

6
АУС

ВСЕСОЮЗНАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ХАЛТУРИН Борис Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОПТИМИЗАЦИИ
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОРОШЕНИИ

(Специальность 11.00.09 — Метеорология, климатология
и агрометеорология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград 1973

ВСЕСОЮЗНАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ХАЛТУРИН

БОРИС НИКОЛАЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОРОШЕНИИ

(Специальность II.00.09 - Метеорология,
климатология и агрометеорология)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград, 1973

Диссертация выполнена в лаборатории радиотелеметрии отдела измерительной техники Всесоюзного научно-исследовательского института комплексной автоматизации мелиоративных систем Минводхоза СССР.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,
профессор

А.Ф.Чудновский

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Г.М.Белинский

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Р.А.Полуэктов

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

И.Г.Мушкин

Ведущее предприятие --

Институт "ВОЛГОГИПРОВОДХОЗ" Всесоюзного производственного проектного объединения "СОЮЗВОДПРОЕКТ" Минводхоза СССР.

Автореферат разослан " " _____ 1973 г.

Защита диссертации состоит " " _____ 1973 г.

на заседании Ученого Совета Агрофизического научно-исследовательского института ВАСХНИЛ по адресу: 194220 г. Ленинград К220,

Гражданский проспект 14, актовый зал.

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агрофизического научно-исследовательского института.

Ученый секретарь Совета,

кандидат сельскохозяйственных наук

науке



А.В.СУДАКОВ

Одним из важнейших звеньев в развитии научно-технического прогресса в сельском хозяйстве Советского Союза является создание технически совершенных оросительных систем с высокими технико-экономическими показателями, опирающихся на использование средств автоматизации учета и контроля основных параметров технологических процессов забора, транспортирования и распределения воды на орошаемые участки. Особая роль в данной проблеме отводится разработке методов и средств для контроля и управления процессами внутрихозяйственного водораспределения и полива. Автоматизация процессов полива при искусственном орошении направлена на устранение возникающей несогласованности между водоподачей и водопотреблением и базируется на своевременной корректировке сроков и норм полива на основе оперативного учета гидро- и агрометеорологических факторов.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт оптимизация процессов орошения немислима без создания совершенной сети агрометеорологического обслуживания, обеспечивающей научно обоснованный объективный контроль обобщенных показателей водно-солевого и теплового режимов орошаемых земель и условий произрастания сельскохозяйственных культур. Поэтому в настоящее время имеет место тенденция создания автоматизированных измерительно-информационных систем (АИИС) для решения задач агрометеорологического обслуживания при искусственном орошении. При создании АИИС такого назначения возникает ряд задач, связанных с обоснованием требований на ее структуру и режимы работы.

Для решения этих задач необходимо, в частности, последовать:

1. Рациональные режимы измерения агрометеорологических параметров при искусственном орошении и связанные с ними потоки информации;
2. Степень избыточности измерительных сообщений, поступающих с объектов контроля, и методы, позволяющие использовать эту избыточность для улучшения характеристик АИИС;

3. Методы и средства, обеспечивающие передачу информации с объектов с минимальными энергетическими затратами.

Настоящая диссертационная работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию вопросов оптимизации режимов отбора агрометеорологической и гидромелиоративной информации от источников сообщений и методов передачи данных по каналу связи с объектов контроля, направленных на сокращение избыточности информационных потоков и улучшение энергетических характеристик передающей аппаратуры, и имеет своей целью определение реальной эффективности и конкретных путей технической реализации этих методов применительно к задачам агрометеорологического обслуживания при искусственном орошении.

Поставленная задача решалась на сигналах об изменениях влажности почвы и уровня воды, что однако не исключает возможности применения исследуемых методов и для ряда других агрометеорологических параметров.

В работе рассматриваются следующие вопросы:

- а) исследование информативности источников сообщений о влажности почвы и уровне воды и оценка эффективности алгоритмов сокращения избыточности передаваемых данных;
- б) исследование и разработка методов повышения эффективности телеизмерений, основанных на автоматическом приспособлении режимов передачи к текущим характеристикам измеряемых параметров;
- в) исследование экономичных методов передачи цифровой измерительной информации по каналу связи, основанных на учете статистических и информационных особенностей передаваемых сообщений;
- г) разработка принципов построения радиотелеметрических устройств, предназначенных для решения задач агрометеорологического обслуживания при искусственном орошении, и рекомендаций по их контролю.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и восьми приложений.

Общий объем диссертации, включая оглавление, приложения, список литературы и 57 рисунков, - 184 страницы машинописного текста.

I.

В первом разделе проводится анализ перспективных задач агрометеорологического обслуживания в условиях искусственного орошения и оценка требований на средства измерения.

С целью выяснения вопросов по обоснованию требований на точность измерения агрометеорологических параметров в аспекте определения норм и сроков полива при искусственном орошении рассмотрены характеристики основных параметров, влияющих на выбор режимов орошения. При анализе в качестве базисного использован тепловоднобалансовый метод определения норм и сроков полива, разработанный в ГТИ. Отмечено, что при вычислении норм и сроков полива необходимо учитывать не только влагозапасы в активном слое почвы, но и испарение, уровень грунтовых вод, осадки, сток и др. При этом при наличии соответствующих данных прогноза агрометеорологических элементов прогноз влажности почвы может быть осуществлен на базе формулы

$$W_k = \frac{1}{1 + \frac{\beta E_0}{2\gamma}} \left[W_n \left(1 - \frac{\beta E_0}{2\gamma} \right) + X + M - U_n + K_n - J_n \right] \quad (I)$$

Очевидно, что требования на допустимую погрешность определения W_k зависят как от неоднородности характеристик орошаемых участков, вида сельскохозяйственных культур, так и от способов орошения и применяемой техники полива. Так например, в ряде работ указывается, что для полива дождеванием допустимая погрешность измерения W_k находится в пределах (7 + 15)% в зависимости от вида подводящей оросительной сети. В то же время достижимая точность измерения указанных параметров ограничивается возможностями существующих средств контроля. Исходя из этого выявлено, что при реально достижимых по-

грешностях измерения M (2,5%), X (10%) и E_0 (5%) на точность определения начального влагозапаса W_H и уровня грунтовых вод при близком залегании ($h \leq 2,5$ м) накладываются весьма жесткие требования для обеспечения $\delta_{W_K} \leq 7\%$. При этом отмечено, что на погрешность ΔW_K основной вес имеют погрешности измерения влажности почвы W_H , испарения E , поданной воды на полив M и уровень грунтовых вод. На конкретном примере показано, что для обеспечения $\delta_{W_K} \leq 7\%$ при реально достижимой точности определения W_H и K_h (через уровень грунтовых вод h) необходимо погрешность δM поддерживать в пределах (1,5 + 2)%.

