

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПАРОМА

Дубровин В.С., Клоков А.А.\* , Цыганов Д.О.  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск.  
E-mail: dvs8937@saransk.ru

\* ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск.

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы использования преобразователя частоты для электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. На основе анализа технических требований выбрано оборудование для построения несамоходного парома, управляемого по радиоканалу.

**Ключевые слова:** преобразователь частоты; радиомодем; панель оператора; пульт дистанционного управления; антенна.

### Постановка задачи

Паромные переправы – давнее изобретение человечества. Они возникали там, где требовалось часто пересекать ту или иную водную преграду, а строительство моста по каким-то причинам было невозможным. Паромные переправы и наплавные мосты являются одним из важных элементов автомобильных дорог общего пользования - составной части транспортной системы страны, от надежной работы которой зависит обеспечение бесперебойных перевозок грузов и пассажиров по автомобильным дорогам [1]. На территории РФ имеется большое количество автомобильных дорог, пересекающих многочисленные естественные и искусственные препятствия в виде рек, озер, каналов и водохранилищ [2].

Еще относительно недавно некоторые эксперты выдвигали мысль, что вскоре паромы практически полностью уступят место мостам, особенно на оживленных переправах. Но пока этого не произошло. Паромные переправы вовсе не ушли в прошлое, напротив, они получили развитие – переправы стали длиннее, а средства для них совершеннее [3]. Из-за специфики конструкции паромов погрузка транспортных единиц происходит довольно быстро, поскольку подавляющее большинство грузовых и грузопассажирских паромов оборудованы одной или двумя аппарелями, по которым автотранспорт самостоятельно въезжает на паром и съезжает с него.

Грузовые паромы являются рентабельным и востребованным транспортом. Особое место занимают паромы для проведения спасательных работ при чрезвычайных ситуациях и для переправ во время военных действий. Во всем мире разрабатываются новые конструкции паромов – катамаранов, тримаранов. Предлагаются новые обводы корпусов, новые материалы, совершенствуются приводные механизмы.

Паромы бывают самоходными и несамоходными. Самоходные паромы приводятся в движение собственным двигателем и никак не связаны с берегом (в отличие от паромов канатных). К несамоходным паромам относят канатные паромы. Существует два основных типа таких паромов. Самый распространенный — паром, который движется вдоль каната (или цепи), который протянут между двумя берегами водного препятствия. В качестве источника энергии обычно используется дизельный двигатель, а в последнее время и электродвигатели.

В статье рассматриваются вопросы построения системы управления несамоходным паромом на базе частотно-регулируемого привода с возможностью управления по радиоканалу. Построение системы управления является комплексной задачей, в которую, кроме выбора преобразователя частоты (ПЧ), входят такие вопросы, как выбор частотного диапазона, радиомодема, пульта оператора, приемно-передающей антенны и автономного

источника питания. От правильного выбора этих составляющих будет в дальнейшем зависеть надежность переправы, а, следовательно, безопасность жизни людей и сохранность перевозимых грузов.

Блок-схема системы управления движением парома (рис.1) состоит из двух частей: береговая система и система, расположенная непосредственно на пароме.

