

Научная статья
УДК 631.371

Разработка системы автоматического регулирования мгновенной мощности электропривода опорных тележек дождевальной машины кругового действия

Сергей Мударисович Бакиров
Саратовский ГАУ

Аннотация. В работе представлены способ, средства и теоретические положения повышения энергетической эффективности водораспределения дождевальными машинами кругового действия. Энергопотребление дождевальных машин формируется потребляемой мощностью электроприводами опорных тележек, а также временем их работы. В процессе движения дождевальной машины часто возникают случаи, когда для перемещения требуется меньшее количество энергии. Например, на движение вниз с верхней позиции рельефа требуется меньшее количество энергии. Однако система управления электроприводами учитывает только номинальные режимы работы и потребляемой мощности. В статье представлена разработка адаптивной системы автоматического управления мгновенной потребляемой мощностью для перемещения дождевальной машины на основе программируемого логического контроллера и твердотельного реле. Установлено, что для дождевальных машин с аккумуляторным источником питания с помощью данной системы можно добиться снижения энергопотребления на перемещение до 16,3 % и увеличить продолжительность использования аккумуляторной батареи в 1,2 раза.

Ключевые слова: электрифицированные дождевальные машины, энергоэффективность, энергопотребление, электропривод, адаптивная система управления.

Для цитирования: Бакиров С.М. Разработка системы автоматического регулирования мгновенной мощности электропривода опорных тележек дождевальной машины кругового действия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 167–171.

Original article

Development of an automatic control system for instantaneous power of an electric drive of the support trolleys of the circular action sprinkler machine

Sergey M. Bakirov
Saratov State Agrarian University

Abstract. The study presents a method, means and theoretical provisions for increasing energy efficiency of water distribution by sprinkler machines of circular action. The energy consumption of sprinkler machines is formed by the power consumption of the support trolleys electric drives and their operating time. During the movement of the sprinkler machine, there are often cases when less energy is required to move, for example,

moving down from the top position of the terrain. However, the control system of electric drives takes into account only the nominal operating models and power consumption. The study discusses the development of an adaptive system for automatic control of instantaneous power consumption for moving the sprinkler machine based on a programmable logic controller and a solid state relay. It was found that for sprinkler machines with a accumulator battery power source, this system can reduce energy consumption for movement up to 16,3 % and increase the accumulator battery life by 1,2 times.

Keywords: operation of electrified sprinkler machines, energy efficiency, power usage, electric drive, adaptive control system.

For citation: Bakirov S.M. Development of an automatic control system for instantaneous power of an electric drive of the support trolleys of the circular action sprinkler machine. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 87(1): 167–171. (In Russ.).

Нагрузка на электропривод опорной тележки формируется в зависимости от положения ДМ. Очевидно, что при движении опорных тележек в гору нагрузка будет больше, чем при движении со склона горы (рис. 1 А). В составе ДМ отдельные тележки могут быть в положении увеличенной и сниженной нагрузки (рис. 1 Б).

Вместе с этим при увлажнении грунта коэффициент сцепления будет уменьшаться до минимального значения, тем самым снижая момент сопротивления качению [1].

Материал и методы. Изменение момента сопротивления качению сопровождается пропорциональными изменениями потребляемой мгновенной мощности электропривода опорных тележек в диапазоне от $P_{двТ1-min}$ до $P_{двТ1-max}$. На практике ориентируются на предельную максимальную нагрузку, чтобы в любом положении обеспечить поступательное движение ДМ. Однако в моменты сниженной нагрузки избыток потребляемой электроэнергии для аккумуляторного источника питания приводит к уменьшению разрядной ёмкости и соответственно к сокращению продолжительности работы электропривода t_p .

Таким образом, разработка адаптивных систем управления потребляемой мгновенной мощностью электропривода в соответствии с нагрузкой позволит повысить энергетическую эффективность полива.