Анализ возможных вариантов распределения погрешности между W_H и K_h показывает, что с учетом более низкого веса K_h и относительной простоты измерения УГВ в наблюдательных скважинах рационально увеличить допустимую погрешность измерения W_H . В то же время следует отметить, что процессу непосредственного измерения влагозапаса должно уделяться особое внимание в направлении возможного снижения погрешности измерений. Такой подход в дальнейшем позволил бы существенно снизить требования к измерениям остальных составляющих, и в частности, испарения.

Анализ составляющих погрешности δW_H показал, что основной вес имеют погрешности датчика влажности почвы и осреднения точечных измерений по площади орошаемых участков (погрешность за счет пространственной дискретизации), т.к. остальные составляющие, обусловленные нелинейностями преобразователей в тракте измерений, передачей данных по каналам связи, временной дискретизацией и др., могут быть снижены до весьма малых значений. При этом отмечается, что, в частности, снижение допустимой погрешности за счет временной дискретизации приводит к увеличению частоты замеров влажности почвы и, соответственно, к увеличению потоков информации. В связи с этим для реально достижимой погрешности за счет пространственной дискретиза-

ции, равной 5%, и остальных погрешностей тракта измерений в пределах (0,1 + 0,5)%, рекомендуется погрешность за счет временной дискретизации ограничить в пределах (1 + 2)%.

Для конкретных натуральных реализаций изменения влажности почвы и уровня грунтовых вод, характерных для искусственного орошения, взятых в качестве примера, получены приближенные оценки потоков информации при допустимой погрешности за счет временной дискретизации (1 + 2)% для ступенчатой аппроксимации. Показано, что для рассматриваемых натуральных реализаций изменения влажности почвы и УГВ период между опросами при равномерной дискретизации по времени лежит в пределах от 2 до 8 часов. Такие режимы измерений по времени обуславливают, с одной стороны, необходимость использования средств оперативного сбора и обработки данных, т.к. по системе измерения, охватывающей даже 100 точек контроля с пятью датчиками на каждой, суточный объем данных уже будет составлять несколько тысяч отсчетов. С другой стороны, передача такого объема данных с объектов контроля накладывает весьма жесткие требования на экономичность телеметрической аппаратуры, устанавливаемой на поле. Эти требования обусловлены энергонеобеспеченностью объектов контроля и затруднительностью использования физических каналов связи и энергообеспечения на поле (кабель, проводные линии на опорах и т.п.) и приобретают особую актуальность при использовании радиоканала связи, когда питание аппаратуры на объекте должно осуществляться от автономных источников с ограниченным ресурсом.

С целью анализа требований на энергоснабжение аппаратуры контролируемых пунктов получены оценки требуемой энергоемкости автономных источников питания, обеспечивающих передачу оцифрованных объемов информации по радиоканалу связи. Оценки проводились для типовых УКВ - радиостанций низовой связи, рекомендованных для использования в сельском хозяйстве, 21-РТН ("Кампус") и 1РТН

("Гранит-АС"). Анализ показал, что требуемая энергоемкость источников автономного питания для обеспечения непрерывной работы 3-6 месяцев составляет от 30 до 160 а/часов для каждого контролируемого пункта (КП), и в интерпретации на систему контроля, содержащую 100 КП, сопряжена с капитальными затратами в несколько десятков тысяч рублей даже при использовании самых дешевых аккумуляторов. Отмечается, что сокращение объема передаваемых данных даже на (25-30)% может привести в итоге к снижению капитальных затрат на энергопитание в несколько тысяч рублей.

Не менее важной задачей при агрометеорологическом обслуживании является обеспечение правильной интерпретации результатов измерений. Решение этой задачи чаще всего базируется на оперативной обработке потоков измерительной информации с помощью ЭМ. С целью выявления рациональных путей обработки данных был проведен анализ двух вариантов:

- а) обработка данных путем ретрансляции и абонирования ЭМ в специализированных ВЦ;
- б) обработка данных непосредственно на пункте сбора в хозяйстве с помощью "мини-ЭМ" (М-6000).

Анализ показал, что при ожидаемых потоках информации для обработки (до 10 тысяч знаков в сутке) и допустимых задержках на обработку (период между опросами) на данном этапе рациональнее осуществлять обработку по первому варианту, хотя, в перспективе, при создании АСУ орошением второй вариант будет иметь ряд неоспоримых преимуществ (оперативность управления, обеспечение решения более широкого круга задач и т.п.). При этом отмечается, что для первого варианта обработки сокращение потоков информации также может обеспечить снижение затрат на контроль процессов (абонирование ЭМ, каналов Министерства связи и др.).

В то же время анализ конкретных реализаций процессов изменения

влажности почвы и уровня грунтовых вод показал, что эти процессы имеют несколько характерных квазистационарных участков, отличающихся скоростью изменения параметра (например, межполивной период и период полива), и перестройка режимов измерения по времени могла бы привести к сокращению потоков информации, что и будет показано в дальнейшем.

На основании полученных результатов анализа особенностей задач агрометеорологического обслуживания при искусственном орошении был сделан вывод, что к телеметрическим устройствам, обеспечивающим оперативный сбор информации с объектов контроля, должны предъявляться жесткие требования, направленные на повышение энергетической экономичности аппаратуры контролируемых пунктов и сокращение объема данных, передаваемых на центральный пункт сбора для обработки. Поэтому в работе вышеупомянутые требования были приняты как основные цели, и все исследования были направлены на оптимизацию телеметрических устройств по этим показателям.

С целью рассмотрения возможных методов оптимизации системы передачи информации (СПИ) по выбранным показателям была проведена их общая классификация по целям, способам и принципам построения и в результате анализа выяснено, что при решении задач искусственного орошения:

1. Оптимизация СПИ может базироваться как на обычном, так и на адаптивном подходах;
2. Повышение энергетической эффективности телеметрии при одновременном сокращении избыточности рационально осуществлять путем адаптации к источнику сообщений;
3. Для сокращения избыточности потоков измерительных сообщений наиболее приемлемы методы временной адаптивной дискретизации (ВАД);
4. Для обычного подхода к оптимизации СПИ представляется целесо-

рес только методы передачи, основанные на обмене составляющих объема сигнала, без введения дополнительной избыточности, в частности, метода обмена полосы частот на энергию сигнала;

5. Техническая реализация средств телеметрии должна ориентироваться на упрощение аппаратуры, устанавливаемой на орошаемых участках.

