

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, В.К. Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микро-объектов/ В.К. Александров, Ю. Н. Биенко, В.Н. Ильин. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 240 с.
2. Способ измерения диаметра отверстий: пат. 6564 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 B 11/12/ В.Н. Ильин; заявитель ГНУ «Институт электроники НАН Беларуси». – № а 20011062; заявл. 12.12. 2001; опубл. 30. 09. 2004// Бюл. «Изобретения. Полезные модели», №3, 2004. – С. 172.
3. Ильин, В.Н. Оптико-электронные измерительные преобразователи/ В.Н. Ильин, Е.В. Галушко. – Мн.: ИПП Минэкономики РБ, 1996. – 222 с.
4. Ильин, В.Н. Датчик для измерения линейных перемещений методом оптической триангуляции/ В.Н. Ильин, Д.А. Михаевич, В.Н. Фатыхов// Материалы XIV науч.-техн. конф. «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления». – М.: МГИЭМ, 2002. – С. 316-317.
5. Ландсберг, Г.С. Оптика/ Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
6. Нагибина, Н.М. Интерференция и дифракция света/ Н.М. Нагибина. – М.: Энергия, 1974. – 196 с.
7. Ильин, В.Н. Метод измерения ограничивающих диафрагм по дифракции света в ближней зоне/ В.Н. Ильин, С.А. Малышева, А.А. Ковалева// Оптоэлектронные и информационные технологии: сб. науч. трудов. – Мн.: УП «АРТИ-ФЕКС», 2003. – С. 146-171.

УДК 621.313.33-62.753.8

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.02.2008

**БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАЩИТА
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ****В.В. Гурин, канд. техн. наук, доцент, Е.В. Лавцевич, аспирантка,
П.А. Равинский, аспирант (УО БГАТУ)****Аннотация**

Приведена методика и результаты экспериментального исследования нагрева асинхронного двигателя в различных аварийных режимах. Выявлены особенности использования термоэлектрических датчиков для использования в температурной защите.

Приведены результаты разработки быстродействующей температурной защиты асинхронного электродвигателя с использованием термоэлектрических датчиков.

Введение

Универсальной защитой электродвигателей, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, является температурная защита, реагирующая на все аварийные режимы (кроме увлажнения обмоток). Она основана на контроле теплового состояния по температуре обмоток или других частей электродвигателя. Контроль температуры чаще всего производится с помощью первичных преобразователей температуры (термодатчиков). К ним предъявляются следующие требования:

- малая (до 3 с) величина постоянной времени нагрева;
- малые размеры (до 3 мм);
- диапазон рабочих температур от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до $+240^{\circ}\text{C}$);
- малая погрешность измерения;
- срок службы не менее 20 000 ч.

Проведенный нами анализ 10 разных видов известных термодатчиков по указанным выше требованиям показал, что в настоящее время наиболее перспективными для температурных защит являются датчики термоэлектрические, терморезистивные металлические пленочные и инфракрасные термометры.

В настоящее время известны температурные защиты с позисторными термодатчиками. В нашей республике получили распространение устройства встроенной температурной защиты (УВТЗ). Первая серия этих устройств поступила в хозяйства в семидесятые годы прошлого столетия. Эксплуатация УВТЗ выявила их следующие недостатки [1]:

- для подключения УВТЗ необходимы дополнительные монтажные работы, связанные с прокладкой двух проводов от датчиков к устройству защиты;
- запаздывание срабатывания УВТЗ в стопорном аварийном режиме в связи большой постоянной времени нагрева позисторов (20...30 с);
- в проводах подключения термодатчиков наводится паразитная ЭДС, что приводит к ложным срабатываниям защиты [2].

Для устранения этого недостатка разработано устройство защиты, встраиваемое в коробку выводов двигателя (УВТЗ-1В) [3]. В этом случае протягиваются 2 проводника от встроенного устройства до электромагнитного пускателя. Другие недостатки УВТЗ остались не устраненными.

Нами исследованы термоэлектрические датчики для температурной защиты и разработаны устройства защиты, лишенные этих недостатков.

Основная часть

В качестве термодатчиков выбраны термопары открытого типа ТХА-1199, исп. 52, имеющие диаметр термопроводов 0,2 мм, длину 700 мм. Термопровода изолированы кремнеземной теплостойкой нитью К11С6. Термопары производятся НП ООО “Энерго-прибор” (г. Минск), имеют низкую стоимость. Чувствительность термопары составляет 40,7 мкВ/°С, постоянная времени нагревания – 0,2 с.