Варьировать потребление энергии аккумуляторным источником питания можно путём измене-

ния продолжительности работы электропривода или мгновенной потребляемой им мощности. Изменение потребляемой мощности можно обеспечить путём изменения величины напряжения или длительности питающего импульса напряжения (например, на основе широтно-импульсного регулирования) [2–6].

Принцип работы широтно-импульсного регулятора широко известен [2, 3]. Регулирование открытия полевого транзистора могут выполнять операционные усилители [5] или интегральные микросхемы, позволяющие формировать временной диапазон с задержкой обработки сигнала не более 20 мкс. Более простая схема регулирования может быть на базе твердотельных реле [5, 6], структурная схема которой показана на рисунке 2.

Напряжение питающего импульса твердотельным реле не регулируется и ограничено значением напряжения аккумуляторной батареи. Длительность импульса может быть задана вручную настройками задающего генератора импульсов на входных выводах твердотельного реле и с помощью датчиков и программируемого логического контроллера (ПЛК). В качестве датчика обратной связи можно использовать шунтовое сопротивление, на основе которого фиксировать значения изменения токов нагрузки и соответственно потребляемой мощности в промежутке времени.

Однако для работы данной системы необходимо разработать чувствительный элемент обратной

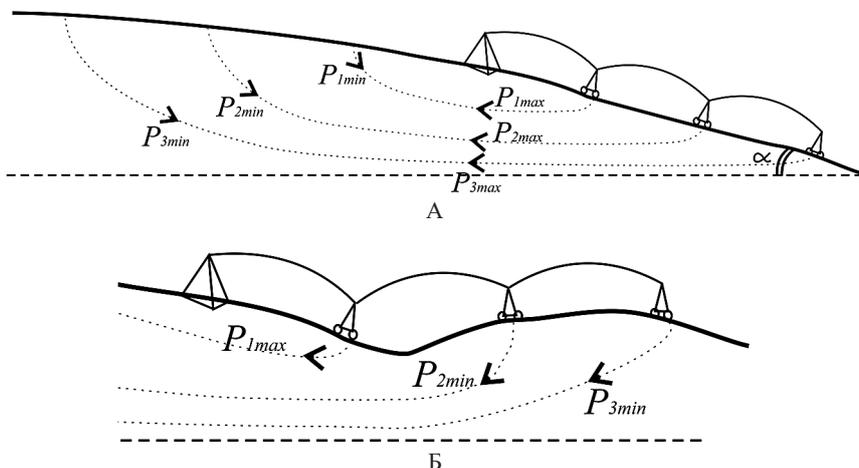


Рис. 1 – Движение ДМ на площади с неровным рельефом

связи, который позволит получать информацию об изменении нагрузки (положение ДМ на рельефе перемещения, определяющее момент сопротивления качению колёс, влажность грунта, определяющая коэффициент сцепления колёс с грунтом, направление ветра и т. д.). Преобразуя информацию, поступающую от чувствительного элемента, с помощью ПЛК, можно сформировать управляющие сигналы твердотельного реле для изменения потребляемой мгновенной мощности электропривода. Рассмотрим такое регулирование при движении одной опорной тележки дождевальной машины.

Результаты исследования. Значение момента сопротивления качению колёс M_c в каждый промежуток времени будет изменяться в соответствии с действием факторов, указанных на рисунке 2. Мощность на валу также будет изменяться. Потребляемая мгновенная мощность электродвигателя будет определяться значением фактического напряжения на зажимах и мгновенным значением тока, протекающего по обмоткам.

