

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены вопросы рационального использования энергетических ресурсов на этапах проектирования, производства, эксплуатации и ремонта новых, а также модернизации существующих технических объектов и технологий. Представлено описание экспериментальной технологической установки, оснащенной измерительно-вычислительным комплексом и предназначенной для исследования энергетической эффективности гальванического производства. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Автотранспортный комплекс – один из главных потребителей топливно-энергетических ресурсов и загрязнителей биосферы.

Электроэнергия, производство которой в значительной степени связано с процессами сжигания углеводородного топлива, используется в автостроении при производстве заготовок и материалов, изготовлении деталей, в процессе механической, термической обработки, пластического деформирования и др.

На стадии эксплуатации транспорт (автомобильный, железнодорожный, водный), оснащенный ДВС, с наиболее оптимистичным значением КПД до 30% сжигает колоссальное количество жидкого и газообразного топлива на транспортную работу и холостые пробеги. Если учесть, что масса транспортного средства сопоставима с массой перевозимого им груза, а коэффициент использования грузоподъемности менее единицы, то доля энергоресурсов на холостые пробеги представляет существенную величину.

Значительное количество энергоресурсов потребляется не только на выполнение транспортной работы, но и на содержание транспорта. Сеть дорог, ремонтно-обслуживающих предприятий и вся транспортная инфраструктура были и остаются постоянными потребителями топлива, причем с условно-постоянными затратами. Обогреть в зимний период производственные, хозяйственно-бытовые и административные здания и сооружения приходится вне зависимости от эффективности работы активной части основных фондов.

Само производство кондиционного топлива для ДВС также связано с необходимостью потребления энергоресурсов в технологических процессах добычи, переработки, хранения и транспортировки сырья и продукции.

Меньшая часть топливно-энергетического ресурса потребляется на стадии утилизации транспорта, однако существенными оказываются экологические последствия процессов

хранения и переработки конструкционных и смазочных материалов. Необходимо содержать и обслуживать природоохранные сооружения.

Таким образом, на всех этапах создания, эксплуатации, ремонта и утилизации транспортных средств, а также для поддержания инфраструктуры автотранспортного комплекса необходимо решать задачу эффективного использования энергоресурсов, стоимость которых имеет устойчивую тенденцию к росту.

Основными направлениями энергосбережения являются:

- внедрение энергосберегающих технологий и оборудования;
- снижение энергопотребления на всех этапах (производство, эксплуатация, ремонт и обслуживание, утилизация) до минимально необходимого уровня;
- модернизация морально устаревшего оборудования в направлении объективно необходимых параметров функционирования;
- переход на альтернативные виды топлива;
- вторичное использование отработанного в производстве тепла на хозяйственно-бытовые нужды;
- внедрение автономных энергоустановок, являющихся альтернативой централизованным монопольным энергоисточникам.

Основным принципом энергосбережения можно считать философский постулат «ничего сверх меры». Этот принцип совпадает по целевой установке с требованиями экологической безопасности транспортного комплекса. Действительно, потребляемая на единицу продукции свыше объективно необходимой и достаточной меры тепловая энергия рассеивается в окружающей среде в виде тепловых загрязнений.

Производители экономически заинтересованы в приобретении и использовании энергосберегающих технологий и оборудования, повыша-

ющих конкурентоспособность продукции и услуг. Определенную сложность представляет процесс выбора энергосберегающих технологий и оборудования. Разработчики энергетического оборудования на основе расчетов с определенными допущениями, а зачастую декларативно указывают характеристики, значительно отличающиеся от объективных. Но даже в случае полного соответствия заявленных характеристик последние с течением времени под воздействием эксплуатационных факторов изменяются.