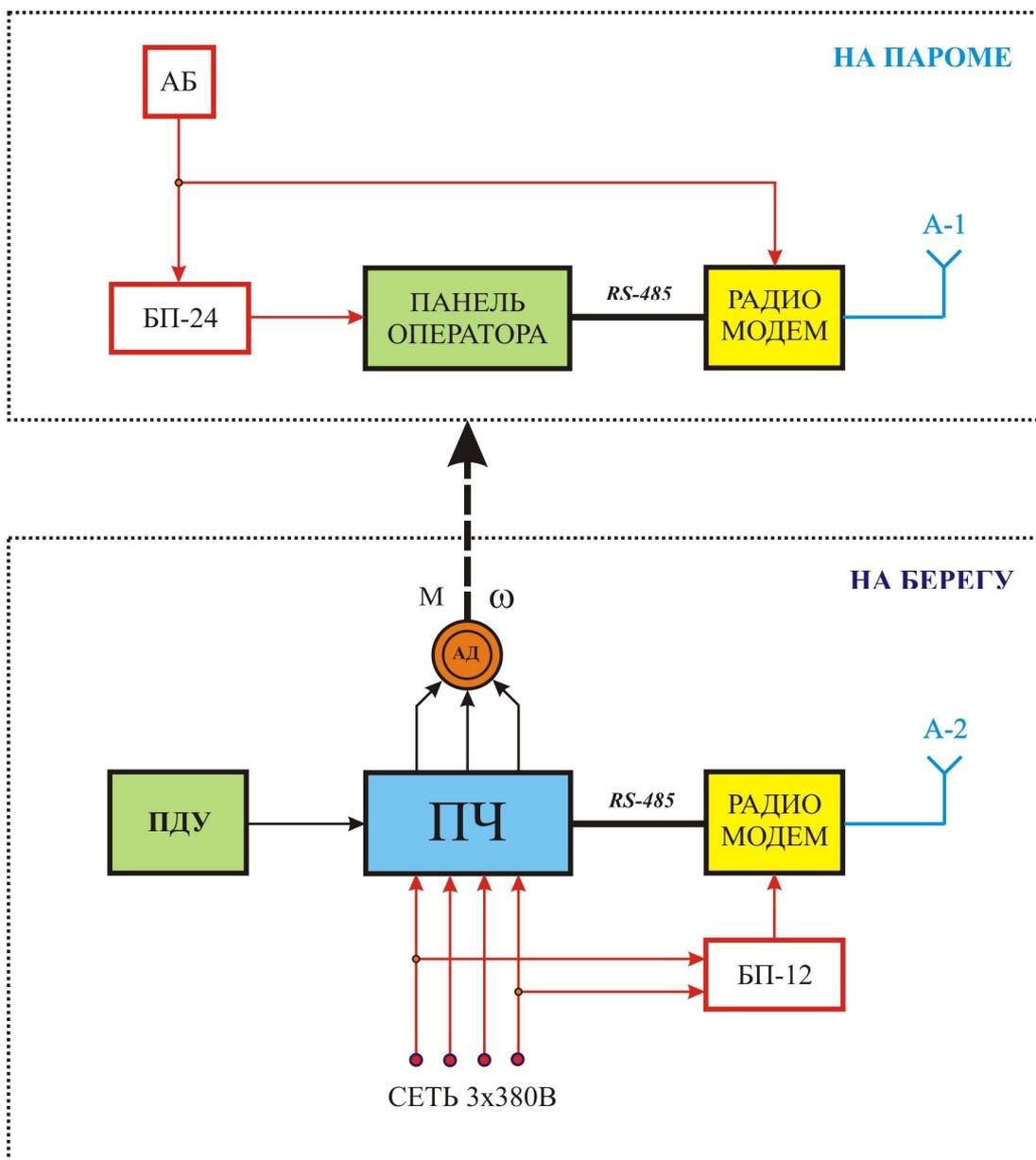


Рис.1. Блок-схема системы управления

Система управления состоит из разнесенных на расстояние двух частей, одна из которых располагается на берегу, а другая непосредственно на подвижном пароме. На берегу находится привод, обеспечивающий движение парома, который представляет собой электрический асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Управление работой двигателя и обеспечение требуемых электрических режимов осуществляет преобразователь частоты.

Управление и конфигурирование преобразователя частоты может производиться с помощью входящего в комплект пульта дистанционного управления (ПДУ), а также по стандартному интерфейсу RS-485 с использованием поверх него сетевого протокола ModBus RTU.

На пароме также находится комплект приемо-передающей радиоаппаратуры, взаимодействующий по интерфейсу RS-485 с пультом управления (панель оператора), что позволяет дистанционно управлять работой электропривода, находящегося на берегу. Автономный источник питания (аккумулятор АБ) и конвертор постоянного напряжения 12/24 В (блок питания БП-24) обеспечивают электропитание радиомодема и панели оператора.

