

Выпуск 18

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОСЕТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ НА УЗКОПОЛОСНЫХ РАДИОМОДЕМАХ

В настоящей статье представлена краткая информация о развитии технологических радиосетей управления и сбора данных на узкополосных радиомодемах диапазона ультракоротких волн (УКВ), используемых в интересах обеспечения функционирования автоматизированных систем управления (АСУ) системами орошения самотеком.

(Составлено по материалам канадской компании Dataradio, ныне Calamp www.calamp.com).

1. Общая информация.

Самотечное орошение – система позволяющая забирать и распределять воду для орошения на основе использования сил гравитации, обеспечивающих подачу оросительной воды только на подконтрольные источнику и оросительному каналу земли (Толковый словарь по почвоведению. - М.: Наука. Под редакцией А.А. Роде. 1975).



Канал системы самотечного орошения (Фото: <https://www.btlliners.com/irrigation-liners/>)

Автоматизированная система управления оросительными каналами может рассматриваться в качестве ключевого элемента при формировании системы орошаемого земледелия. Именно такая система позволяет эффективно распределять и использовать водные ресурсы на обширных территориях, исключая серьезные потери и обеспечивая регулярность водоснабжения.

Основными элементами АСУ являются удаленные программируемые контроллеры, связанные с датчиками и исполнительными устройствами (шлюзовыми воротами и насосами, в части, где полив производится с использованием дополнительных средств), а также специальное программное обеспечение, работающее на компьютерах единого

пункта управления. Функционирование на обширных территориях с малой плотностью населения обуславливает сложности при объединении элементов такой АСУ в интегрированную систему.



Узел современной системы орошения самотеком (Фото: www.rubiconwater.com)

Технологическая радиосеть управления и сбора данных УКВ диапазона представляется идеальным инструментом для организации обмена данными в интересах функционирования АСУ оросительными каналами ввиду следующих оперативно-технических возможностей:

- рабочая зона, полностью перекрывающая район использования подключенных к радиосети оконечных устройств. Радиосеть может разворачиваться в любом районе или климатической зоне и обслуживать систему практически любого масштаба;
- полная автономность и отсутствие необходимости сложного технического обслуживания и настройки в процессе эксплуатации;
- гарантированная надежность¹ работы (радиосеть создается и управляется ее владельцем с учетом его персональных требований к надежности функционирования);
- высокая живучесть² радиосети в различной обстановке (требование к живучести закладывается на этапе проектирования радиосети ее владельцем, и, как правило, оказывается выше, чем в радиосетях общего пользования);
- применение детерминированных протоколов обмена данными, поддерживающих работу в реальном режиме времени и обеспечивающих гарантированную доставку данных в установленные регламентом работы радиосети сроки;
- относительно небольшое время доступа к каналу передачи данных, обеспечивающее незначительные и полностью приемлемые для любой автоматизированной системы управления оросительными каналами задержки в доставке данных;

¹ **Надежность** ([англ. reliability](#)) – свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и транспортирования [ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»].

² **Живучесть** ([англ. survivability](#)) – свойство системы, характеризуемое способностью выполнять установленный объем функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах [ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения»].

- высокая безопасность данных, функционирующих в технологической радиосети (применяемые технологии обеспечивают защиту от подавления, перехвата или несанкционированного доступа к работе в составе технологической радиосети);
- относительно низкая стоимость эксплуатации;
- независимость от «чужой» инфраструктуры связи и возможность развивать ее исходя из реальных требований (радиосеть принадлежит эксплуатирующей ее организации, параметры ее работы и оперативная зона могут изменяться ею самостоятельно);
- совместимость с разнородными исполнительными устройствами и оборудованием сбора и обработки данных по широко применяемым и детально отработанным интерфейсам;
- простота перемещения и оперативность развертывания в новом районе;
- возможность эксплуатации в жестких условиях окружающей среды.

Основными элементами технологической радиосети (представлены на Рис. 1) являются радиомодемы, устанавливаемые на удаленных объектах, к которым подключаются программируемые контроллеры, и базовые станции радиосети, обеспечивающие связь с удаленными радиомодемами на заданной территории. Часто в составе радиосети применяются ретрансляторы, обеспечивающие расширение оперативной зоны.



Рис. 1. Элементы технологической радиосети автоматизированной системы управления оросительными каналами: радиомачта с антенной, блок-бокс с электронным оборудованием и аккумуляторами, солнечные батареи. (Фото: www.rubiconwater.com, www.campbellsci.com/south-dakota-irrigation)

Технические характеристики оборудования обеспечивают возможность работы радиосети на обширных территориях. Наиболее крупная из таких радиосетей, развернутая в лесном хозяйстве (близкая по техническим требованиям прикладная задача), охватывает сплошным покрытием площадь более миллиона квадратных километров, что превосходит потребности практически любой существующей или перспективной системы орошения.

