

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.171

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ «КАСКАД»

АБДРАЗАКОВ Фярид Кинжаевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЖУРАВЛЕВА Лариса Анатольевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЛОНЬКИН Александр Петрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

КИРИЧЕНКО Андрей Владимирович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

СОЛОВЬЕВ Владимир Александрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

В статье рассматриваются устройство и работа современной системы управления дождевальной машиной «КАСКАД», возможности дистанционной системы GSM контроля оборудования; представлены элементы расчета системы электробезопасности.

Введение. Выполнение экологически безопасного, энергоэффективного, качественного технологического процесса полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия напрямую зависит от системы контроля и управления работой машины. Это требует фундаментально нового подхода к созданию современного конкурентоспособного поколения многоопорных дождевальных машин, отвечающих новым технологиям орошения [3].

На качественно новый уровень должны быть выведены не только конструктивные параметры машин, но и учтены перспективные тенденции развития автоматизированного орошения, а также требования электробезопасности работы самой машины.

В Саратовском государственном аграрном университете имени Н.И. Вавилова в 2015–2017 гг. была создана, апробирована на полях и запущена в производство новая дождевальная машина «КАСКАД» (рис. 1). Она предназначена для полива дождеванием на одной позиции: кормовых, зерновых и технических культур, включая высокостебельные.

При разработке машины задачами были создание новой отечественной системы управления с широкими функциональными возможностями, улучшение ремонтопригодности и эксплуатационной надежности, упрощение технологического обслуживания, в том числе за счет введения автоматически действующей системы диагностики и поиска неисправности.



Рис. 1. Электрифицированная дождевальная машина «КАСКАД» на орошающем участке в УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ



Важным условием было создание централизованного автоматизированного, дистанционного управления групповой работой машин, в том числе и при различных режимах полива, по нормам, наиболее благоприятным и экономичным для работы на различных агрофонах.

Машина «КАСКАД» представляет собой врашающийся вокруг неподвижной опоры водопроводящий трубопровод, состоящий из отдельных ферм, соединенных между собой шаровыми шарнирами и опирающихся на электроприводные тележки с пневмоколесами. В конце трубопровода расположена консоль [4].

Цель исследования – рассмотреть более подробно реализованные решения в области электрификации, автоматизации и управления работой машины.

Методика исследований. Для работы дождевальной машины «КАСКАД» используется трехфазный переменный ток с номинальным напряжением 230/400 В, частотой 50 Гц, согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 29322-2014.

Задачи по электробезопасности предполагают выполнение требований ГОСТ Р 50571, межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, соответствующие ГОСТы и нормативы [1, 2, 5].

Основными мерами по электробезопасности в сетях с глухозаземленной нейтралью являются зануление и защитное заземление.

В качестве дополнительных мер электробезопасности в щите управления на силовой линии устанавливается устройство защитного отключения (УЗО). Защита от статического электричества предусматривается и выполняется путем присоединения металлических корпусов оборудования к заземляющему устройству. Также предусматривается повторное заземление защитного проводника PE, для чего шина PE соединяется с заземляющим устройством.

Машина по устройству молниезащиты относится ко II категории и подлежит защите от прямых ударов молний. Молниезащита выполняется путем присоединения токоотводов из круглой стали $d = 8$ мм к наружному заземляющему устройству. Соединения выполняются высококачественной сваркой.

В щите управления на силовой линии устанавливаются разрядники для защиты от перенапряжения.

В качестве дополнительной меры в случае некачественного трехфазного напряжения, подаваемого с сети или электростанции, используется реле контроля напряжения. В случае обрыва фазных проводов (A, B, C), обрыва нулевого провода N (PEN), отклонения напряжения от номинального значения от 342 до 418 В, перекоса фаз (асимметрии) от 20 до 80° (прибор отключает силовые цепи при помощи контактора и обесто-

чивает шкаф управления до появления стабильного напряжения в сети.