### Метод решения

**Преобразователь частоты.** Основным элементом, определяющим надежную работу паромной переправы, является частотно-регулируемый привод, построенный на базе асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором. Активное развитие силовой электроники и быстродействующей микропроцессорной техники дало возможность осуществить практическую реализацию сложных алгоритмов управления двигателем переменного тока при небольших аппаратных и материальных затратах [4]. Применение подобного регулируемого электропривода позволяет создать новую технологию энергосбережения, использование которой не только экономит электрическую энергию, но и увеличивает срок службы оборудования.

Для регулирования частоты вращения трехфазного асинхронного электродвигателя используется преобразователь частоты «Омега-2», разработанный на заводе «Электровыпрямитель» [5], при разработке которого учитывались опыт эксплуатации ранее выпускавшейся серии преобразователей «ОМЕГА-1» и последние достижения микроэлектроники и силовой электроники. Сетевое напряжение преобразуется в постоянное с помощью неуправляемого выпрямителя и фильтруется с помощью LC-фильтра. Постоянное напряжение преобразуется автономным инвертором напряжения (АИН) в трехфазное для питания асинхронного двигателя. Силовой мост АИН и входной выпрямитель выполнен на IGBT и диодных модулях производства ОАО «Электровыпрямитель» (IGBT - совместно с SIEMENS). АИН выполнен на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором - IGBT, что позволяет применить достаточно гибкий алгоритм управления трехфазным мостом - широтно-импульсную модуляцию (ШИМ).

Применение DSP контроллера, многослойных печатных плат и поверхностного монтажа позволили существенно уменьшить габариты системы управления, при этом значительно возросла гибкость настройки и повысилась надежность, а также остался значительный запас для наращивания новых функций и улучшения потребительских качеств. Улучшенная система охлаждения позволяет силовым полупроводниковым модулям работать в более комфортных условиях, что повышает надежность работы ПЧ.

Применение двухстрочного жидкокристаллического дисплея позволяет в удобной для пользователей форме программировать необходимые параметры и режимы, а также просматривать параметры процесса. Применение векторного способа формирования ШИМ позволяет повысить устойчивость работы, увеличить момент на низких выходных частотах и уменьшить собственные динамические потери в ПЧ.

Преобразователь частоты обеспечивает работу электропривода в нескольких режимах:

- ручное регулирование выходной частоты со встроенного или дистанционного пульта управления;
- плавный разгон электродвигателя с заданным темпом;
- разгон по предельным (заданным) значениям тока фаз электродвигателя;
- плавное торможение электродвигателя;
- торможение электродвигателя по предельному значению напряжения в звене постоянного тока;
- режим самозапуска преобразователя после перебоев питания;

- режим автоматического поддержания значения технологического параметра;
- режим компенсации колебаний скольжения при работе электродвигателя на механизм с большим моментом инерции;
- работа в режиме ослабленного магнитного поля при скоростях вращения электродвигателя выше номинальной;
- работа под управлением по каналу RS-232 или RS-485;
- работа на электропривод с большим пусковым моментом;
- реверс электродвигателя.

**Выбор частотного диапазона.** Радиоаппаратура для разрабатываемой системы попадает под классификацию «неспециализированных устройств», под которыми в [6] и [7] понимаются «устройства малого радиуса общего применения, включая устройства дистанционного управления и передачи телеметрии, телеуправления, сигнализации, передачи данных и других подобных передач».

Вопрос о рациональном использовании частотного спектра можно поделить на два этапа. Это, с одной стороны, развитие законодательных норм развития отрасли. С другой стороны – развитие новых технологий связи. Для передачи данных могут использоваться как диапазоны частот, требующие государственного разрешения, так и нелицензируемые интервалы частот, относительно свободные для их использования [8].