2. Первая радиосеть обеспечения работы АСУ оросительными каналами.

Первая технологическая радиосеть управления оросительными каналами была развернута в штате Калифорния (США) в начале 90-х годов прошлого столетия.

На момент развертывания АСУ оросительными каналами значительная часть сельских районов штата уже обслуживалась мощной ирригационной системой, состоящей из крупных акведуков и отводных каналов, питающих отдельные фермерские хозяйства. Помимо обеспечения водой, каналы также использовались для периодической доставки на поля пестицидов и химических удобрений. Каналы были снабжены шлюзовыми воротами на каждой подключенной к системе орошения ферме, позволявшими регулировать

доставку воды в ручном режиме. Разработанный график подачи воды позволял доставлять химикаты на выбранные или все фермы. Это достигалось путем растворения химикатов в воде в начале канала и своевременного открытия соответствующих задвижек на конкретных фермах. Выходные задвижки в конце канала предотвращали попадание химикатов в акведук. Общая схема системы орошения представлена на рис. 2.

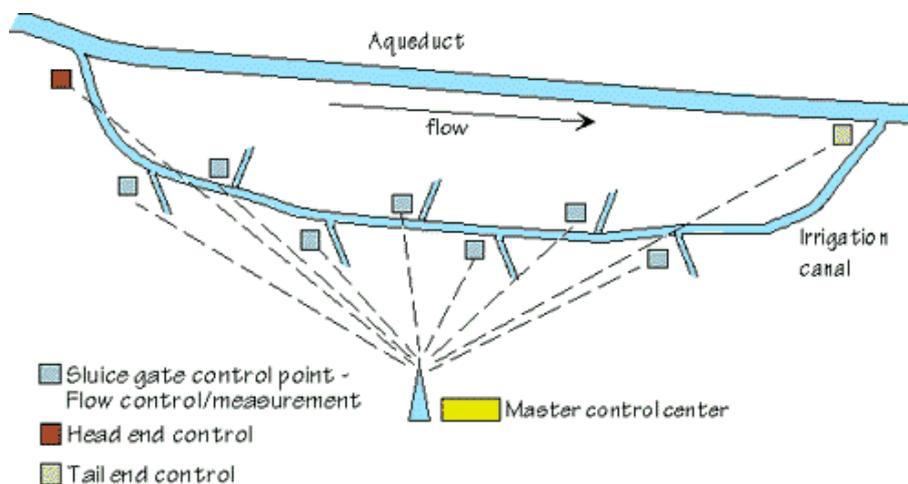


Рис. 2. Общая схема системы орошения: Aqueduct – акведук, flow – направление движения воды, sluice gate control point (flow control/measurement) – шлюзовые ворота (управление напором и измерения расхода воды), head end control – верхние ворота, tail end control – нижние ворота, master control center – основной центр управления. (Из архива компании Dataradio)

На момент развертывания АСУ управление оросительными каналами выполнялось в ручном режиме. Измерения объемов поступающей воды производилось помещением в воду поплавка и измерением скорости его движения. Открывание и закрывание ворот и задвижек осуществлялось в ручном режиме.

Технологическая радиосеть обеспечения АСУ оросительными каналами была реализована на радиомодемах APR. Технические характеристики радиомодема представлены в Таблице 1.

Общие характеристики	
Диапазон частот, МГц	151-174
Шаг сетки частот, кГц	25
Рабочее напряжение, В	12 (постоянный ток), 110-220 (переменный ток)
Рабочая температура, °С	от -30 до 60
Масса (в упаковке), кг	6
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс, дуплекс
Приемник	
Достоверность передаваемых данных (вероятность)	1×10^{-11} BER

возникновения ошибки)	
Передатчик	
Полоса пропускания без подстройки, МГц	23
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	2 или 5
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Интерфейсы	1, 3 или 5 RS-232 (DB9)
Антенный порт	N-типа
Модем	
Скорость, кбит/с	2,4; 4,8 или 9,6
Индикация	Питание, состояние, прием/передача
Встроенный протокол	CARMA (Collision Avoidance Radio Multiple Access)

В общей сложности в составе радиосети было использовано 15 таких устройств, работающих на скорости 4,8 кбит/с, электропитание которых было организовано от аккумуляторов и солнечных батарей.

Собственно АСУ была построена на программируемых логических контроллерах (ПЛК) Modicon (в настоящее время Schneider electric, www.se.com/ru). Каждые шлюзовые ворота дополнительно были оборудованы уровнемерами.