Для определения места установки термопар в обмотке изготовленного электродвигателя, проверки инерционности термодатчика и определения характера изменения температуры в аварийных режимах был использован трехфазный асинхронный электродвигатель АИР71А6УЗ, имеющий следующие параметры: $U_n=380$ В; соединение обмоток статора в “звезду”; $P_n=0,37$ кВт; $I_n=1,4$ А; $n=900$ об/мин.

В электродвигателе с заводским изготовлением обмоток был снят подшипниковый щит и с помощью теплопроводного, термостойкого и неэлектропроводного клея “Радиал” российского производства (рабочая температура до 300°С) на поверхности обмотки закреплены 6 термопар. Места их установки указаны схематично на рис. 1а. Концы термодатчиков выведены через коробку выводов обмотки электродвигателя.

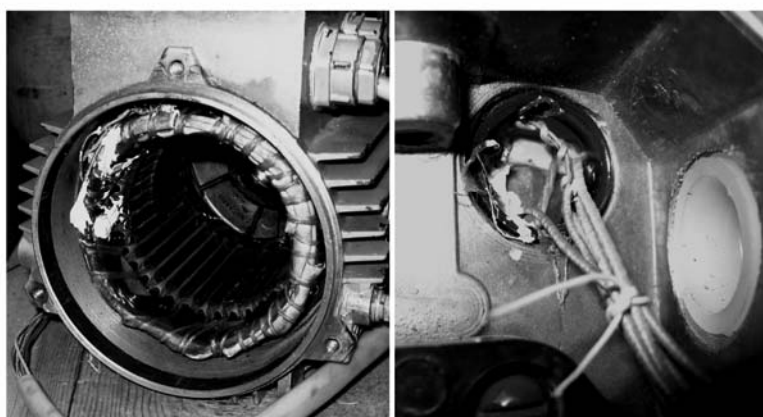
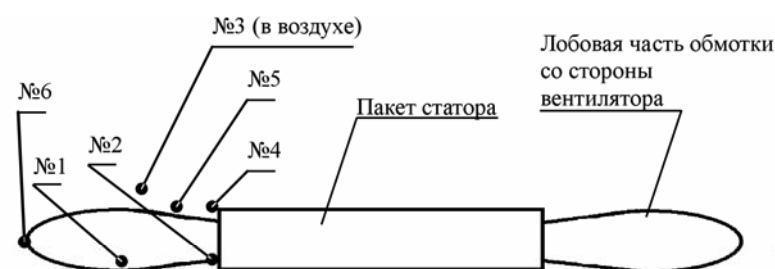


Рисунок 1. Размещение датчиков в обмотках двигателя (а) и внешний вид крепления датчиков в обмотках электродвигателя (б).

Термопары расположены следующим образом:

- № 1 – закреплена с внутренней обдуваемой стороны, по центру лобовых частей обмотки первой фазы;
- № 2 – установлена практически в пазовом отверстии с внутренней стороны обмотки второй фазы;
- № 3 – закреплена в воздухе с внешней тыльной стороны обмотки;

- № 4 – закреплена на торцевой поверхности пакета статора с внешней стороны;
- № 5 – установлена с внешней стороны лобовой части обмотки второй фазы;
- № 6 – размещена на самой вершине изгиба обмотки лобовой части второй фазы.

После установки термодатчиков электродвигатель был собран и закреплен на раме совместно с нагрузочной асинхронной машиной, включенной в режиме динамического торможения, которая позволяла создавать двукратную перегрузку по току. Контроль электрических параметров электродвигателя осуществлялся с помощью измерительного комплекта К506. Для контроля показаний шести термопар использовался измерительный 12-канальный микропроцессорный прибор “Сосна-004”. Этот прибор производит визуальную индикацию измеряемой температуры и номера канала, а также записывает в память все измерения. С помощью специальной программы данные извлекались из памяти прибора и при помощи программы “Excel” строились кривые, изображенные на рис. 2.

На рисунке 2а изображено изменение температуры обмотки в процессе нагрева при холостом ходе электродвигателя. Из рис. 2а видно следующее:

- изменение температуры при токе холостого хода носит экспоненциальный характер;
- термопара № 4 (пакет стали) имеет явно выраженное запаздывание;
- наибольшую температуру имеет термопара №6 на изгибе лобовых частей;
- практически одинаковую температуру имеют термопары № 1, № 2 и № 5;
- температура воздуха больше температуры пакета стали;
- наибольшая температура обмотки в режиме холостого хода достигается через 2400 с. Эта температура составила значительную величину – 69 °С.