Для обмена данными во всем мире существуют так называемые нелицензируемые (ISM - Industrial, Scientific, Medical Equipment) радиочастотные диапазоны. Термин «нелицензируемый» обозначает, что для эксплуатации беспроводного оборудования в этих диапазонах от его пользователя не требуется лицензии. Тем не менее, такое оборудование должно соответствовать разнообразным национальным спецификациям, которые варьируют в зависимости от конкретного государства. К примеру, в Соединенных Штатах FCC определяет максимальную мощность излучения устройства, а также регламентирует метод модуляции, применяемый оборудованием, работающим в нелицензируемом частотном диапазоне.

В Российской Федерации на основании Решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) № 08-24-01-001 от 28.04.2008 и № 07-20-03-001 от 07.05 2007 для этих целей, среди прочих, выделены частотные диапазоны 433,075 – 434,750 МГц и 868,7-869,2 МГц. Эти радиочастоты могут использоваться без оформления специального разрешения ГКРЧ и совершенно бесплатно при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности (до 10 мВт в районе частоты 434 МГц и до 25 мВт в районе частоты 868 МГц) и назначению радиопередающего изделия.

Закон не ограничивает дальность действия систем связи. Это означает, что применение направленных антенн и ретрансляторов позволяет создавать сети достаточно большой протяженности, однако непродуманное использование нелицензируемых диапазонов частот может привести к возникновению проблем как внутрисистемной, так и межсистемной ЭМС (электромагнитной совместимости).

В России на поддиапазонах 433,075-434,79 МГц и 868,7-869,2 МГц, в отличие от европейских стандартов, нет ограничений на скважность (отношение времени приема ко времени передачи) [9]. Диапазоны 433 и 868 МГц очень хорошо зарекомендовали себя в условиях плотной городской застройки. Для подвижных объектов также предпочтительнее использовать диапазон 433 МГц.

**Радиомодем.** Разработчик имеет в своем арсенале множество альтернативных систем для беспроводной передачи данных: радиомодемы с собственным протоколом в диапазонах 27 МГц, 142-172 МГц, 433 МГц, 868 МГц, 915 МГц, 2400 МГц; системы передачи данных на основе стандартов ZigBee/802.15.4, Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Max [10]. Задача разработчика - выбрать из линейки доступных компонентов такое решение, чтобы решить поставленную задачу и не переплачивать за ненужные параметры или функции.

Дальность связи, стоимость проекта и вопросы лицензирования - все эти параметры имеют четкую зависимость от используемой частоты. При невысоких требованиях к пропускной способности и дальности связи разумным выбором можно считать использование радиомодема, работающего в диапазоне 433 МГц.

В качестве радиомодема предлагается использовать радиомодем «СПЕКТР 433». При выборе модема учитывались следующие обстоятельства:

- радиомодем представляет собой функционально и конструктивно законченное устройство для приема/передачи данных по радиоканалу со скоростью 4800, 9600, 19200, 38400 и 76 800 бод в диапазоне частот ( $433,92 \pm 0,2\%$ ) МГц при выходной мощности до 10 мВт, что позволяет применять его без получения дополнительных разрешений ГКРЧ РФ на использование полосы радиочастот;
- дальность связи зависит от скорости передачи данных и от характеристик, применяемых совместно с модемом антенн, и может достигать нескольких километров в условиях прямой видимости;
- для программирования можно пользоваться любой терминальной программой для персонального компьютера, имеется возможность удаленного (по радиоэфирu) программирования параметров;
- легко встраивается в уже построенные системы без необходимости доработки программного обеспечения;
- может использовать для обмена данными в эфире собственные протоколы, адресацию, кодирование и т.д.;
- обмен данными с источником/получателем информации осуществляется по последовательным портам RS-232 или RS-485 (скорости от 1 200 до 115 200 бод);
- модем питается от источника (7-15) В и потребляет ток порядка до 90 мА в режиме «Прием» и до 200 мА в режиме «Передача»;
- модем защищен от несоблюдения правильной полярности питания;
- модем не имеет органов включения/выключения и начинает работать сразу после подачи питания.