Проведенный теоретический анализ основных методов оптимизации СПМ позволил выявить наиболее перспективные пути и вопросы исследований, направленные на повышение энергетической эффективности и сокращение избыточности потоков сообщений, сущность которых сводится к следующему:

I. Оценку ожидаемой эффективности способов адаптации к источнику сообщений рациональнее производить путем статистических исследований натуральных реализаций с применением ЭМ. При этом особое внимание должно быть уделено правильности определения исходных информационных потоков без сжатия;

2. С учетом условий эксплуатации ИИС в орошении на первом этапе необходимо использовать только простейшие процедуры сжатия избыточности, предварительно оценив их ожидаемую эффективность;

3. Необходимо исследовать наиболее перспективные методы использования эффектов сокращения избыточности для повышения энергетической эффективности передачи данных по каналу связи и приемлемые формы их технической реализации;

4. Целесообразно развить методы передачи, основанные на неравномерной защите разрядов цифровых измерительных сообщений, на каналы связи низкого и среднего качества, а также для случаев учета статистики сообщений.

II.

Второй раздел посвящен теоретическому исследованию и разработке методов оптимизации телеметрических устройств для решения выше-

сформулированных задач.

Так как объем передаваемого сигнала для каждого из способов определяется исходными ограничениями, наложенными на телеметрию, и зависит от выбранных процедур преобразования, возникает задача отыскания наиболее эффективных методов передачи, при которых полный объем передаваемого сигнала для тех же значений допустимой прогрессивности $\delta_{доп}$ передавался бы при минимальных затратах по выбранному показателю качества. С этой целью во второй главе проведено исследование следующих вопросов:

1. Определение информационных потоков и сравнительная оценка эффективности алгоритмов сокращения избыточности;

2. Выбор и оценка эффективности методов адаптивной (приспосабливающейся) телеметрии, обеспечивающих сокращение объема сообщений и энергетических затрат на передачу данных по каналу связи;

3. Выбор и оценка энергетической эффективности методов передачи с неравномерной защитой разрядов в цифровых сообщениях.

Первый из вопросов решался путем исследования на ЭМ способов дискретизации, использующих приближение сигнала аппроксимирующей функцией

$$f^*(t) = a_0 + a_1 t + \dots + a_N t^N \quad (2)$$

при степени приближения $N = 0$ и $N = 1$ (соответственно ступенчатая и линейная аппроксимации), для среднеквадратичного ($M = 1$) интегрального ($M = 2$) и равномерного ($M = 3$) критериев оценки ошибок приближения. В качестве исходных сообщений были взяты конкретные реализации телеметрических сигналов, полученные при регистрации сезонных изменений уровня воды.

По натурным реализациям определены:

- а) энергетические спектры процессов - $F(\omega)$;
- б) корреляционные функции процессов - $B(\tau)$;
- в) максимально допустимый равномерный шаг дискретизации по

времени - $T_{p \max}$ и исходные информационные потоки при телеизмерении;

г) коэффициенты сжатия избыточности "по отсчетам" - $\bar{K}_{сж}$.

Полученные результаты показали, что исходные информационные потоки при равномерной дискретизации сильно зависят от критерия оценки ошибок M (для примера, при $M = 2$; $N = 0$ и $\delta_{гол} = (1+5)\%$ - $T_{p \max}$ изменяется от (1+10) до (20+50) часов; тогда как для $M = 3$ - $T_{p \max}$ составляет от (0,2+0,7) до (0,8+3) часов) и являются квазистационарными во времени, а коэффициенты сжатия избыточности являются удовлетворительными только для равномерного приближения ($M = 3$).

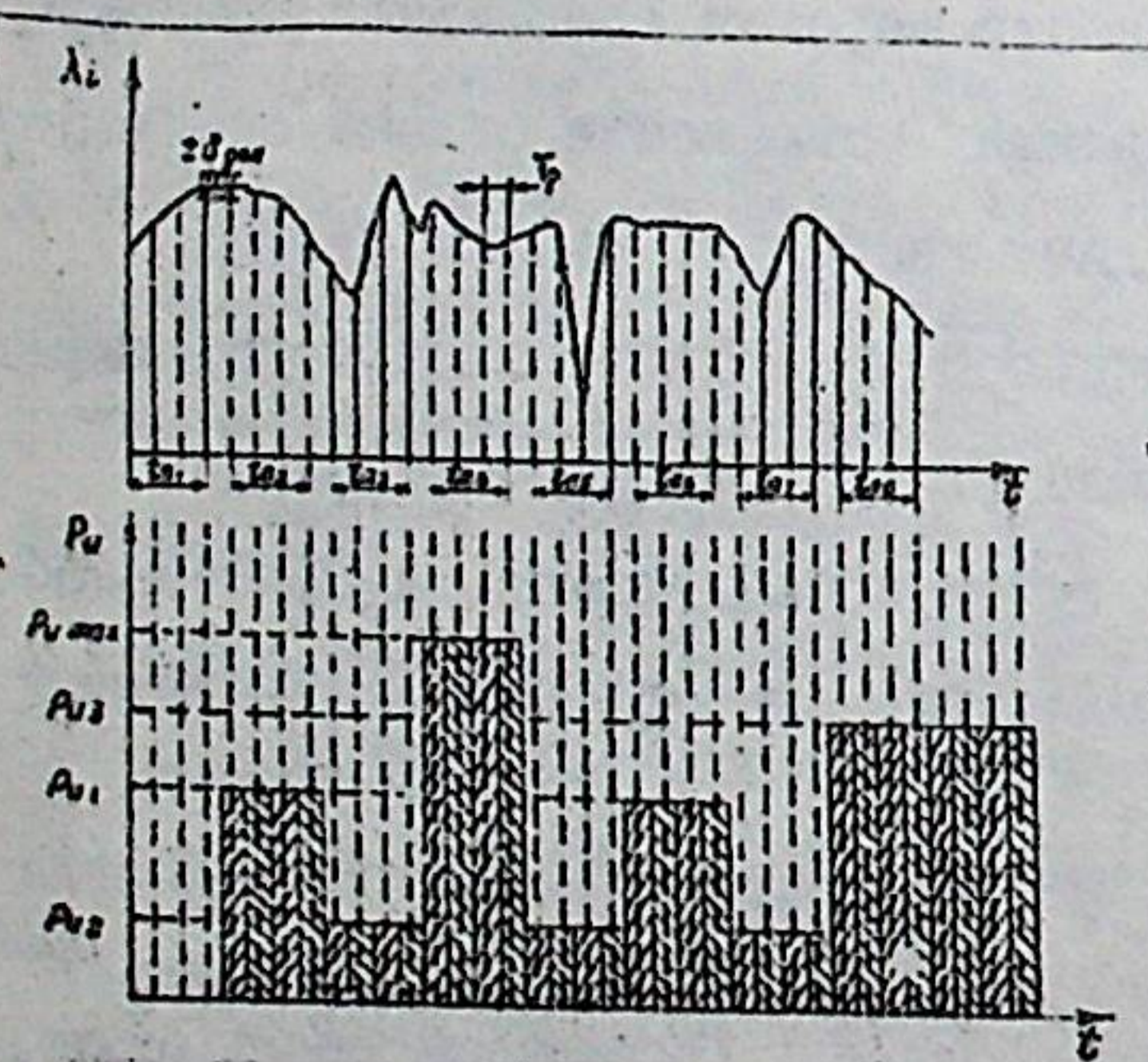


Рис. 1.