Изменение температуры термодатчиков при аварийном неполнофазном режиме на холостом ходе двигателя показано на рис. 2б и 2в. Из этих рисунков следует:

- характер изменения температуры носит экспоненциальный характер;
- наименьшее изменение температуры показывает термопара № 3 (в воздухе);
- при обрыве фазы А наибольшую температуру имеют термопары № 6, № 5, № 2, а при обрыве фазы В – № 5, № 1, № 6.

Результаты опытов с двукратной перегрузкой по току при аварийном неполнофазном режиме изображены на рис. 3а и 3б. Из них следует:

- характер изменения температуры отличается от экспоненты;
- требуется на порядок меньшее время защиты при перегрузке, чем на холостом ходе, для нагрева обмотки до максимальной температуры (80 с против 800 с);

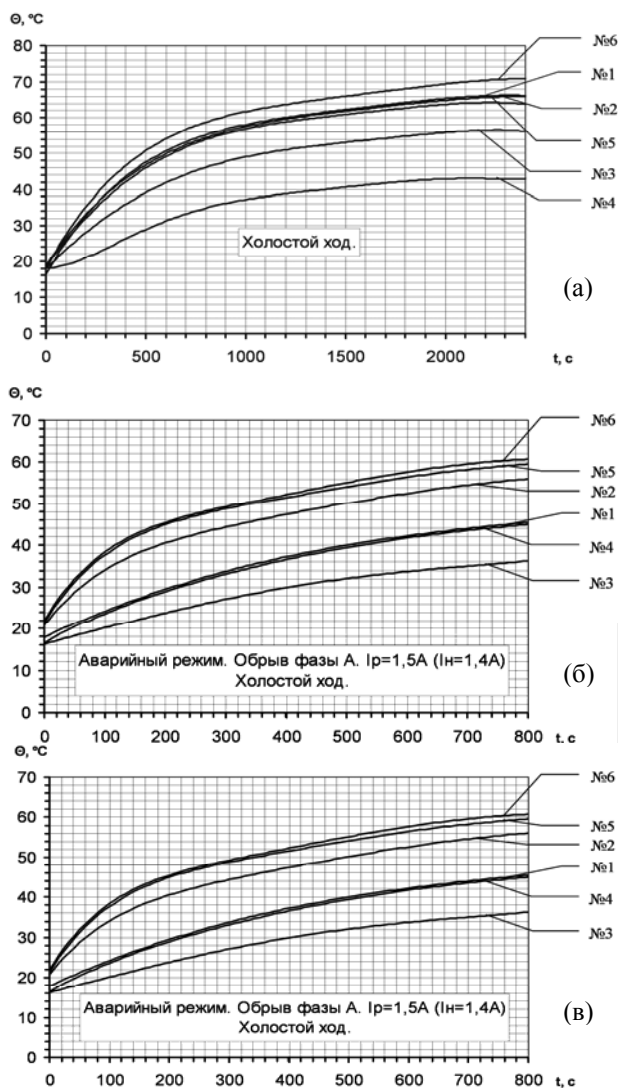


Рисунок 2. Изменение температуры термодатчиков при холостом ходе (а), при обрыве фазы А на холостом ходу (б) и при обрыве фазы В на холостом ходу (в)

– наблюдается значительное расхождение между температурами термодатчиков (примерно в 2 раза), закрепленных на обмотке с током и на обмотке без тока;

– наибольшая температура наблюдается в фазах, обтекаемых током перегрузки (при обрыве фазы А наибольшую температуру имеет датчик № 6, а при обрыве фазы В – датчик № 1);

– наименьшую температуру имеют датчики, установленные в воздухе (№ 3) и на пакете стали (№ 4).

Для опытов стопорного режима была выбрана наиболее нагреваемая термопара №6. Результаты опыта изображены на рис. 3в. Из рисунка 3в следует, что за время примерно до 20 с нагрев происходит по линейной зависимости, далее скорость нагрева незначительно уменьшается. Через 40 с обмотка достигает температуры 100°C. Не наблюдалось заметной инерционности в показаниях термопары.