Для оценки эффективности работы тепловых машин используется термический коэффициент полезного действия η_T – отношение количества полученной работы $w = q_1 - q_2$ к количеству затраченной работы q_1 :

$$\eta_T = w/q_1 = 1 - q_2/q_1 \quad (1)$$

Оценку совершенства рабочего процесса тепловых двигателей принято осуществлять относительно идеала – цикла Карно. В силу необратимости реальных процессов ни одна тепловая машина не работает по циклу Карно. Тем не менее большинство инженерных решений, используемых для усовершенствования тепловых машин, направлены на приближение их к циклу Карно (регенерация, промежуточный подогрев рабочего тела при подводе теплоты, промежуточное его охлаждение при отводе теплоты и др.). Теоретическое количество теплоты, которое может быть выделено при сжигании топлива, никогда не используется полностью. Значительная ее часть теряется (в тепловых двигателях – до 70%), но только не для окружающей среды, куда попадает целый шлейф токсичных и вредных веществ. По данным исследований, кроме известных CO_2 , N_2 , SO_2 – более 280 наименований.

В процессе эксплуатации даже самый совершенный по конструкции реальный тепловой двигатель постепенно утрачивает способность эффективно использовать энергию горючего топлива. Например, у дизельных двигателей в результате интенсификации процесса изнашивания наблюдается повышенный расход топлива и увеличение дымности выхлопа. Определяя текущее значение КПД, можно установить граничное значение этого коэффициента, ниже которого двигатель необходимо выводить из эксплуатации для восстановления его технических параметров или списания.

Определение коэффициента полезного действия любого реального теплового процесса сводится к определению полезных и общих зат-

рат тепла или работы. Общие затраты тепла определяются исходя из значений теплоты сгорания соответствующего вида топлива. Различают теплоту сгорания топлива высшую Q_v и низшую Q_n . В процессе работы двигателей внутреннего сгорания используется низшая теплота сгорания Q_n , которая отличается от высшей теплоты сгорания Q_v тем, что тепло водяных паров уходит вместе с продуктами сгорания и не используется. Полезная работа, выполняемая тепловой машиной, может быть задана (например, в тонно-км) как эталон. Таким образом, для определения КПД ДВС при выполнении им транспортной работы необходимы эталонное значение величины нагрузки и перемещения, а также известное значение теплоты сгорания Q_n соответствующего вида топлива.

Несколько сложнее определить КПД реального теплового процесса нагрева топочных и иных устройств. Количество затраченного тепла и его качественные характеристики определяются тем же подходом, что и в случае с ДВС. Однако оценка величины полезного тепла сопряжена с трудностями учета теплового эффекта в условиях неизолированности системы. Передача тепла, например, в котельных агрегатах осуществляется излучением и конвекцией, а само горение может происходить гомогенно или гетерогенно на поверхности раздела двух фаз. В процессе горения продукты сжигания экранируют поверхности теплообмена, изменяя пропорции конвективной и лучистой составляющей теплового потока. Аналитические решения задач конвективного и лучистого теплообмена получены лишь для ограниченного круга простейших задач, при введении тех или иных упрощающих допущений.

Вычисление теплового эффекта по результатам измерения полученного в процессе нагрева продукта также затруднительно, поскольку в процессе нагрева возникают потери, закономерность изменения которых сложно просчитать, а значение удельных теплоемкостей продуктов известно в основном для чистых продуктов ограниченного перечня.

Для решения практической задачи о выборе наиболее эффективного способа нагрева и соответственно оборудования необходимо:

- 1) определить реальное значение величины расхода тепловой энергии;
- 2) определить потери тепловой энергии в окружающую среду или количество полезного тепла на производство продукции.

Наиболее точно определяются тепловые характеристики электрических энергетических установок. Существуют счетчики электроэнергии, регистрирующие количество потребленной энергии с достаточной для практических нужд точностью. Однако насколько эффективно затрачивается электроэнергия Q_3 , можно оценить только в случае известных значений удельной теплоемкости и массы нагреваемого продукта. После вычисления теоретически необходимого количества тепла Q_{II} по формуле:

$$Q_{II} = m \cdot c_p \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где m – масса продукта, кг;

c_p – удельная теплоемкость, Дж/кг·°С

Δt – разница температур конечного и начального состояния, °С,

и перехода к единой системе измерения (например, электрической) значения энергии можно определить текущее значение КПД теплового процесса при использовании электронагревательного устройства (с определенными и неизменными параметрами установки) по формуле:

$$\eta_3 = 1 - Q_{II}/Q_3 \quad (3)$$

Современный уровень развития электронной техники позволяет для измерения электрической энергии применять малогабаритные и многофункциональные устройства, выполненные на базе микроэлектроники. Такие устройства позволяют измерять и регистрировать параметры всех входящих электрических величин, например напряжение и ток по каждой из фаз, мощность, потребляемую от сети, и энергию, затрачиваемую на выполнение работы. По значениям этих параметров можно определить коэффициент полезного действия электроэнергетического процесса, на основании которого можно производить анализ эффективности работы оборудования.

В Оренбургском государственном университете проводятся исследования, направленные на определение эффективности работы оборудования, используемого в автотранспортном комплексе. Для выполнения этих исследований была разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая измерять основные теплоэнергетические параметры оборудования. В качестве объекта исследований выбрана стандартная ванна для нагрева технологических растворов действующего гальванического производства. Длительный разогрев химических растворов до рабочих температур, при неправильном подборе нагревателя и неэффек-

тивной теплоизоляции приводит к сверхнормативному испарению компонентов и загрязнению окружающей среды. На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки. Элементами установки являются: гальваническая ванна (ГВ), электрический нагреватель (Н), шкаф управления (ШУ), датчик температуры (Д), измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), выполненный на базе персонального компьютера (ПК). Корпус гальванической ванны покрыт слоем теплоизоляции (ТИз).

Измерительно-вычислительный комплекс предназначен для измерения и регистрации значений потребляемой от электрической сети мощности и температуры раствора. Каналы измерительного преобразования (ИП) для измерения температуры и потребляемой мощности функционально и конструктивно выполнены как самостоятельные модули и подключаются к параллельному порту ПК через блок гальванической развязки. Структурная схема ИВК приведена на рисунке 2.

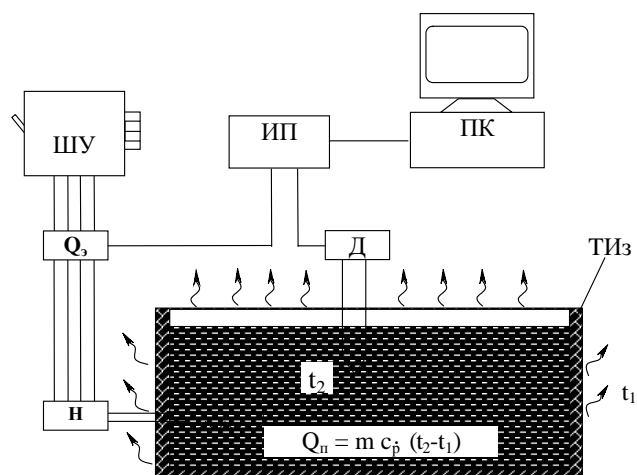


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

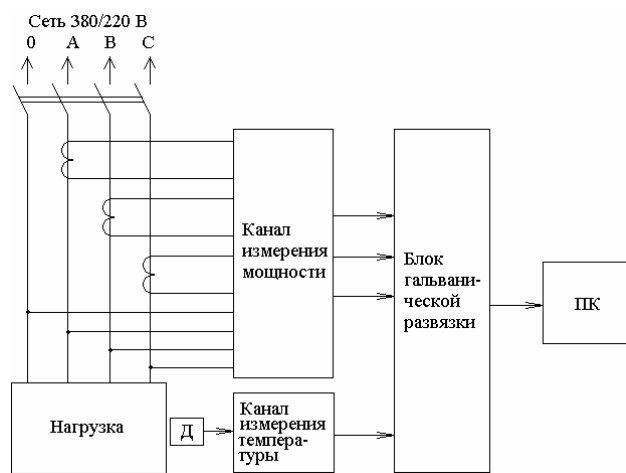


Рисунок 2. Структурная схема ИВК

Канал измерения температуры допускает использование в качестве первичного измерительного преобразователя Д термометра сопротивления типа ТСП-100 (рабочий диапазон температур 0-320° С) или термоэлектрических преобразователей (термопар) типа ТХА, ТХК, ТПП (рабочие диапазоны температуры соответственно: 0-600° С, 0-1100° С и 0-1100° С).