реализации алгоритмов сжатия с помощью нулевого порядка при жестких ограничениях на объем дополнительной служебной информации.

Постановка второго вопроса была разбита на две части. Первая

Например, при $M = 3$ - $\bar{K}_{сж} = 8 + 20$ для $N = 0$ и $\bar{K}_{сж} = 8 + 25$ для $N = 1$, в то время, как при $M = 2$ - $\bar{K}_{сж} = 1,2 + 3$, а при $M = 1$ - $\bar{K}_{сж} = 1,5 + 7$ для $N = 0$, и только для двух реализаций при $N = 1$ $\bar{K}_{сж}$ достигает 15.

По результатам исследований сделан вывод о возможности применения простых по

часть охватывает задачи, связанные с повышением только энергетической эффективности телеметрии, а во второй части рассматриваются задачи сокращения избыточности передаваемых измерительных сообщений при одновременном улучшении энергетических показателей.

Сущность первого рассматриваемого метода адаптивной передачи состоит в том, что с целью улучшения энергетических показателей телеметрии, по каналу связи передаются все дискретные выборки, включая избыточные, и путем анализа ожидаемой степени избыточности передаваемых данных устанавливается излучаемая мощность передатчика, необходимая и достаточная для заданной достоверности (рис.1).

Преимуществом такого метода является сохранение первичной структуры передаваемых сообщений без включения какой-либо дополнительной служебной информации. Для практической реализации данного способа необходимо выяснить, по каким законам, в зависимости от текущей избыточности сообщений, следует устанавливать минимально допустимое значение излучаемой мощности передатчика, при котором обеспечивается заданная достоверность приема и восстановления исходных сообщений по дискретным отсчетам.

Передача телеметрических данных рассматривалась по стационарному двоично-симметричному каналу связи, пораженной аддитивной помехой типа "белый шум", для двух способов опознавания принятых сообщений: без статистической обработки и с опознаванием "по большинству".

Для обычного приема сообщений без статистической обработки дисперсия ошибки передачи для данного метода определяется выражением

$$D[\delta] = \prod_{j=1}^l P_{сж} \sum_{i=1}^n 2^{2(i-1)} = \prod_{j=1}^l \left(1 - \frac{1}{2} e^{-\frac{K_j N_j T}{2 \sigma_0^2}} \right) \sum_{i=1}^n 2^{2(i-1)} \quad (3)$$

- где n - число разрядов кода;
 σ_0^2 - спектральная плотность "белого шума",
 N_0 - максимальная мощность передатчика,
 K_j - коэффициент, учитывающий, какой мощностью необходимо вести передачу,
 ℓ - число ожидаемых избыточных отсчетов.

Исходя из условия $D = D[\delta] = const$ и обозначив $c_1 = \frac{N_0 T}{2\sigma_0^2}$, $d = \sum_{i=1}^{\ell} 2^{2(i-1)}$, выведена зависимость коэффициента снижения мощности от избыточности сообщений

$$K_e = \frac{\ell \ln d - \ln 2^{\ell} - D}{\ell \cdot c_1} \quad (4)$$

с помощью которой представляется возможным осуществить автоматический выбор необходимой мощности передатчика.

Для случая опознавания сообщений "по большинству" получено выражение

$$D[\delta] = d \sum_{j=\frac{\ell}{2} + \frac{1-(1-\delta)^{\ell}}{4}}^{\ell - \frac{1+(1-\delta)^{\ell}}{2}} c_1^j e^{-\frac{1+(1-\delta)^{\ell}}{2} c_1} \left(1 - e^{-\frac{1+(1-\delta)^{\ell}}{2} c_1}\right)^{\ell - \frac{1+(1-\delta)^{\ell}}{2} - j} \quad (5)$$

По зависимостям (4) и (5) рассчитаны коэффициенты K_e для $P_c = 10^{-3}$, 10^{-4} и 10^{-5} в диапазоне значений $\ell = 1 + 8$, а также соответствующие коэффициенты изменения отношения "сигнал-шум" на входе приемника K_j , показывающие, в частности, что для выбранных ограничений при $\ell = 5$ и приеме без статистической обработки мощности передатчика можно снижать в 6 раз, однако при этом K_j падает в 9 раз, и необходимо накладывать более жесткие требования на параметры приемника.

На конкретном примере производится расчет и сравнение энергетической эффективности метода относительно передачи без сжатия и адаптивной передачи с выравниванием скорости с помощью буферной памяти.

Отмечено, что, несмотря на высокую эффективность, применимость данного метода, ввиду переходных процессов при коммутации мощности передатчика, ограничивается системами низкого и среднего быстродействия.