Задаваясь минимальным начальным значением $U_{ЭД-min}$, величина которого определяется из минимально возможной потребляемой мощности $P_{двТ1-min}$, необходимо фиксировать изменение тока в коротком промежутке времени. При его изменении в большую сторону $\Delta I > 0,05$ мА (на аналоговом токовом входе ПЛК [7]) следует увеличивать напряжение на зажимах на одну ступень $\Delta U_{ЭД}$ (на аналоговом выходе ПЛК) с помощью увеличения входного сигнала на твердотельном реле. Далее повторять измерения увеличения тока в обмотках двигателя и увеличивать напряжение $\Delta U_{ЭД}$ до тех пор, пока оно не будет соответствовать условию $0 < \Delta I < 0,05$ мА, при котором устанавливается оптимальное значение потребляемой мощности при соответствующей нагрузке. В случае непрерывного измерения тока, когда $\Delta I = 0$, следует уменьшать напряжение на величину ступени $\Delta U_{ЭД}$. Схема соединений аккумуляторной батареи, электродвигателя и устройств управления с учётом изменяющейся в процессе движения ДМ условий показана на рисунке 3.

Изменение тока на линейном шунтовом резисторе $R_{ш}$ фиксируется программируемым логическим контроллером (ПЛК), который изменяет входное напряжение на твердотельном реле, тем самым изменяя напряжение на зажимах электродвигателя постоянного тока непосредственно при движении опорной тележки. При этом программируемый логический контроллер обеспечивает следующий алгоритм работы:

1. Если ток в обмотках электродвигателя возрастает при минимальном заданном начальном напряжении на зажимах $U_{ЭД-min}$ за промежуток времени Δt_j :

$$0 < I_{t1}(di(dt) < I_{t2}, \quad (1)$$

где I_{t2} и I_{t1} – значения тока в обмотках электродвигателя соответственно в моменты времени t_2 и t_1 , А,

то напряжение на зажимах электродвигателя увеличивается на величину $\Delta U_{ЭД}$, и алгоритм повторяется до тех пор, пока ток не перестанет расти, а его значение будет принадлежать диапазону:

$$0 < di(dt) < 0,05. \quad (2)$$

2. Если же ток в обмотках электродвигателя не изменяется или уменьшается:

$$di(dt) \leq 0, \quad (3)$$

то напряжение на зажимах электродвигателя уменьшается на величину $\Delta U_{ЭД}$, и алгоритм повторяется до тех пор, пока ток не будет соответствовать условию (3).

Интервал времени $\Delta t = t_2 - t_1$ между измерениями тока можно регулировать. Чем он меньше, тем чувствительней система и тем выше энергетическая эффективность управления дождевальной машиной. Временная диаграмма токов, напряжений и мгновенной мощности представлена на рисунке 4.

Для более детального учёта потребляемой мгновенной мощности необходимо учитывать переходные процессы срабатывания устройств, интервалы времени обработки сигналов, чувствительность оборудования. На данном этапе можно оценить диапазон снижения энергопотребления дождевальной машины с использованием адаптивной системы управления движением опорных тележек (рис. 5).

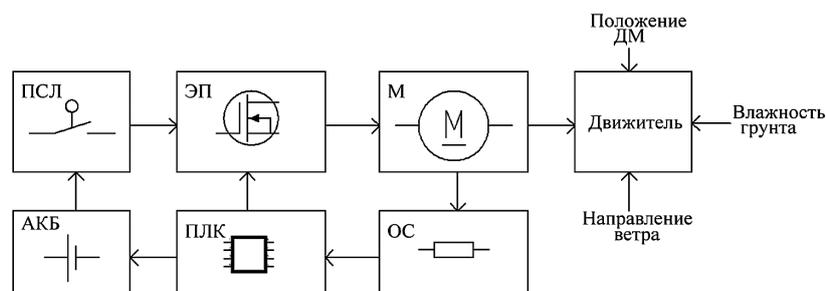


Рис. 2 – Структурная блок-схема системы автоматического регулирования мгновенной мощности электропривода:

ЭП – электрический преобразователь на основе твердотельного реле; М – электропривод; ОС – обратная связь; ПСЛ – прибор синхронизации движения в линию; ПЛК – программируемый логический контроллер