При разработке ИП были учтены условия эксплуатации, характеризующиеся воздействием сильных электромагнитных помех, возникающих при протекании по силовым цепям установки токов до 100 А в каждой фазе. Воздействие этих полей проявляется в виде продольной и поперечной помех на входе канала измерения температуры.

Канал измерения температуры выполняет нормализацию входного сигнала и преобразует его в широтно-импульсный модулированный (ШИМ) сигнал. Выбор этой формы представления информации позволил обеспечить простое и эффективное решение оптоэлектронной гальванической развязки канала и реализовать достаточно точный метод преобразования информации в цифровой код без использования аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Предел основной допускаемой погрешности канала составляет 0,2%. Дополнительная температурная погрешность в рабочем диапазоне температур 0-40° С не превышает значения основной погрешности.

Частота ШИМ-сигнала выбрана равной частоте питающей электросети. Этим обеспечивается эффективное подавление поперечных помех с частотой сети и ее высших гармоник. Пусть входное напряжение u_{in} содержит составляющую полезного сигнала (на интервале периода сети T ее можно считать постоянной величиной U_0) и периодическую помеху, тогда входное напряжение можно представить в виде ряда Фурье

$$u_{in} = U_0 + \sum_{i=1}^n U_{mi} \sin\left(\frac{2\pi \cdot i}{T} \cdot t + \varphi_i\right), \quad (4)$$

где U_{mi} – амплитуда, а φ_i – фаза i -ой гармоники помехи. В установившемся режиме работу ШИМ можно описать уравнением баланса заряда

$$\frac{\tau}{T} \cdot E_0 + \frac{1}{RC} \int_0^T u_{in} dt = 0, \quad (5)$$

где τ – длительность импульса;

E_0 – величина опорного напряжения;

RC – постоянная времени интегрирования.

При точном равенстве периода ШИМ-

сигнала периоду сети его относительная длительность

$$\theta = \frac{\tau}{T} = -\frac{U_0}{E_0}. \quad (6)$$

Продольные помехи амплитудой до 100 В эффективно подавляются гальванической развязкой. Принятые меры позволили выполнить основные требования, предъявляемые к измерительным преобразователям повышенной помехозащищенности, что позволяет производить измерения температуры в условиях воздействия сильных электромагнитных полей, создаваемых энергосиловой частью установки.

Канал измерения потребляемой мощности определяет среднеквадратическое значение с учетом гармонических составляющих (True RMS) активной мощности по каждой фазе в рабочем диапазоне 0-22 кВт. Канал выполнен на интегральных схемах (ИС) ADE7757A, предназначенных для построения электронных однофазных счетчиков электроэнергии. Технические характеристики этих ИС превосходят требования по точности, предъявляемые стандартом IEC1036. Принцип действия ИС ADE7757A основан на перемножении мгновенных значений напряжения и тока с последующим усреднением.

Если предположить, что напряжение и ток имеют гармонический характер, то мгновенная мощность

$$p(t) = U_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi\right) \cdot I_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = 0.5 \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi + 0.5 \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos\left(\frac{4\pi}{T} \cdot t + \varphi\right), \quad (7)$$

где φ – фазовый сдвиг (коэффициент мощности);

U_m – амплитуда напряжения;

I_m – амплитуда тока.

Значение активной мощности можно получить путем интегрирования $p(t)$ на интервале T или путем подавления (фильтрации) второй гармоники

$$P = 0.5 \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi. \quad (8)$$

Аналогично определяются составляющие мощности высших гармоник.

Напряжения трехфазной сети подаются на входы ИС ADE7757A через резистивные делители, а токи каждой фазы – через понижающие трансформаторы тока, нагруженные на измерительные шунты.

По данным изготовителя, аналоговая часть микросхемы ADE7755A включает лишь АЦП и источник опорного напряжения. Вся дальней-

шая обработка сигналов, включая перемножение и фильтрацию, выполняется в цифровом виде. Такой подход обеспечивает высокую стабильность и точность при предельных значениях параметров окружающей среды и в течение длительного времени.