**Протокол.** Непосредственная подача передаваемой цифровой последовательности на вход передатчика - не лучшее инженерное решение системы передачи данных. Протоколов обмена существует достаточно много, но лучше пользоваться наиболее употребительными из них. Основная задача в организации протокола - заставить все устройства различать управляющие байты и байты данных.

Для проведения обмена информацией по кабелям между радиомодемом и ПЧ (на берегу), а также между радиомодемом и панелью управления (на пароме) использован промышленный стандартный интерфейс RS-485. Интерфейс RS-485 - один из наиболее распространенных стандартов физического уровня связи. В основе интерфейса RS-485 лежит принцип дифференциальной передачи данных, то есть при помощи витой пары.

Выбор протокола передачи RS-485 обусловлен следующими обстоятельствами:

- согласно стандарту EIA-485 приемное устройство должно определять разность потенциалов между двумя проводами с данными порядка 200 мВ, что позволяет ему корректную работу даже в том случае, когда на линии передачи сигнала имеет место большое падение напряжения;
- стандарт EIA-485 также допускает, что оба провода с данными могут находиться под общим потенциалом смещения относительно нулевого (заземляющего) провода. Это означает, что нулевые точки передающего и принимающего устройств могут не соединяться непосредственно друг с другом в том случае, если разность потенциалов между ними постоянна и лежит в диапазоне от +12 В до -7 В;
- максимальная скорость связи по спецификации RS-485 может достигать 10 Мбод/сек, максимальное расстояние - 1200 м.

По природе интерфейса RS-485 приемно-передающие устройства не могут передавать

информацию одновременно - будет конфликт передатчиков. Следовательно, требуется распределить между устройствами право на передачу. В работе устройство на пароме используется как ведущее (мастер), которое генерирует запросы и команды ведомому устройству (на берегу). Ведомое устройство может передавать информацию только по команде ведущего.

**Панель оператора.** На пароме также находится комплект приемо-передающей радиоаппаратуры, взаимодействующий по интерфейсу RS-485 с пультом управления ОБЕН СМИ 1-24 (панель оператора), что позволяет управлять работой электропривода парома удаленно без осуществления проводного соединения.

Панель оператора ОБЕН СМИ 1-24 представляет собой панель индикации данных с функциями редактирования для распределенных систем управления в сети RS-485 и RS-232 (протоколы Modbus ASCII/RTU, ОБЕН). Основные функциональные возможности пульта управления:

- работа в сети RS-485 и RS-232 по протоколам ОБЕН, Modbus ASCII, Modbus RTU;
- работа в режимах MASTER, SLAVE, в том числе с использованием сетевых входов при работе по протоколу ОБЕН;
- отображение данных, полученных из сети, на цифровых индикаторах (значения 4 параметров);
- редактирование значений параметров и передача их в сеть.

**Антенны.** Антенны А1 и А2 выбирают исходя из необходимого качества связи и длины радиотрассы. Модемы работают совместно с внешними антеннами диапазона (433-435) МГц с волновым сопротивлением 50 Ом. Тип антенны выбирается исходя из условий эксплуатации, расстояния между объектами и т.д. Дальность связи зависит от различных факторов, основными из которых являются характер местности, скорость данных в эфире, выходная мощность передатчика, тип используемых антенн, наличие помех в эфире. Так, при скорости в эфире 38 400 бод и мощности 10 мВт можно рассчитывать на дальность связи несколько сотен метров с ненаправленными и до (1-3) км с направленными антеннами в условиях прямой видимости. При скорости в эфире 4 800 бод дальность связи при тех же условиях может достичь нескольких километров.