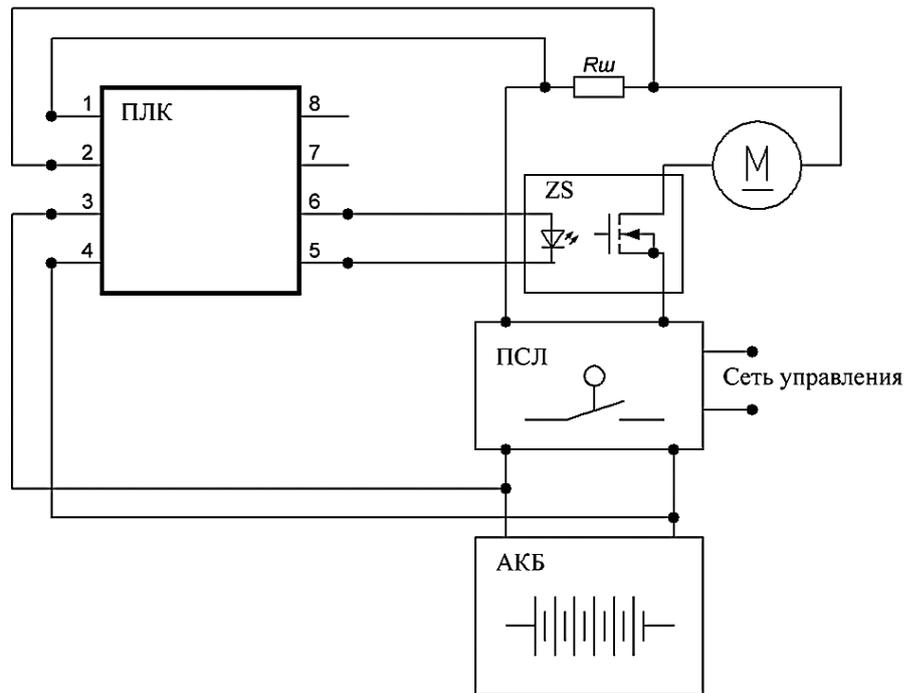


Рис. 3 – Схема электрических соединений АКБ, электродвигателя М и устройств управления: 3–4 – выводы питания ПЛК; 1–2 – аналоговые входы ПЛК; 5–6 – аналоговые выходы ПЛК; $R_{ш}$ – шунтовый резистор (линейное сопротивление); ZS – твердотельное реле DC–DC