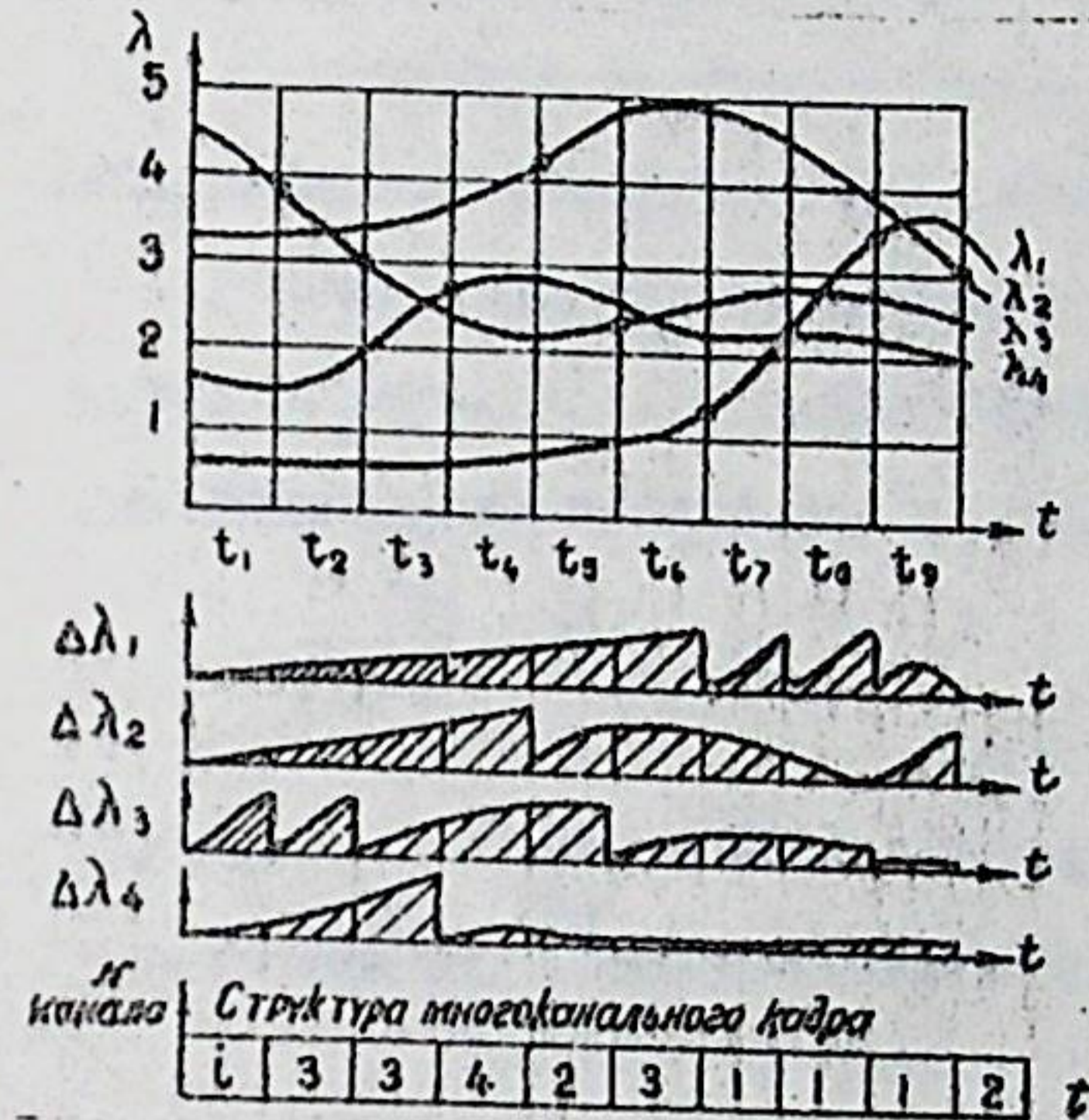


Рис. 2.

Суть второго рассматриваемого метода, реализуемого только в многоканальной телеметрии, заключается в адаптивном поиске активных каналов и статистическом усреднении скорости передачи по множеству (ансамблю) источников. При этом скорость передачи по каналу связи сохраняется постоянной без применения буферной памяти и на участке реализации средняя квадратичная ошибка не превышает допустимую. Отличительной особенностью рассматриваемого метода является повышенная эффективность отбора активных каналов в нестационарных режимах их поведения, которая обеспечивается адаптивным поиском, осуществляемым путем сравнения текущих ошибок приближения с периодически уменьшающейся апертурой (зоной отбора ошибок), в результате чего из всего ансамбля источников сообщений для передачи отбирается тот, у которого максимальная текущая ошибка дискретизации (рис. 2).

Рассматривается вопрос компенсации дополнительных потерь при передаче сжатых данных по каналу связи путем введения дополнительной избыточности после процедуры сжатия.

При двоичном кодировании и передаче сжатых данных по каналу связи с помехой "белый шум" потери информации можно определить как

$$\bar{W} = \frac{P_{c1}}{N} \sum_{q=0}^m \sqrt{\sum_{k=0}^N P(k) \left[\sum_{i=1}^n \beta_i 2^{i-1} \right]^2 t_q P_q} \quad (6)$$

где $P_{c1} = \frac{1}{2} e^{-\frac{P_1 T}{2\sigma^2}}$ - вероятность сбоя символа при передаче без сжатия,

$P(k)$ - вероятность появления k -ой кодовой комбинации,

t_q и P_q - неравномерный шаг квантования по времени и вероятность его появления,

P_1 - мощность передатчика при передаче без сжатия.

Учитывая, что $t_{cp} = \bar{K}_{сж} \cdot t_0$, (7)

где t_0 - равномерный шаг квантования,

из условия сохранения заданных потерь $W_0 = \bar{W} = const$ показано, что необходимо, в частности, увеличить мощность передатчика в соответствии с зависимостью

$$P_2 = \left(2 \frac{1}{n} \ln \bar{K}_{сж} + 1 \right) P_1, \quad (8)$$

где P_2 - необходимая мощность передачи при сжатии, а $n = \frac{P_1 T}{\sigma^2}$.

Коэффициент энергетического выигрыша для данного метода

$$\xi = \frac{n_2 \bar{K}_{сж}}{(n_1 + n_2) \gamma} \quad (9)$$

где n_1 - число разрядов кода адреса,

n_2 - число разрядов кода телеизмерений,

$\gamma = \frac{P_2}{P_1}$ - коэффициент увеличения мощности.

Для примера показано, что, в частности, для $n_1 = 7, n_2 = 8$ $P_{c1} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ и $\bar{K}_{сж} = 5$, выигрыш по энергии относительно обычной передачи не превышает $2 \div 3$. На основе сравнительных оценок отмечается, что, если автоматическое изменение мощности технически трудно реализуемо, то данный метод, при прочих равных условиях, можно рассматривать как более эффективный относительно других методов адаптивной телеметрии.

Третий метод не является адаптивным и заключается в нахождении оптимального распределения первоначально заданной энергии на передачу всей кодовой комбинации между разрядами.

При этом рассмотрены два случая:

1. Передача статистически независимых сообщений;
2. Передача сообщений с заданным распределением отклонений между соседними выборками.