Информация об усредненном значении мгновенной мощности преобразуется в частоту выходных импульсов (ЧИМ-сигнал). Выходные каскады ИС ADE7757A обеспечивают работу на светоизлучающие диоды оптронов блока гальванической развязки. Линии связи между измерительными каналами и блоком гальванической развязки выполнены в виде токовой петли.

Программное обеспечение ИВК обеспечивает преобразование информации о температуре и мощности в цифровой код, линеаризацию градуировочных характеристик датчиков температуры, регистрацию данных на магнитном диске и отображение в виде графиков на экране монитора ПК. Линеаризация градуировочных характеристик выполняется по данным градуировочных таблиц. Определение значений температуры в интервалах между ближайшими узлами (один градус) выполняется методом линейной интерполяции.

Программа обеспечивает также реализацию функции калибровки каналов, измерения температуры и потребляемой мощности. Калибровка канала измерения температуры выполняется по двум реперным точкам, соответствующим 0° С и полной шкале. Калибровка канала измерения мощности выполняется по одной реперной точке независимо по каждой фазе. Выполнение калибровки позволяет исключить влияние на результаты измерения систематических составляющих основной аддитивной и мультипликативной погрешности.

Период регистрации измеряемых параметров задается таймером и составляет 10 секунд. Интервал регистрации задается пользователем в диапазоне от 1 до 24 часов. Преобразования ШИМ-сигнала канала измерения температуры и ЧИМ-сигналов канала измерения мощности в цифровой код выполняются программно на интервале времени, который может составлять 8-12 периодов напряжения питающей сети, этим обеспечивается синхронная фильтрация пульсаций частоты ЧИМ-сигналов.

Программа написана на языке Object Pascal в среде системы Delphi 6.0. Для работы программы необходима динамическая библиотека Qnttf.dll.

Целью выполненных на экспериментальной установке исследований являлось определение энергии, затрачиваемой на нагрев технологического раствора в процессе травления. Для проверки работоспособности ИВК вместо травильного раствора расчетный объем ванны заполнялся водой с известным значением теплоемкости.

На рисунке 3 представлены результаты тестового запуска ИВК с экспериментальной установкой, из которых можно делать следующие выводы:

1. Зарегистрирован характер изменения и текущие значения температуры технологического раствора.
2. Определены пределы колебаний суммарной мощности электрического нагревателя, в том числе по каждой из фаз.
3. ИВК позволяет оценивать эффективность

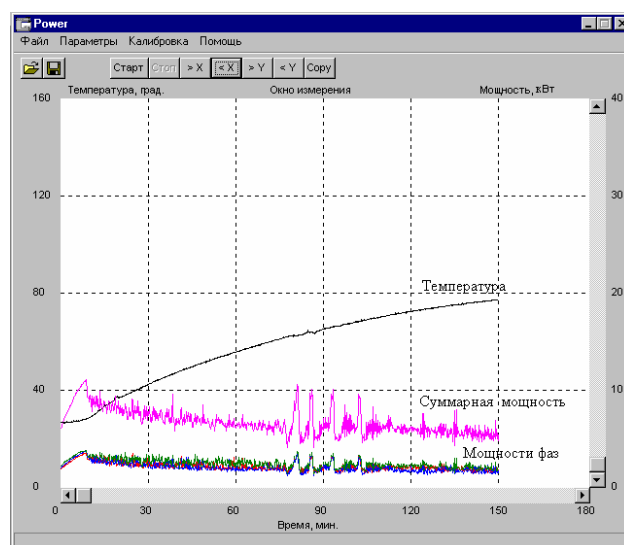


Рисунок 3. Форма представления результата измерения использования тепловой энергии для электро-энергетического оборудования.

Таким образом, ИВК позволяет решать задачи оценки тепловой эффективности технологических процессов и оборудования. Необходимо дальнейшее совершенствование ИВК в отношении удобства пользования и его надежности не только в лабораторных, но и производственных условиях.