощность в номинальном режиме, кВт;

$\omega_{ном}$ – скорость в номинальном режиме, об / мин.

Найдем электромагнитную мощность двигателя

$$P_e = \frac{P_{\partial}}{1-S} = \frac{P_{\partial}}{\omega/\omega_0}, \quad (10)$$

где: S – скольжение;

ω_0 – синхронная скорость, об/мин.

С учетом (9) находим

$$P_e = P_{\partial.ном.} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2, \quad (11)$$

Пренебрегаем потерями мощности в стали двигателя и механическими потерями, что справедливо с определенной точностью регулировки скорости введением в цепь ротора дополнительного резистора со значительным сопротивлением. Тогда потери мощности в двигателе

$$\Delta P = P_e - P_{\partial.} = P_{\partial.ном.} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 - P_{\partial.ном.} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3, \quad (12)$$

Максимальные потери, которые имеют место при регулировании скорости, можно найти, если

$$\frac{d(\Delta P)}{d\omega} = 0, \quad (13)$$

Путем дифференцирования (13) найдем:

$$\frac{d(\Delta P)}{d\omega} = P_{\text{д.ном.}} \frac{2\omega \cdot \omega_0}{\omega_{\text{ном}}^2} - P_{\text{д.ном.}} \frac{3\omega^2}{\omega_{\text{ном}}^2} = 0,$$

тогда: $\omega_{\text{макс}} = \frac{2}{3} \omega_0$

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{д.ном.}} \frac{4\omega_0^2}{9\omega_{\text{ном}}^3} - P_{\text{д.ном.}} \frac{8\omega_0^2}{27\omega_{\text{ном}}^3} = \\ &= \frac{4}{27} P_{\text{д.ном.}} \frac{\omega_0}{\omega_{\text{ном}}} \end{aligned}, \quad (14)$$

Итак, для значений $\omega_{\text{ном}}$, близких к значению ω_0 , что характерно для асинхронных двигателей, работающих на жесткой части механической характеристики, максимальные потери мощности в роторной цепи составляют почти 15% мощности на валу двигателя.

Однако, если регулирования производительности вентиляторов осуществляется задвижками с электроприводом, то потери мощности увеличиваются с 15% до 38,5%, то есть в 2,5 раза [2].

Поэтому с целью энергосбережения в системах приточной вентиляции с нагревательной системой целесообразно для регулирования производительных вентиляторов применения частотно-регулирующих асинхронных короткозамкнутых двигателей. Это позволит разработать автоматизированную систему стабилизации электропотреблением вентиляторных установок. В настоящее время созданы надежные и экономичные устройства частотного регулирования скорости асинхронных электродвигателей, технико-экономические показатели которых достаточно высоки.

Для регулирования скорости электродвигателя, как правило, требуется изменение частоты от $f_{\text{ном}}$ к f_i , но уменьшение частоты от 50 Гц и ниже влияет на величину максимального момента, то есть на перегрузочную способность двигателя. Сохранение постоянной перегрузочной способности, а также коэффициента мощности и КПД электродвигателя при регулировании частоты f_i достигается путем одновременного изменения величины напряжения питания U_i , то есть надо обеспечить условие:

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \sqrt{\frac{M'_1}{M_1}}, \quad (15)$$

где: U_1, M_1 – напряжение, В; момент, Нм – при частоте $f_1 = 50$ Гц;
 U'_1, M'_1 – напряжение, В; момент, Нм – при частоте $f'_1 < 50$ Гц.

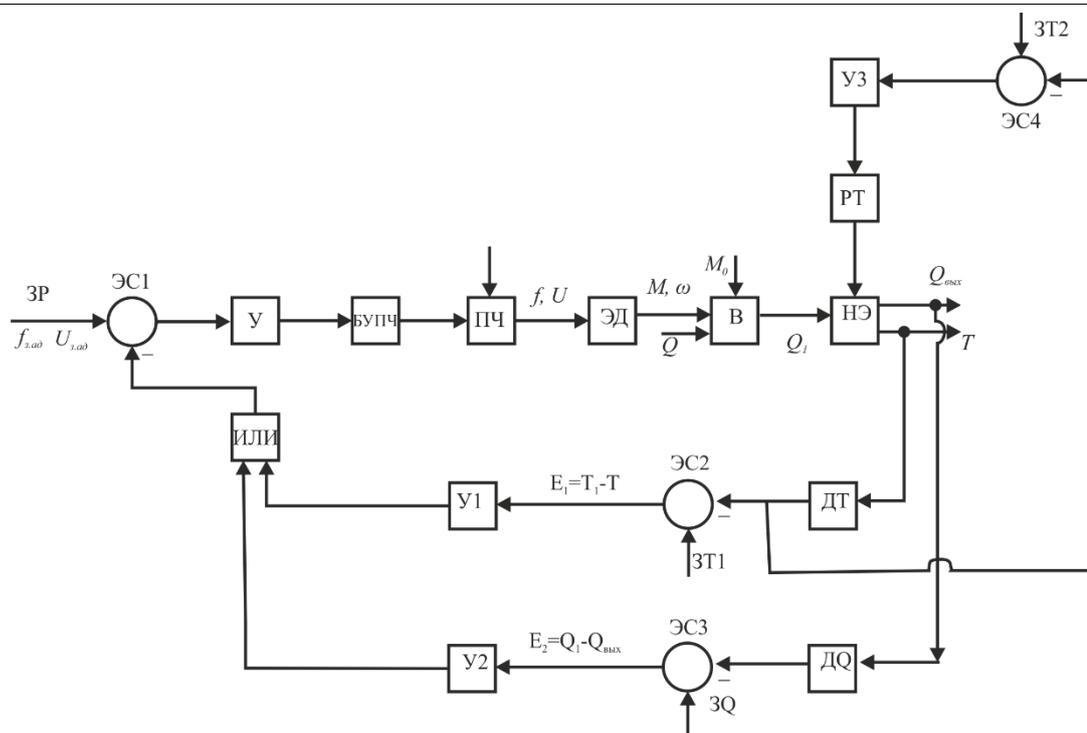


Рисунок 1 - Функциональная схема автоматизированного управления системой нагрева воздуха и вентиляции