В первом случае, при кодировании выборок двоичным неапробированным кодом и передаче данных по стационарному каналу связи с гауссовской помехой выведена зависимость для дисперсии погрешности передачи

$$D[\delta] = \sum_{i=1}^n \left[2^{2(i-1)} \sum_{j=\frac{K_i+1}{2}}^{K_i} C_{K_i}^j P_c^j (1-P_c)^{K_i-j} \right], \quad (10)$$

где n - число разрядов кода,

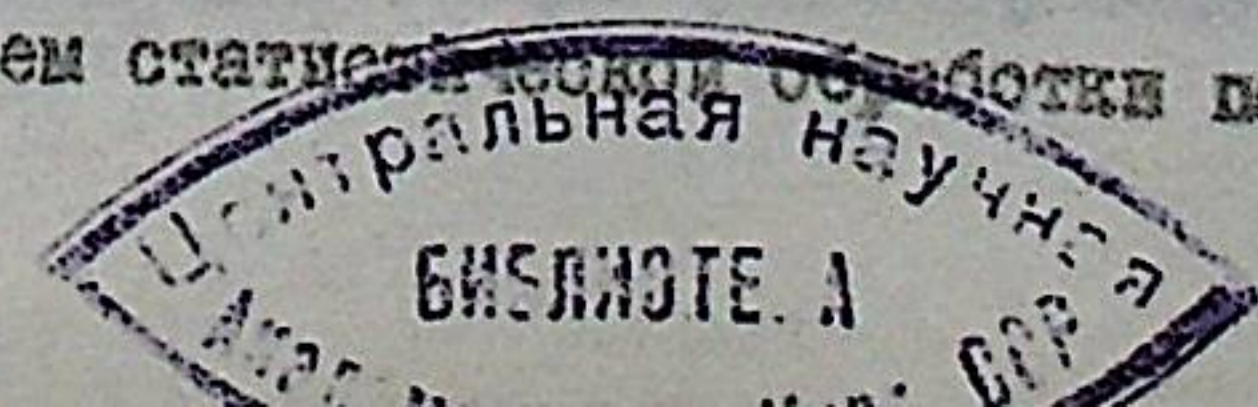
$P_c = \frac{1}{2} e^{-\frac{P_1 T}{2\sigma^2}}$ - вероятность сбоя условного элементарного символа,

K_i - число условных элементарных символов для i -го разряда, причем, $\sum_{i=1}^n K_i = 3$.

Таким образом, каждый разряд передается по каналу связи путем повторения одного условного элементарного сигнала K_i раз, а на приемной стороне решение принимается "по большинству".

Путем моделирования на ЭМ найдены оптимальные значения K_i при $D[\delta] = \min_{(по K_i)}$ для $P_c = 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}$ и 10^{-5} . Полученные результаты моделирования оправданы при отсутствии корреляции между ошибками разрядов внутри кодовой комбинации.

Для второго случая вся кодовая комбинация разбивалась на m_s - старших и m_e - младших разрядов ($n = m_e + m_s$) из условия разделения по допустимой вероятности изменения. Сущность данного варианта состоит в том, что, если старшие разряды в соседних выборках сильно коррелированы, то, очевидно, можно снизить энергию на их передачу, а на приемной стороне путем статистической обработки посту-



пающих сообщений, например, опознавания "по большинству", компенсировать потери в старших разрядах. Сэкономленную таким образом энергию можно использовать для повышения помехозащищенности младших разрядов, имеющих существенную вероятность изменения.

Дисперсия ошибки передачи для этого случая состоит из двух составляющих $D[\delta] = D[\delta_e] + D[\delta_j]$, одна из которых постоянна при выбранных ограничениях

$$D[\delta] = \sum_{l=1}^{m_e} 2^{2(l-1)} \sum_{j=\frac{K_e+1}{2}}^{K_e} C_{K_e}^j P_c^j (1-P_c)^{K_e-j} + A, \quad (II)$$

где для $K_s = 1$

$$A = [P_c^3 + 3P_c^2(1-P_c)] \sum_{j=m_e+1}^{n_0} 2^{2(j-1)}, \quad (I2)$$

а для $K_s = 3$

$$A = \left\{ [P_c^3 + P_c^2 \cdot 3(1-P_c)]^3 + 3[P_c^3 + 3P_c^2(1-P_c)]^2 [1 - [P_c^3 + 3P_c^2(1-P_c)]] \right\} \sum_{j=m_e+1}^n 2^{2(j-1)} \quad (I3)$$

Путем минимизации первого слагаемого (II) на ЭВМ определены оптимальные законы распределения энергии между разрядами для $P_c = 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ и $K_s = 1$ и $K_s = 3$.

Результаты моделирования показали:

- оба варианта обеспечивают существенное повышение точности передачи относительно обычных с равномерной помехозащищенностью разрядов;
- использование статистики сообщений позволяет получить дополнительный выигрыш, который уменьшается при улучшении условий передачи по каналу связи.

III.

Третий раздел посвящен экспериментальному исследованию метода передачи цифровой измерительной информации с оптимизацией энергетических затрат путем неравномерного распределения помехозащищенности между разрядами кода. Исследования проводились применительно к условиям эксплуатации, характерным для искусственного орошения.

С помощью стандартной аппаратуры низовой радиосвязи (УКВ-ЧМ радиостанции 58PI "Кактус"), рекомендованной для использования в сельском хозяйстве (33 + 46) мгц, и разработанных при непосредственном участии автора устройств кодирования и декодирования, исследовались следующие вопросы:

1. Дисперсия ошибок передачи кодовых комбинаций при оптимальных и обычных режимах передачи - $D[\delta]$;

2. Распределение вероятностей искажений разрядов в кодовой комбинации - P_{pi} ;

3. Вероятность искажения кодовой комбинации - P_k .

Исходная информация была представлена в виде тестов, записанных на магнитописце. На приемной стороне принятая информация регистрировалась на бланке и магнитописце. Экспериментальные исследования производились для $P_c = 10^{-1}, 10^{-2}$ и 10^{-3} .

Оценка результатов эксперимента производилась по следующим формулам:

$$D[\delta] = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\delta^* - \delta_i)^2,$$

где M - число переданных сообщений,

$$P_{pi} = \frac{R_i}{M},$$

где $i = 1, 2, \dots, n_0$ - номер разряда,

R_i - число искажений i -го разряда,

$$P_k = \frac{L}{M},$$

где L - количество неправильно принятых комбинаций.

Проведенный анализ результатов экспериментальных данных показал, что на реальном канале связи, отличающемся от принятого для расчетов наличием импульсных помех индустриальной природы:

1. Эффективность метода сохраняется и имеет характер, полученный при моделировании, хотя качество передачи снижается;

2. Принятая процедура распределения энергии между разрядами кода обеспечивает вероятность их искажения близкую к расчетной;

3. Вероятность искажения кодовой комбинации при оптимальной передаче независимых сообщений выше, чем при обычной передаче, в то же время при передаче коррелированных сообщений эта вероятность мало отличается от случая передачи эталонными законами.

Рис. 3.