Управление движением машины осуществляется системой управления электроприводом (СУЭ), состоящей из следующих элементов:

щита управления (ЩУ), установленного на неподвижной опоре дождевальной машины;

бесконтактного токоперехода, установленного на поворотном колене трубопровода;

приборов слежения линии ПСЛ-П, установленных в местах шарнирных соединений водопроводящего трубопровода над каждой тележкой (кроме крайней);

прибора слежения линии ПСЛ-К, расположенного над крайней опорной тележкой;

датчиков положения 1ДП, 2ДП, расположенных на неподвижной опоре;

датчиков положения 3ДП, 4ДП, расположенных на крайней опорной тележке;

светильника, расположенного над щитом управления;

сигнального блока, расположенного на крайней опорной тележке;

электродвигателей мотор-редукторов, установленных на балках опорных тележек;

реле давления РД1 (защита от превышения давления в системе), установленного на магистральной трубе;

реле давления РД2 (защита от понижения давления в системе), установленного на трубопроводе крайней опорной тележки;

задвижки с электроприводом, установленной на магистральной трубе;

GSM-модуля, дистанционного управления работой машины, установленного на неподвижной опоре дождевальной машины;

спутниковой системы «ГЛОНАСС», установленной в ПСЛ-К.

Все элементы СУЭ связаны между собой кабельными соединениями, закрепленными на металлоконструкции с помощью хомутов и прижимных планок.

Силовая распределительная сеть выполнена кабелем КГВВ 19×2,5 и прокладывается открыто по конструкции машины. Выбор сечений жил зависит от длин кабелей и рассчитывается как сопротивление проводника при постоянном токе по формуле

$$r_0 = \frac{p l}{S}, \quad (1)$$

где p – удельное сопротивление проводника, Ом; l – длина проводника, м; S – сечение проводника, мм^2 .

Активное сопротивление при переменном токе определяется согласно выражению

$$r = kr_0, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий поверхностный эффект.



Зависимость омического сопротивления проводника от температуры:

$$r = r_1 [1 + \alpha(t - t^1)], \quad (3)$$

где r , r_1 – сопротивление проводника в Ом соответственно температурам t и t^1 , °C; α – температурный коэффициент сопротивлений.

Полное сопротивление при переменном токе:

$$z = \sqrt{r^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость, м/с; L – индуктивность, гн; z – полное сопротивление, Ом; C – емкость, Ф.

Для защиты от наведенного напряжения кабеля заземляют металлическую оболочку, а концы свободных жил кабеля с двух сторон. При большой длине линии для защиты от емкостной задержки отключения контакторов ставятся нагрузочные сопротивления, где это необходимо.

Значения наведенного электростатического напряжения рассчитывают по формуле

$$U_{\text{эл.стат}} = k U_{\text{в}}, \quad (5)$$

где k – коэффициент емкостной связи линий; $U_{\text{в}}$ – рабочее напряжение влияющей линии.

Значения наведенного электромагнитного напряжения находят по формуле

$$U_{\text{эл.магн}} = MLI, \quad (6)$$

где M – коэффициент индуктивной связи линий; L – длина параллельного следования линии; I – ток влияющей линии.

Все наведенные напряжения равны их сумме:

$$U_{\text{нав}} = U_{\text{эл.стат}} + UU_{\text{эл.магн.}}. \quad (7)$$

Результаты исследований. Для управления дождевальной машиной «КАСКАД» в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ был спроектирован и изготовлен щит управления стационарный, навесного исполнения со степенью защиты IP55 (рис. 2). Металлическая оболочка щита соответствует всем необходимым требованиям и стандартам, которые действуют на территории Российской Федерации.

Оболочка щита пригодна для использования в средах, вызывающих повышенную коррозию металлов. Температура эксплуатации от –40 °C до +80 °C. Щит состоит из двух прямоугольных корпусов, скрепленных между собой и установленных на общей раме. Каждый корпус состоит из основной и внутренней металлических дверей. Основная дверь имеет полиуретановое уплотнение и обеспечивает водонепроницаемость степенью защиты IP55. Увеличение жесткости дверей обеспечивают профильные стойки. Расстояния между дверью шкафа и внутренней дверью регулируются, что дает возможность установки на внутренней двери органов защиты и управления любых модификаций.

В левом корпусе находится силовой блок в защитном металлическом корпусе, на панели внутренней двери которого расположен главный выключатель. В положении «1» устанавливается электроснабжение машины. Поворотная панель управления (внутренней дверцы) в этой позиции заблокирована в целях безопасности. В положении «0» главный выключатель имеет возможность блокировки от несанкционированного включения (блокирует запуск дизель генератора). Поворотная панель управления может открываться только в положении «0» главного выключателя.