В составе АСУ использовался протокол опроса (Modbus). Базовая станция передавала данные последовательно на каждый удаленный объект в заданном порядке. После получения сообщения удаленный ПЛК отправлял ответ в адрес базовой станции. Таким образом, базовая станция полностью контролировала работу радиосети и исключала возможность возникновения коллизий при обмене. Поскольку протокол Modbus использует собственную схему адресации, радиомодем APR использовался в режиме широкополосной передачи с отключенной встроенной адресацией. Передача подтверждения средствами радиомодема также была отключена, поскольку эта функция выполнялась каждым ПЛК.

Экономическая эффективность применения АСУ оросительными каналами оказалось настолько велика, что в отрасли появились крупные инновационные компании, специализацией которых стало развитие таких систем.

3. Современная технологическая радиосеть обеспечения работы АСУ оросительными каналами.

Одна из наиболее современных технологических радиосетей обеспечения работы АСУ оросительными каналами развернута в настоящее время в центральной части штата Калифорния в районе Сан Хоакин Вэллей (San Joaquin Valley) в составе одной из крупнейших систем орошения самотеком, возраст которой насчитывает более 100 лет.

Данная система оросительных каналов функционирует на площади в 29 000 гектар и снабжает водой около 2800 фермерских и 700 домовых хозяйств.



Рис. 3. Ворота шлюзов до и после модернизации системы орошения и внедрения АСУ.

Развернутая АСУ обеспечивает управление работой двух оросительных каналов протяженностью 10 и 17 км, 30 водосборных бассейнов и 94 индивидуальных водоотводов. Радиосеть построена на радиомодемах Viper-SC+ 100, технические характеристики которых представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+ 100.

Общие характеристики	
Диапазон частот, МГц	136-174
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	25
Тип излучения	16K5F1D; 17K8F1D
Потребляемый ток:	
- прием, мА	450 (10 В); 240 (20 В); 170 (30 В)
В режиме энергосбережения, мА	98 (13,8 В)
- передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)
- передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2-3,6 (10 В); 0,6-1,8 (20 В); 0,4-1,2 (30 В)
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)
Температура по спецификации, град. С	от -30 до +60
Рабочая температура, град. С	от -40 до +70
Температура хранения, град. С	от -45 до +85, без образования конденсата
Влажность, %	5-95, без образования конденсата
Габаритные размеры, см	13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)
Масса (в упаковке), кг	1,1
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс
Передатчик	

Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10
Время атаки, мс	<1
Время переключения между каналами, мс	<15
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1,0
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45
Антенна	TNC (мама) - прием/передача; SMA (мама) - прием (для двухпортовых устройств)
Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):	
- 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	70
Интермодуляция, дБ	>75
Избирательность, дБ	>70
Модем	
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK
Адресация	IP

Технические характеристики современных радиомодемов позволяют существенно расширить функциональные возможности АСУ оросительными каналами за счет применения IP-протокола, позволяющего дистанционно управлять работой радиосети и производить настройку оборудования. Система мониторинга технического состояния оборудования радиосети обеспечивает повышение ее надежности за счет своевременного выявления предпосылок к сбоям в работе и контроля текущего технического состояния радиотехнической аппаратуры в реальном масштабе времени.

В радиомодеме (начиная с версии встраиваемого программного обеспечения v3.4) реализован эффективный режим энергосбережения. Данный режим работы позволяет снизить энергопотребление в 3,5 раза - с 350 до 98 мА - при питании от источника постоянного тока номинальным напряжением 13,8 В. Встроенная программа позволяет выполнить переход в режим работы с пониженным энергопотреблением с задержкой не более 0,5 с и выйти из него с номинальной задержкой 2 с.

Такие характеристики позволяют эффективно использовать радиомодем в составе АСУ оросительными каналами, где электропитание оборудования от солнечных батарей и аккумуляторов является стандартом де-факто, совместно в любыми программируемыми контроллерами, имеющими номинальное потребление не менее 130 мА и пусковой ток не менее 700 мА. В настоящее время вышеуказанные радиомодемы являются штатным

компонентом серийно выпускаемого оборудования для орошения и современных АСУ оросительными каналами.

ООО «Независимый исследовательский центр перспективных разработок» (ИЦПР)

Flexlab
с 1991 года

115583, Москва, ул. Генерала Белова 26, офис 519

Тел. +7 (499) 113 26 98

Факс. +7 (499) 113 26 98

Моб. +7 (915) 465 72 89

E-mail: sm@flexlab.ru

<https://www.flexlab.ru>