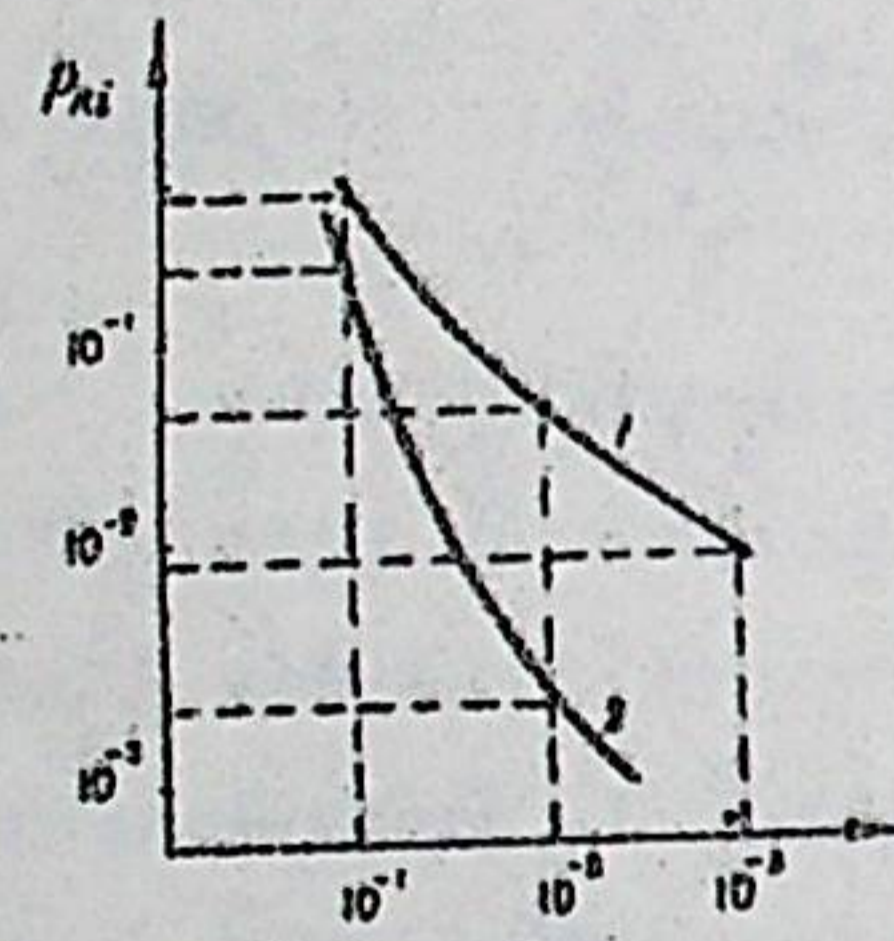


Таблица I

$P_c \backslash n_i$:2 ⁸	:2 ⁷	:2 ⁶	:2 ⁵	:2 ⁴	:2 ³	:2 ²	:2 ¹	:2 ⁰
10 ⁻¹	9	7	5	1	1	1	1	1	1
10 ⁻²	7	5	5	3	3	1	1	1	1
10 ⁻³	5	5	3	3	3	3	3	1	1
этал.	3	3	3	3	3	3	3	3	3

На рис.3 показаны оценки дисперсии погрешности передачи статистически независимых сообщений, полученных при распределении энергии между разрядами по законам, приведенным в табл. I.

На основе полученных результатов экспериментальных исследований сделан вывод о возможности

применения метода передачи с неравномерной защитой разрядов кода, в частности, путем обмена полосы частот на энергию сигнала в системах телеметрии применительно к условиям агрометеорологического обслуживания.

IV.

В четвертом разделе рассматриваются принципы построения радиотелеметрических устройств для автоматического сбора информации, предназначенных для решения задач агрометеорологического обслуживания при искусственном орошении. Отличительными характеристиками рассматриваемых устройств является высокая энергетическая эффективность передающих полуккомплектов аппаратуры, устанавливаемой на орошаемых

участках, и возможность сокращения избыточных данных из потоков сообщений, поступающих на обработку.

Рассматриваемые в работе устройства предназначены для сбора информации о распределении уровня грунтовых вод и влажности почвы на орошаемых участках. В устройствах используется $\lambda \Delta$ - модуляция, обеспечивающая передачу данных с объекта только в том случае, если имеет место отклонение текущего значения измеряемого параметра от его последнего значения, передаваемого на центральный пункт сбора, выше некоторой заранее заданной зоны допустимых отклонений (апертуры). В результате этого поступление данных с объекта носит спорадический характер в зависимости от характера поведения источника сообщений, что приводит к сокращению избыточных данных.

Для измерения уровня грунтовых вод при диапазоне измерения до 6 м предусмотрена возможность выбора необходимой апертуры в пределах 3-х значений $\pm 1,2$ см, $\pm 2,5$ см и ± 5 см, а при измерении влажности почвы - $\pm 2\%$ от диапазона измерения.

Питание всей аппаратуры контролируемого пункта, устанавливаемой на орошаемых участках, осуществляется от автономных источников с ресурсом до 20 амперчасов, который обеспечивает непрерывную работу аппаратуры в течение 3 + 4 месяцев.

Для организации радиотелеметрического канала связи использованы серийные УКВ-радиостанции "Кактус" (33 + 46) мГц, обеспечивающие автоматическую бесподстроечную связь в равнинной зоне на дальностях до 10 км.

Проверка и натурные испытания опытно-экспериментальных образцов показали их работоспособность и соответствие ожидаемым техническим характеристикам.

Оценка эффективности разработанных устройств произведена на сезонных изменениях уровня грунтовых вод и влажности почвы по пяти глубинам, в результате чего выяснено, что средние коэффициенты статия

избыточности "по отсчетам" находятся в пределах $2,5 \pm 4,5$ при измерении как влажности почвы, так и уровня грунтовых вод и существенно зависят от степени нестационарности поведения измеряемого параметра.