Для измерения температуры с помощью термопары требуется стабильный чувствительный усилитель и автоматическая компенсация ЭДС холодных спаев. Для удовлетворения этих условий реализована схема на операционном усилителе OP291 фирмы “Analog Device”. Принципиальная электрическая схема усилителя одного канала температурной защиты с термоэлектрическим датчиком изображена на рисунке 4.

Термопара типа ТХА подключалась к клеммам блока. Возле клемм размещался термокомпенсационный диод VD1 типа IN914, включенный в прямом направлении. Совместно с резисторами R8 и R7 он обеспечивает термокомпенсацию холодных спаев. Настройка нуля на выходе схемы производилась резистором R5 при погружении термопары в таящий лед, а коэффициент усиления регулировался резистором R11 таким образом, чтобы при температуре кипящей воды (100°C) на выходе операционного уси-

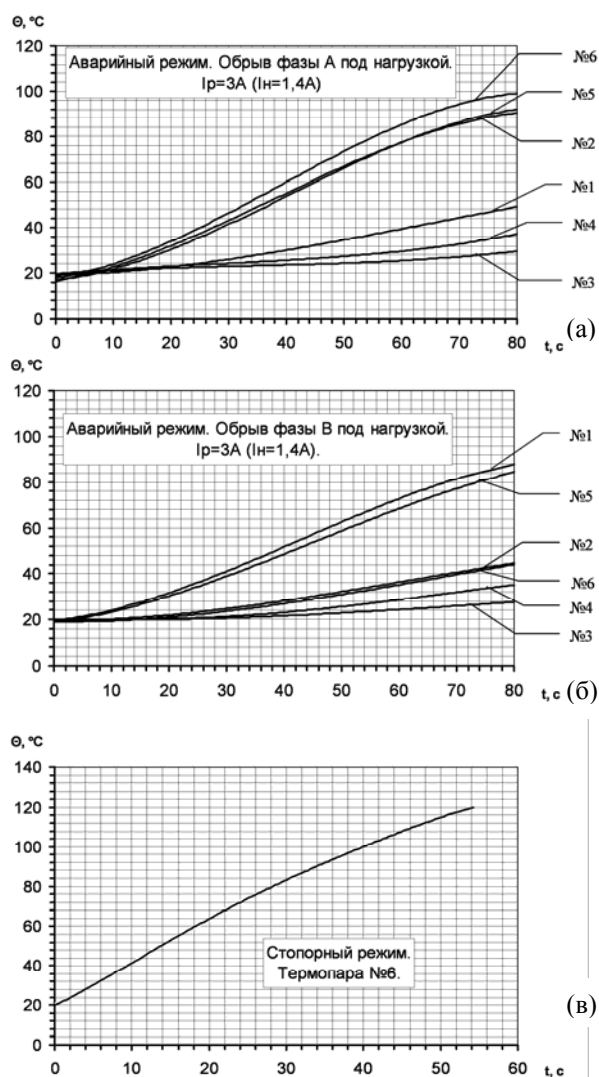


Рисунок 3. Изменение температуры термодатчиков при обрыве фазы А и двукратной перегрузке по току (а), фазы В и двукратной перегрузке по току (б) и обмотки в стопорном режиме (в).

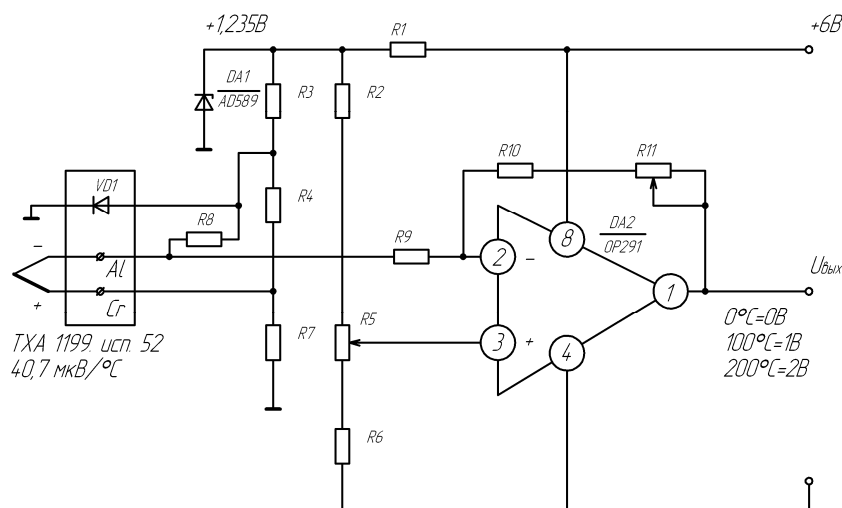


Рисунок 4. Принципиальная электрическая схема усилителя одного канала температурной защиты с термоэлектрическим датчиком.