На задней стенке левого корпуса установлены: автоматический выключатель, защитно-отключающее устройство (УЗО), трансформатор, предохранители, реле контроля напряжения, разрядники (ОПН), главный выключатель, силовые контакторы, реле управления дизель-генератором и соединительное электрооборудование.

В правом корпусе находится блок управления. На лицевой панели внутренней двери расположены: вольтметр, поворотная ручка реле процентного таймера, сигнальные лампы положения электрозадвижки, пусковая кнопка «СТАРТ ВПЕРЕД» со встроенной сигнальной лампой, пусковая кнопка «СТАРТ НАЗАД» со встроенной сигнальной лампой, счетчик мото-часов, кнопка аварийного останова, сигнализатор аварии и переключатели задания режимов работы машины.



Рис. 2. Щит управления ДМ «КАСКАД»





На задней панели блока управления расположены: пускатели, электромагнитные реле, реле времени, соединительное электрооборудование.

Машина обеспечена автоматической защитой для предотвращения аварийных ситуаций, при появлении недопустимых значений электрических и гидравлических параметров, при аварийных выбегах тележек и при нарушении обслуживающим персоналом последовательности операций по пуску машины. Для обеспечения безопасности при обслуживании машины корпуса электрооборудования (корпус щита управления ЩУ, электродвигатели мотор-редукторов, приборы слежения линии ПСЛ, датчики давления и др.) соединены перемычками заземления с элементами металлоконструкций, которые в свою очередь перемычками заземления соединены в единую электрическую цепь для выравнивания потенциала. Места закрепления перемычек имеют соответствующий знак, нанесенный на металлоконструкции машины.

На центральный пульт управления передается информация о нарушениях режимов работы машины, возникновении неисправностей с индикацией и причин неисправностей.

Машина может осуществлять движение с поливом и без, при этом выбор режимов работы машины, направления ее движения, а также пуск и остановка в ручном режиме осуществляются с ЩУ.

Скорость перемещения (вращения вокруг неподвижной опоры) машины задается с ЩУ путем изменения продолжительности включения (ПВ) электродвигателя мотор-редуктора крайней самоходной тележки. Скорость движения крайней тележки регулируется от 0,1 м/мин (ПВ10 %) до 1,8 м/мин (ПВ100 %), при внешнем электропитании 400 В, 50 Гц. Для обеспечения равномерности полива цикл движения крайней тележки (импульс+пауза) необходимо устанавливать равным 100 с. Движение остальных тележек машины происходит в старт-стопном режиме, при этом управление движением каждой тележки осуществляется автономно приборами слежения линейности (ПСЛ).

Машина осуществляет круговое движение в режиме ручного или автоматического управления. Выбор режимов работы, направление движения и направление разворота, а также пуск и остановка в ручном режиме осуществляются с щита управления. Скорость движения задается с щита управления путем изменения ПВ% (продолжительность включения) электродвигателя последней тележки. Движение остальных тележек машины происходит в старт-стоповом режиме, при этом управление движением каждой тележки осуществляется автономно прибором синхронизации движения в линию промежуточных тележек.

Прямолинейность трубопровода машины обеспечивается совместной работой системы прямолинейности, при этом взаимное перемеще-

ние тележек воздействует через рычаг и передается на блок управления, который включает (при отставании) и выключает (при опережении) связанный с ним электродвигатель мотора-редуктора тележки.

С помощью процентного таймера устанавливается время движения концевой опоры, что определяет общую скорость вращения установки. Установка поворотной ручки на 50 % означает, что концевая опора в течение заданного времени работает половину времени, а следующую половину стоит. Во время работы всегда можно изменить установленное значение. Установка поворотной ручки больше 100 %, концевая опора движется постоянно.

Приборы синхронизации движения в линию (ПСЛ) предназначены для согласованного передвижения опорных тележек с целью обеспечения прямолинейности водопроводящего трубопровода машины, а также защиты силовых цепей и цепей управления, контроля и сигнализации режимов работы электрооборудования, выработки сигнала на аварийный останов машины в случае нарушения этой прямолинейности.

Работа системы синхронизации происходит следующим образом. Перемещение крайней тележки, происходящее по команде с ЩУ, вызывает поворот предконсольного пролета вокруг предпоследней тележки.

Предпоследняя тележка начинает движение и останавливается, когда ликвидируется угол разворота между предпоследним и крайним пролетами. Движение предпоследней тележки аналогично вызывает движение последующей тележки и т.д.