Рекомендуемые типы антенн:

АШ-433 представляет собой вертикальный полуволновой диполь с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости с вертикальной поляризацией;

АД1-433 представляет собой симметричный вибратор с круговой диаграммой направленности. Монтируется на верхушке заземляемой мачты. Вибратор антенны выполнен в виде полуволнового штыря с J-согласованием и заземленным основанием;

АД2-433 направленная антенна имеет такие же габариты, как и ненаправленная антенна АД1-433, но обеспечивает в выбранном направлении усиление около 5 дБ;

АН-433 многоэлементная направленная антенна, обеспечивает при передаче в выбранном направлении усиление не менее 10 дБ, что эквивалентно увеличению мощности передатчика в 10 раз и дальности передачи на открытой местности в 2-3 раза;

АН2-433 направленная антенна, которая имеет практически такие же габариты и цену как ненаправленная полуволновая антенна АШ-433, но обеспечивает при передаче в выбранном направлении усиление около 4 дБ, что эквивалентно увеличению мощности в 2 раза и дальности на открытой местности в 1,5 раза;

АН7-433 четырехэлементная направленная антенна обеспечивает в выбранном направлении усиление около 7 дБ, что эквивалентно увеличению мощности передатчика в 5 раз и дальности передачи на открытой местности в 2-2,5 раза;

АГ-433 вандалоустойчивая ненаправленная антенна, представляет собой вертикальную антенну с круговой диаграммой направленности.

## Полученные результаты

1. Разработана блок-схема системы управления движения паромом.
2. Рассмотрен комплекс вопросов по выбору оборудования для электропривода и для системы передачи данных по радиоканалу.
3. Даны рекомендации по применению радиомодема, панели управления, приемопередающей антенны.
4. Показаны возможности использования протоколов передачи для разрабатываемой системы управления.

## Список использованных источников

1. ВСН 50-87 «Инструкция по ремонту, содержанию и эксплуатации паромных переправ и наплавных мостов».  
URL: <http://www.gosthelp.ru/text/VSN5087Instrukciyaporemom.html> (дата обращения: 04.12.11).
2. Пособие по содержанию и ремонту паромных переправ, Москва, 1968.  
URL: <http://vsesnip.com/Data1/45/45760/index.htm> (дата обращения: 04.12.11).
3. Международный Форум «Морская индустрия России – 2010».  
URL: <http://www.mir-forum.ru/catalogue/stroitelstvo/stroitelstvo2/> (дата обращения: 04.12.11).
4. Гуляев И.В. Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронизированного вентильного двигателя : монография / И.В. Гуляев, Г.М. Тутаев. – Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 2010. 200 с.
5. Преобразователи частоты серии ПЧ-ТТПТ (ОМЕГА-2). Руководство по эксплуатации.  
URL: <http://selt.ru/products/preobrazovateli-dlya-elektroprivoda-2/preobrazovateli-chastoty-serii-pch-omega-2-dlya-asinhronnyih-elektroprivodov/> (дата обращения: 06.12.11).
6. Приложение 1 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 года N 07-20-03-001. Неспециализированные (любого назначения) устройства.
7. Приложение 2 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 года N 07-20-03-001. Устройства локальных (персональных) радиосетей.
8. Дмитриев Владимир. Технологии беспроводной передачи данных, Компоненты и Технологии, 2003, № 2, с46-70.
9. Малиновский А.В. Безлицензионные диапазоны частот 433/868 МГц для радиомодемов и аналоговой радиосвязи.  
URL: <http://www.radiocom.ru/information/articles/?433-868mhz> (дата обращения: 06.12.11).
10. Пушкарев Олег. Беспроводная передача данных в безлицензионном диапазоне 433 МГц. Электронные компоненты, 2007, №3, с. 103-106.

## Ferry System of Traffic

Dubrovin V.S., Klokov A.A. \*, Tsyganov D.O.

Mordovian State University named in honour of N. P. Ogarev, Saransk city.

E-mail: [dvs8937@saransk.ru](mailto:dvs8937@saransk.ru)

\* Joint-Stock Company “Electrovipryamitel”, Saransk city.

**Abstract.** The paper considers the use of a frequency converter for electric drive based on induction motor with squirrel-cage rotor. Based on the analysis of the technical requirements of selected equipment for the construction of self-propelled ferries, controlled by radio.

**Keywords:** frequency converter; radio modem; operator panel; remote control; antenna.