лителя устанавливалось напряжение 1В. Питание мостовой схемы с резисторами R2...R8 осуществляется от интегрального стабилизатора AD589, а операционный усилитель получает питание от стабилизированного источника ± 6 В со средней точкой.

После отладки одного канала защиты и проверки его в работе при контроле стопорного режима двигателя была разработана защита с тремя термодатчиками. Принципиальная электрическая схема трехканальной температурной защиты представлена на рис. 5. Блоки A1, A2, A3 построены по одной и той же схеме, соответствующей рис. 4. В устройстве используется одна микросхема OP491, имеющая 4 одинаковых операционных усилителя. Три операционных усилителя используются в блоках A1, A2, A3. Четвертый усилитель DA1.4 используется как компаратор. С выхода трех каналов A1, A2, A3 напряжение, пропорциональное температуре, поступает на логическую схему "ИЛИ", выполненную на диодах VD3, VD4, VD5, а с выхода этой схемы – на делитель R6–R7, с выхода делителя – на неинвертирующий вход компаратора DA1.4. Выход компаратора связан с входом транзисторной оптопары U, в коллекторную цепь которого включено герконовое реле KV.

Блок питания для данной схемы образован из трехфазного двухполупериодного выпрямителя, входы которого через резисторы R1...R3 и конденсаторы C1...C3 подключены к фазам питающей сети, а на входе включены стабилитроны VD1...VD2 и интегрирующие конденсаторы C4 и C5. На выходе каждого из стабилитронов устанавливается напряжение 4,7 В. Полное напряжение схемы 9,4 В. На это напряжение включается интегральный стабилизатор DA2 типа 78L06. На его выходе устанавливается напряжение +6 В. Половина этого напряже-

ния (+3 В) подается на блоки A1...A3 и на компаратор DA1.4. Оптотранзистор U и реле KV включается на полное напряжение схемы 9,4 В. Инвертирующий вход компаратора DA1.4 подключен к делителю напряжения R4–R5.

Температурная защита работает следующим образом. При включении электромагнитного пускателя KM питание подается на блок питания устройства. На выходе блоков A1...A3 появляется напряжение, пропорциональное температуре в местах установки термодатчиков. На выходе диодного ИЛИ появляется наибольшее из напряжений блоков A1...A3, которое подается на делитель R6–R7. Если напряжение на инвертирующем входе компаратора DA1.4 выше, чем на неинвертирующем входе, то на выходе микросхемы DA1.4 уста-

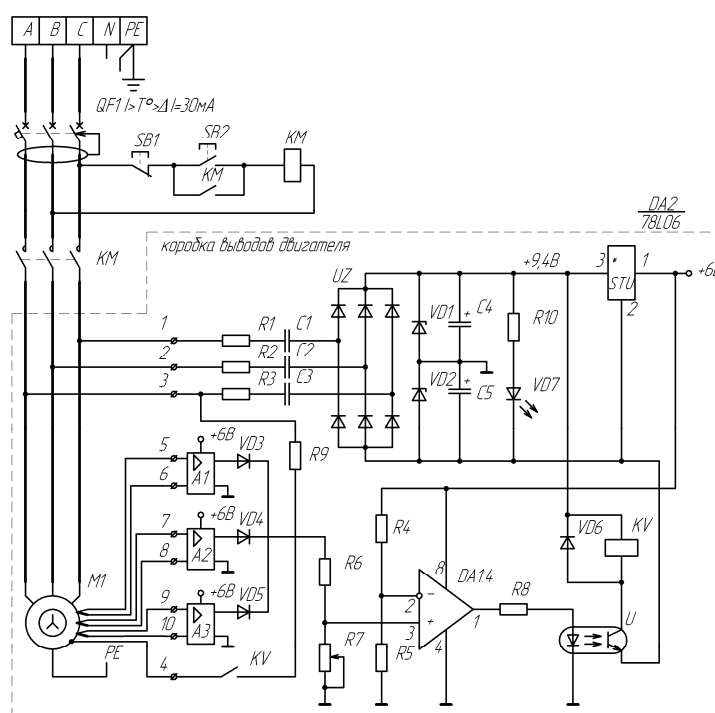


Рисунок 5. Принципиальная электрическая схема быстродействующей температурной защиты асинхронного электродвигателя.