При отклонении от прямолинейности одной из тележек более допустимого либо остановки последней тележки происходит аварийная остановка всей машины, электроклапан перекрывает подачу воды. На щите управления поступает сигнал в виде токовой петли, указывающий на аварию, код с номером ПСЛ, где возникла неисправность. Если аварийный излом произошел в нескольких секциях, то код неисправности указывает на ближайшую к опоре секцию. После устранения неисправности указанной секции следующую секцию и т.д. Если неисправности отсутствуют, то на табло прибора высвечивается цифра «0». Управление прямолинейности обеспечивает прямой ход всей установки.

Система GSM-контроля оборудования машины (рис. 3) предназначена для дистанционного управления, отслеживания работы, оповещения по каналу сотовой связи о работе или отказе оборудования. SMS-оповещения могут быть продублированы голосовым сообщением. Сообщения рассылаются последовательно по предварительно записанному списку телефонов.

При существовании вероятности отключения напряжения 220 В необходимо использовать резервный аккумулятор 12 В, заряжаемый конт-

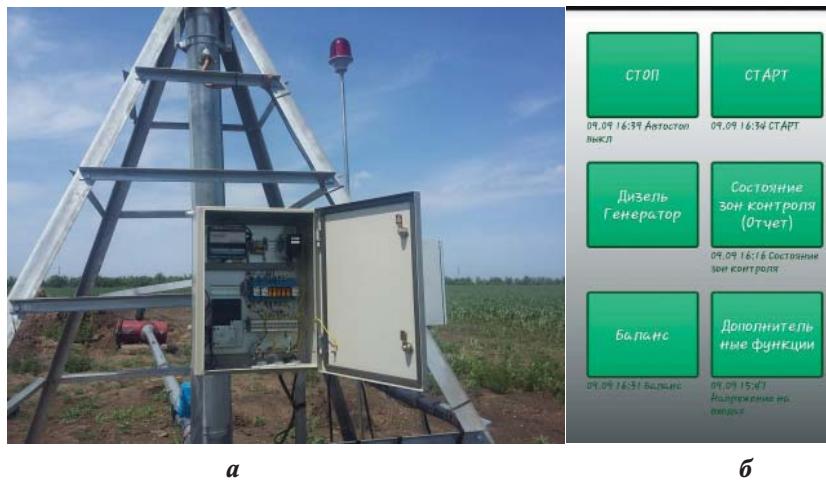


Рис. 3. Система GSM контроля ДМ «КАСКАД»:
а – блок управления, устанавливаемый на ДМ «КАСКАД»;
б – панель дистанционного управления (на сотовом телефоне)

роллером по мере необходимости. При этом система полностью сохраняет работоспособность на время пропадания питания 230 В, 50 Гц, сообщает о пропадании или появлении напряжения и разряде резервного аккумулятора. На плате контроллера установлены два считывателя SIM-карт основного и резервного операторов. Система автоматически перейдет на резервного оператора в случае потери сети основного оператора или сбоев при передаче через него SMS. Система рассчитана на круглосуточный режим работы при температуре от -35 до $+50$ °C.

Мощность, потребляемая системой от сети переменного тока, не более 10 Вт.

Количество встроенных реле – 3: реле 1 – автостоп (отключение машины); реле 2 – старт вперед (движение машины вперед); реле 3 – дизель-генератор (подача напряжения на машину).

Количество реализованных зон контроля (входов) – 12: 1) движение вперед; 2) движение назад; 3) авария (излом секции); 4) включение/выключение машины; 5) движение последней тележки; 6) задвижка открыта; 7) задвижка закрыта; 8) охрана (на зимний период); 9–12) резерв.

Резервный аккумулятор подключается к контроллеру через специально предназначено для этого гнездо. В качестве резервного аккумулятора может быть использован любой свинцовый аккумулятор с напряжением ± 12 В и емкостью до 7,2 А/ч. Если будет использован аккумулятор со значительно большей емкостью (например, автомобильный), то перед подключением к контроллеру его следует полностью зарядить.