На основе полученных результатов разработаны рекомендации по созданию и внедрению АИИС на орошаемых массивах площадью 6000 га Никольской оросительной системы в Астраханской области.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ РАБОТЫ

I. С использованием ЭВМ проведены статистические исследования на турных источниках измерительной информации, характерных для агрометеорологии, на примере сезонных изменений уровня воды и влажности почвы, в результате чего:

- а) выявлено, что данные источники являются квазистационарными с периодом стационарности от 10 ± 15 дней (междоливный период) до нескольких месяцев;
- б) найдены рациональные режимы равномерной временной дискретизации, характеризующие исходные потоки информации, которые показывают, что, в частности, при допустимой погрешности за счет временной дискретизации $\sigma_{\text{дг}} = 1\%$ следует учитывать, что интервал между опросами при измерении влажности почвы может достигать 5 часов;
- в) определены границы ожидаемой эффективности некоторых наиболее распространенных алгоритмов сокращения избыточности и показано, что в зависимости от выбранных ограничений при оценке ошибок приближения коэффициент сжатия избыточности (по отсчетам) может изменяться в среднем от 2 до 10;
- г) определены основные показатели по сокращению и выравниванию потоков сообщений об уровнях воды и влажности почвы по измерительно-информационной системе в режимах приспособляющейся

дискретизации и выявлено, что объем информации, поступающей в диспетчерскую службу за весь сезон можно уменьшить в 3-5 раз.

2. Исследованы способы использования эффектов сокращения избыточности агрометеорологической информации для улучшения характеристик телеметрических устройств, на основе чего
 - а) предложен метод адаптивной телеметрии с автоматическим приспособлением излучаемой мощности передатчика;
 - б) для многоканальной телеметрии предложен способ адаптивного поиска и отбора избыточных выборок, отличающийся существенно меньшим объемом служебной информации.
3. Для стационарных источников измерительной информации исследованы методы повышения энергетической эффективности передачи двоично-кодированных сообщений с объектов контроля при искусственном орошении, основанные на неравномерной защите разрядов кода, в результате чего
 - а) показано, что для каналов связи с гауссовской помехой имеются оптимальные законы распределения энергии между разрядами, обеспечивающие снижение погрешности передачи;
 - б) путем моделирования на ЭВМ получены количественные оценки повышения точности телеметрии для случаев передачи статистически зависимых и независимых сообщений.
4. Проведены экспериментальные исследования методов телеметрии на реальном канале связи (УКВ), в результате чего
 - а) выяснены рациональные способы представления и опознавания цифровых измерительных сообщений, при неравномерной защите разрядов;
 - б) получен экспериментальный материал о качестве телеметрии, подтверждающий повышение эффективности в условиях воздействия реальных помех.
5. Рассмотрены принципы построения радиотелеметрических устройств,

предназначенных для решения задач агрометеорологического обслуживания при искусственном орошении, на основе чего

- а) предложены радиотелеметрические устройства для автоматического сбора и предварительной обработки данных о распределении УГВ и влажности почвы на орошаемых участках, обеспечивающие при прочих равных условиях сокращение избыточности информации и повышение энергоэкономичности аппаратуры;
- б) разработаны принципиальные схемы и конструкции радиотелеметрических устройств и проведены натурные испытания действующих образцов, в результате чего выяснено, что для устройства такого назначения $\Delta\Delta$ - модуляция обеспечивает наиболее приемлемую техническую реализацию;
- в) разработаны рекомендации для внедрения опытных образцов радиотелеметрических устройств, учитывающие дополнительные требования и особенности эксплуатации ИИС при решении агрометеорологических задач в условиях орошения.

Разработанные образцы АИИС для измерения влажности почвы и уровня грунтовых вод демонстрировались на ВДНХ СССР и отмечены Серебряной и Бронзовой медалями.

Материалы диссертации докладывались на Всесоюзном семинаре по автоматизации ирригационных систем (г.Москва, 1967 г., Минводхоз СССР), на IV-й Всесоюзной конференции по теории кодирования и передаче информации (г.Ташкент, АН Узб.ССР, сентябрь 1969 г.) и на IX Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений (г.Новосибирск, ИАЭ СО АН СССР, сентябрь 1969г).

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Халтурин Б.Н., Семченков Л.И. "Методика определения информационных характеристик объектов и их использование для повышения экономичности РТС". "Устройства

и элементы систем автоматизации научных экспериментов". Изд-во "Наука", СО АН СССР, Новосибирск, 1970.

2. Халтурин Б.Н., Вейс Л.Д. "Адаптация в системах передачи информации". "Вопросы водного хозяйства" (средства автоматизации и измерения) вып.16/1, Изд-во "Кыргызстан", 1967 .
3. Халтурин Б.Н. "Устройство для передачи телеметрической информации". Авт.свид. № 228758, кл.21с, 47/52, 74в, 8/6 от 10.II.1967 г. "Бюллетень изобретений" № 32, 1968.
4. Халтурин Б.Н., Вейс Л.Д. "Устройство для сжатия информации". Авт.свид. № 217239, кл. 74в, 8/05, 42м³, 9/00 от 24.04.1967 г. "Бюллетень изобретений" № 15, 1968.
5. Халтурин Б.Н. "Устройство для передачи цифровой информации". Авт.свид. № 282970, кл.74в, 8/05 от 20.01.1969 г. "Бюллетень изобретений", № 30, 1970.
6. Халтурин Б.Н., Арефьев В.А. "Цифровой уровнемер". Авт.свид. № 295991, МПК 23/24 от 08.10.1967 г. "Бюллетень изобретений" № 26, 1970.
7. Халтурин Б.Н., Авдеев А.И., Шаров В.В. "Радиотелеметрический датчик полива". Авт.свид. № 272720.
8. Халтурин Б.Н., Вейс Л.Д. "Устройство адаптивной телеметрии". Авт.свид. 222907 от 24.04.1967 г., кл.74в, 8/05, 42 м³, 9/00. "Бюллетень изобретений" № 23, 1968.
9. Халтурин Б.Н. "Устройство для сжатия информации". Авт.свид. № 222908, кл. 74в, 8/05 от 24.04.1967 г. "Бюллетень изобретений" № 28, 1968.

10. Халтурин Б.Н. "Повышение помехоустойчивости передачи при многоканальной телеметрии методом обмена полосы частот на энергию сигнала". В сб. "Вопросы водного хозяйства" (телемеханика и энергоснабжение), вып.6. Изд. "Кыргызстан", Фрунзе, 1969.
11. Халтурин Б.Н. и др. "Устройство для телеизмерения". Авт. свид. № 284653, кл. 74в, 8/05. "Бюллетень изобретений" № 32 от 1.03.1971.
12. Халтурин Б.Н., Вейс Л.Д. "Вопросы разработки КИМ- системы телемеханики с использованием радиоканала". Труды Всесоюзного семинара по автоматизации оросительных систем, т.2. Изд. "Колос", М., 1970.

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ 12/VI 1973 Г. ФОРМАТ БУМАГИ
60x90 1/16. ОБЪЕМ 1,76 П. Л. ЗАКАЗ 1982. ТИРАЖ
200 ЭКЗ. Д — 03431

Г. ФРУНЗЕ, ТИП. АН КИРГИЗ. ССР
УЛ. ПУШКИНА, 144