навливается нулевое напряжение, оптотранзистор U закрыт, реле KV отключено.

Если температура датчиков достигает предельного значения, то напряжение на неинвертирующем входе компаратора DA1.4 превысит значение напряжения на инвертирующем входе и на выходе его появится положительное напряжение, в результате чего оптотранзистор U откроется и сработает реле KV. Его контакт KV замкнется и создаст через резистор R9 искус-

ственную утечку тока с фазы на корпус, отчего дифференциальный выключатель QF сработает и отключит электродвигатель от сети.

Разработанное устройство защиты успешно прошло лабораторные испытания в лаборатории автоматической защиты электрооборудования БГАТУ.

Выводы

1. Требуется установка термопар на обмотке каждой фазы.
2. Открытые термопары типа ТХА-1199 исп. 52 могут быть использованы для создания температурной защиты электродвигателя.
3. Теплопроводный термоклей “Радиал” российского производства обеспечивает надежное крепление термопар к поверхности обмотки и изоляцию мета крепления.
4. В изготовленном электродвигателе термопары могут быть закреплены на открытой части обмотки; при ремонте обмотки они могут устанавливаться внутри обмотки.
5. Использовать термопары в воздухе или крепить их на пакете статора не рекомендуется. В связи с этим авторы считают неприемлемым предложение использовать термодатчик, закрепленный в корпусе электродвигателя (на месте рымболта) [4].
6. В разработанной температурной защите не надо прокладывать проводники от коробки выводов

двигателя до коммутационного аппарата. Этим устраняется первый и третий недостатки известных устройств встроенной температурной защиты (УВТЗ), указанные выше. Вторым их недостаток (запаздывание или срабатывание в стопорном режиме) устраняется установкой малоинерционных термопар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунин, Р.З. Применение встроенной температурной защиты / Р.З. Кунин // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства, №10, 1980. – С. 42–43.
2. Данилов, В.Н. О паразитных ЭДС в проводах подключения термодатчиков к температурной защите электродвигателей / В.Н. Данилов, С.В. Оськин // Повышение надежности работы электроустановок в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. – Челябинск, 1986. – С. 19–24.
3. Данилов, В.Н. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве, электронными средствами защиты: автореф. ... дис. докт. тех. наук: 05.20.02 / В.Н. Данилов. – Челябинск, 1991. – 36с.
4. Борисов, Ю.С. Контроль нагрева электродвигателей / Ю.С. Борисов // Техника в сельском хозяйстве, №2, 2006. – С. 23–25.

УДК 621. 436

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.10.2007

МЕТОДИКА РАСЧЕТА САЖЕВОГО ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА-ДОЖИГАТЕЛЯ

А.Н. Карташевич, докт. техн. наук, профессор, В.А. Белоусов, канд. техн. наук, доцент (УО БГСХА)

Аннотация

Основным токсичным составляющим отработавших газов дизельных двигателей являются сажевые частицы. Эффективный способ их улавливания – это установка в системе выпуска электрофилтра-дожигателя. Предлагается устанавливать электрофилтры-дожигатели модульной конструкции с рабочим напряжением, до 17 кВ. Приведенная методика расчета позволяет определять конструктивные параметры зоны осаждения электрофилтра-дожигателя модульной конструкции при степени очистки 97,5 % для любого типа дизельного двигателя.

Введение

Дизельные двигатели внутреннего сгорания по-прежнему в настоящее время остаются основным источником энергии в сельскохозяйственном производстве. При этом основным их недостатком являются существенные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ с отработавшими газами (ОГ). Снижение данного негативного воздействия может быть достигнуто установкой в системе выпуска устройств, уменьшающих дымление двигателя, т.е. снижение содержания сажи в отработавших газах. Установка

электрофилтров в системах снижения дымности обеспечивает некоторые преимущества по отношению к другим методам очистки. При использовании сажевого электрофилтра-дожигателя для конкретной марки дизельного двигателя и условий эксплуатации необходимо определить конструктивные параметры устройства. Требуемая степень очистки ОГ от сажевых частиц также достигается оптимальным подбором конструктивных параметров и режимов электрического питания электрофилтра. Выбранная нами схема двухзонного электрофилтра должна обеспечивать: во-первых, достаточную зарядку частиц в зоне