Заключение. В заключении можно отметить, что данные решения были реализованы на дождевальных машинах «КАСКАД», установленных на орошаемых полях в ООО «Наше дело» (2016 г. – с. Красный яр, Энгельсский район Саратовской области) и в Учебно-научно-производственном объединении «Поволжье» (2017 г. – с. Степное, Энгельсский район Саратовской области). В результате проведенных мероприятий по повышению эф-

фективности управления дождевальной машины, она успешно прошла сертификацию и испытания на базе Поволжской машиноиспытательной станции. По итогам Всероссийской агропромышленной выставки «Золотая осень – 2017» (г. Москва) данная разработка удостоена золотой медали и диплома 1 степени.

Основными направлениями дальнейшего совершенствования машины на ближайшую перспективу являются: повышение надежности системы управления, расширение ее технологических возможностей, повышение качества полива и удобства работы обслуживающего персонала, а также системы безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.2.007.075 Система стандартов безопасности труда. Изделия электрические. Общие требования безопасности. – Режим доступа: <http://www.vsegost.ru>.
2. ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007 Электрооборудование машин и механизмов. – Режим доступа: <http://www.vsegost.ru>.
3. Журавлева Л.А. Возрождение орошения с Саратовской области // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2016. – С. 95–97.
4. Журавлева Л.А., Попов Л.А. «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) – Российская дождевальная машина нового поколения // Исследование в строительстве, теплогазоснабжении: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2016. – С. 123–130.
5. СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>.

Абдразаков Фариド Кинжаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Журавлева Лариса Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.



Лонькин Александр Петрович, студент, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Кириченко Андрей Владимирович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Соловьев Владимир Александрович, аспирант кафедры «Строительство, теплогазоснабжение

и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-56.

Ключевые слова: дождевальная машина; полив; напряжение; электробезопасность; щит управления; реле; сопротивление проводника.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CONTROL SYSTEM OF ELECTRIFIED SPRINKLING MACHINE OF CIRCULAR ACTIONS «CASCADE»

Abdratzakov Fyarid Kinzhaeivich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Zhuravleva Larisa Anatolievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technosphere Safety and Transport-technological Machines Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Lonkin Alexander Petrovich, Student, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Kirichenko Andrey Vladimirovich, Post-graduate Student of the chair "Technosphere Safety and Transport-technological Machines Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Solovyov Vladimir Alexandrovich, Post-graduate Student of the chair "Technosphere Safety and Transport-technological Machines Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: sprinkling machine; irrigation; voltage; electrical safety; control board; relays; resistance of the conductor.

The article discusses the structure and operation of modern control systems of sprinkler machine "CASCADE", the possibility of remote GSM-control of equipment, the elements of the calculation of the safety of electrical equipment.

УДК 631.31 (470.44)

РАЦИОНАЛЬНОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ ПРИЦЕПНОГО ПЛУГА ИНОСТРАННЫМИ ТРАКТОРАМИ

БОЙКОВ Василий Михайлович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

СТАРЦЕВ Сергей Викторович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ПАВЛОВ Андрей Владимирович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

НЕСТЕРОВ Евгений Сергеевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЛАВРЕНТЬЕВ Алексей Васильевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Используя техническую характеристику прицепного лемешно-отвального плуга ПБС-10П и результаты испытаний плугов серии ПБС на ФГБНУ «Поволжская машиноиспытательная станция», результаты испытаний тракторов лабораторией Nebraska Tractor Test США установлена величина крюкового усилия тракторов John Deer 9120 (196 кВт), New Holland 9282 (175 кВт), Versatile 375 (268 кВт), Case Magnum 340 (251 кВт), Challenger MT 835 (267 кВт), Fendt 926 (200 кВт), Massey Ferguson 8480 (200 кВт) и тягового сопротивления прицепного плуга ПБС-10П на соответствующих скоростях движения, определены аналитические зависимости крюкового усилия тракторов и тягового сопротивления плуга от скорости движения. Графоаналитическим методом рассчитаны оптимальные эксплуатационные показатели скомплектованных пахотных агрегатов и дана их сравнительная теоретическая оценка по производительности на основной обработке почвы в разных условиях. Представлены результаты экспериментальных исследований пахотного агрегата Case Magnum 340+ПБС-10П в условиях хозяйства Саратовской области и проверена сходимость полученных теоретических и экспериментальных исследований.

Введение. Для основной обработки почвы больших площадей в короткие сроки необходимо значительно наращивать производительность пахотных работ.

При нехватке отечественных тракторов Российской Федерации в большом количестве производит закупки иностранных энергонасыщенных тракторов большой мощности в США таких