Если скорость двигателя регулируется при постоянном момента нагрузки, то есть $M'_1 = M_1 = \text{const}$, то напряжение, которое подводится к двигателю, должна меняться пропорционально изменению частоты, то есть:

$$U'_1 = U_1 \frac{f'_1}{f_1}, \quad (16)$$

Исходя из условий допустимой нагрузки при регулировании скорости электродвигателя, когда $M = \text{const}$, мощность двигателя возрастает пропорционально скорости.

Для регулирования скорости двигателя, когда мощность постоянная, то есть $P_e = M\omega_1 = \text{const}$, момент нагрузки должен меняться по закону гиперболы, а напряжение согласно условию:

$$U'_1 = U_1 \sqrt{\frac{f'_1}{f_1}}, \quad (17)$$

Итак, применения частотно-регулируемого электроприводов для вентиляторных установок является одним из направлений снижения электропотребления. Кроме этого, энергосбережение этих установок может обеспечиваться:

- повышением КПД установок, путем замены старых малопродуктивных вентиляторов на более совершенные;
- отключением вентиляторных установок ночью, если отсутствуют люди;
- блокированием работы вентиляционных систем (в том числе индивидуальных вытяжных систем) с технологическими процессами и оборудованием, которое исключает холостой ход вентиляторов;

- автоматизацией работы вентиляторных установок.

Существующие схемы управления приточных систем вентиляции обеспечивают дистанционное и местное управление электропроводами вентиляторов, поддержания постоянной температуры воздуха, подаваемого в помещение, защита водяных калориферов от замораживания, сигнализацию системы. Все эти схемы являются разомкнутыми, что снижает их эффективность.

Нами предлагается трехконтурная замкнутая система автоматизированного управления приточной вентиляторной установкой с нагревательными элементами, которая позволяет осуществлять подачу теплого воздуха с меньшим потреблением электроэнергии за счет снижения потерь мощности в двигателе и других элементах системы. На рис. 1 изображена функциональная схема автоматизированного управления системой нагрева воздуха и вентиляции. Она содержит короткозамкнутый двигатель ЭД с преобразователем частоты ПЧ и блоком управления БУПЧ; вентилятор В; нагревательный элемент НЭ; регулятор температуры РТ; датчик производительности ДQ; задатчики температуры ЗТ1, ЗТ2; усилители У, У1, У2, У3; логический элемент «ИЛИ»; элементы сравнения ЭС1, ЭС2, ЭС3, ЭС4; задатчик режима ЗР; задатчик производительности вентилятора ЗQ. Замкнутая схема автоматизированного регулирования работает так. Первый контур. С помощью задатчика режима ЗР устанавливается напряжение и частота преобразователя частоты ПЧ, который электрически связан с электродвигателем ЭД, на валу ротора которого находится центробежный вентилятор В. Воздух через вентилятор проходит в элемент нагрева НЭ, для которого с помощью задатчика температуры ЗТ2 устанавливается температура НЭ. На выходе элемента НЭ устанавливается датчик производительности ДQ. Датчик температуры ДТ, как правило, устанавливается на выходе теплого воздуха, а также в помещении, куда подается теплый воздух. С помощью задатчиков ЗQ и ЗР устанавливается нужна производительность Q вентилятора. Если величина $Q_{\text{вых}}$ не отличается от заданного значения Q, то на выходе датчика ДQ сигнал отсутствует. Если величина $Q_{\text{вых}}$ больше или меньше заданной производительности, то на выходе датчика ДQ появляется сигнал, который сравнивается с сигналом задания, а величины разности через усилитель У2 и логический элемент «ИЛИ» подается на элемент сравнения ЭС1, который связан с блоком управления БУПЧ. Блок управления действует на преобразователь ПЧ и изменяет величину f и U таким образом, чтобы производительность на выходе вентилятора была постоянной.

Второй контур замкнутой системы автоматизированного управления действует тогда, когда температура, установленная с помощью задатчика ЗТ1, отличается от действительного значения температуры воздуха на выходе НЭ. Так что на выходе датчика температуры ДТ появляется сигнал, который подается на вход элемента сравнения ЭС2, а разница через усилитель ЭС1 и логический элемент «ИЛИ» подается на элемент сравнения ЭС1.

Далее сигнал от блока БУПЧ действует на ПЧ, который изменяет параметры таким образом, что меняется производительность вентилятора. Однако одновременно со вторым контуром, когда имеет место отклонение температуры воздуха от заданного значения, установлен ЗТ2 для определенного помещения, начинает работать третий контур. То есть выходной сигнал от ЗН подается на элемент сравнения ЭС4. Затем через усилитель У3 на регулятор температуры РТ, который меняет температуру НЭ таким образом, что температура в помещении остается стабильной.

Вывод

Предложенная трехконтурная система автоматизированного управления нагревом воздуха позволяет уменьшить потери мощности и обеспечить стабилизацию электропотребления.

Библиографический список

1. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики: учебник. М.: КНОРУС, 2012. 352 с.
2. Данилов Н.И., Евпланов А.И., Михайлов В.Ю., Щелоков Я.М. Энергосбережение. Введение в проблему. Екатеринбург: Сократ, 2001. 208 с.
3. Симаков Г. М., Кузнецов А. Ю., Зонов П. В. Автоматизированный электропривод: учеб. пособие. Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2015.