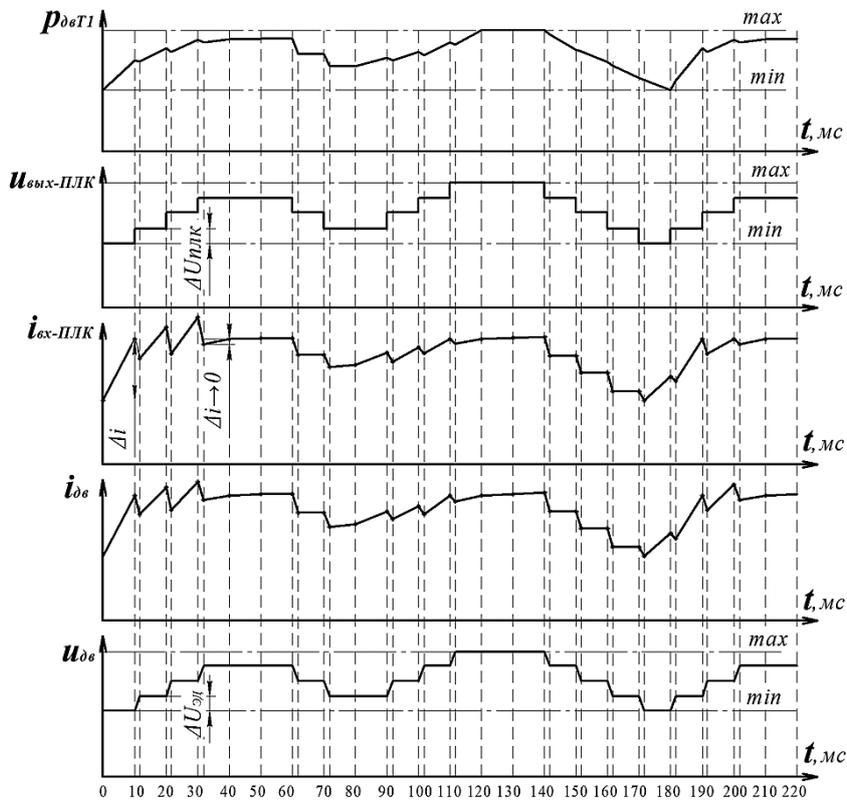


Рис. 4 – Упрощённая временная диаграмма токов, напряжений и потребляемой мгновенной мощности электропривода:

$p_{двТ1}$ – потребляемая мгновенная мощность; $u_{дв}$ – мгновенное напряжение на зажимах электродвигателя; $i_{дв}$ – мгновенный ток, протекающий по обмоткам электродвигателя; $u_{вых-ПЛК}$ – выходное напряжение ПЛК; $i_{вх-ПЛК}$ – входной ток ПЛК; Δi – изменение тока в интервалах времени; $\Delta U_{ПЛК}$ – степень переключения выходного аналогового напряжения ПЛК; $\Delta U_{ЭД}$ – степень переключения напряжения на зажимах электродвигателя

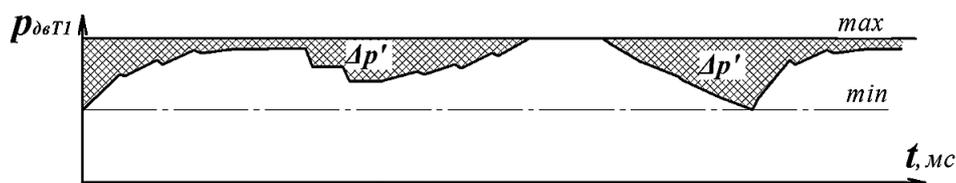


Рис. 5 – Снижение потребляемой мгновенной мощности $\Delta p'$ электродвигателя с использованием адаптивной системы управления

Вывод. Адаптивная система автоматического управления позволяет снизить потребляемую мгновенную мощность на 5,3–36,2 % в различных условиях эксплуатации дождевальной машины. В среднем при эксплуатации дождевальных машин с рельефом, уклон которых не превышает 5° , энергопотребление на водораспределение можно снизить на 16,3 %.

Литература

1. Ерошенко Г.П., Соловьев Д.А., Бакиров С.М. Снижение мощности электропривода секции дождевальной машины за счёт изменения параметров колёс опорной тележки // АПК России. 2019. Т. 26. № 3. С. 398–402.
2. Белоусов И.Г., Самосейко В.Ф. Оптимальная трёх-фазная широтно-импульсная модуляция по критерию

дисперсии тока в нагрузке // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2018. Т. 10. № 3. С. 575–585.

3. Галиев А., Орлов А. Широтно-импульсная модуляция в генераторах заданной электрической мощности // Приборы и системы. Контроль, управление, диагностика. 2007. № 4. С. 32–33.

4. Ещин Е.К., Соколов И.А. Работа асинхронного электродвигателя с устройством плавного пуска // Электромеханика. 2016. № 5 (547). С. 53–58.

5. Мелешко Е.А. Быстродействующая импульсная электроника. М.: Физматлит, 2007. 320 с.

6. Справочник энергетика / В. И. Григорьев [и др.]. М.: Колос, 2006. 488 с.

7. Карташов Б.А., Карташов А.Б., Жидченко Т.В. Практикум по автоматике. Зерноград, 2006. Ч. I. 156 с.

Сергей Мударисович Бакиров, кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова». Россия, 410012, г. Саратов, ул. Советская, 60, s.m.bakirov@mail.ru

Sergey M. Bakirov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Saratov State Agrarian University. 60, Sovetskaya St., Saratov, 410012, Russia, s.m.bakirov@mail.ru