

ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

С. М. ПОЧОВЯН

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ОРОШЕНИЯ**



Утверждено редакционно-
издательским советом ГТУ

**Тбилиси
2008**

УДК 658.012.011.56

В монографии рассмотрены методика проектирования ав-томатизированной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур, а также обеспечивающих под-систем (информационного, математического и программного) автоматизированной системы.

Предназначена для студентов, магистрантов, докторантов, разработчиков баз данных, разработчиков и специалистов по автоматизированным системам управления.

Рецензенты: проф. Гогичаишвили Г. Г.
проф. Сургуладзе Г. Г.

© Издательский дом “Технический университет”, 2008

ISBN 978-9941-14-033-4

Содержание

Предисловие	4
Введение	5
Глава 1. Задачи оперативного управления режимами орошения сельскохозяйственных культур	7
1.1. Особенности системы управления режимами орошения	7
1.2. Анализ существующих методов и моделей управления режимами орошения	17
Глава 2. Методы и модели разработки автоматизированной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур	27
2.1. Описание методов построения автоматизированной системы управления режимами орошения	27
2.2. Описание формального аппарата для расчёта режимов орошения	36
Глава 3. Инженерные задачи реализации системы оперативного управления режимами орошения сельскохозяйственных культур	58
3.1. Информационная база данных автоматизированной системы управления режимами орошения	58
3.2. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления режимами орошения	61
3.3. Программное обеспечение автоматизированной системы управления режимами орошения	72
3.4. Организация диалоговой реализации автоматизированной системы управления режимами орошения	78
Литература	86

Посвящаю светлой памяти
родителей и супруги

Предисловие

В современных условиях к орошаемому земледелию предъявляются следующие требования: эффективное использование земель и воды ввиду ограниченности земельных и водных ресурсов; получение высокой плановой и устойчивой сельскохозяйственной продукции; бережное отношение к окружающей природной среде.

Режим орошения сельскохозяйственных культур заключается в определении сроков, числа и норм поливов. Для обеспечения высокой урожайности сельскохозяйственных культур поливы проводят с учётом биологических особенностей культур, почвенных и климатических условий.

Разработка автоматизированной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур в сельском хозяйстве является закономерным этапом развития и совершенствования методов и технологии управления современной фермой. Эффективность автоматизированной системы управления режимами орошения обусловлена тем, что путём внедрения математических методов и моделей, персональных компьютеров, повышения оперативности и эффективности управленческих решений по режимам орошения культур на основе получаемых выходных достоверных данных системой управления повышается урожайность культур за счёт учёта потребности культур в воде (в фазах их развития), регулирования факторов жизни растений, а также оперативного (ежедневного) реагирования на возникающие изменения внешней среды (атмосферных осадков, температуры воздуха, относительной влажности воздуха, суммарной солнечной радиации и влажности почвы).

Введение

Одним из жизненно важных направлений сельскохозяйственной деятельности является выращивание сельскохозяйственных культур для населения, кормов для животноводства и сырья для отраслей промышленности.

Для роста и развития сельскохозяйственных культур, получения высоких урожаев, повышения плодородия почв, защиты почв от засоленности и эрозии – необходимо своевременно определять режимы орошения культур, то есть определять сроки, нормы и количество поливов, с учетом вида культур и фаз их развития, водно-физических свойств почв, погодных и климатических условий и способов орошения, которые не учитываются комплексно в современных системах управления и кроме того расчеты в них ведутся не оперативно. Поэтому проблема автоматизации процессов организации рациональных режимов орошения культур является актуальной.

Необходимость автоматизации процесса управления режимами орошения культур обусловлена: возрастающей сложностью управления современной фермой и сезонностью производства; требованиями эффективного использования земель и оросительной воды; проведением агротехнических работ в определенные сроки с учетом биологических особенностей культур; необходимостью повышения плодородия земель путем регулирования водного, питательного, солевого и теплового режимов почв; бережного отношения к окружающей природной среде. Автоматизации вышеуказанных процессов наиболее полно будет отвечать разработка автоматизированной системы оперативного управления режимами орошения сельскохозяйственных культур.

Основной целью является разработка методики проектирования автоматизированной системы оперативного (ежедневного) управления режимами оро-

шения сельскохозяйственных культур.

Для реализации поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- разработка модели определения ежедневного суммарного водопотребления культур по фермам и полям (участкам) на основе биофизических коэффициентов (метеорологических показателей);
- разработка методов определения сроков полива, сумм (норм) орошения брутто, норм поливов брутто за сутки и количества поливов для каждой культуры по фермам и полям (участкам) с учетом: вида культур и фаз их развития, водно-физических свойств почв, погодных и климатических условий и способов орошения;
- разработка средств прогнозирования суммарного водопотребления культур, водозапаса и влажности почв по фермам и полям (участкам);
- разработка формального аппарата, реализующего функции системы по управлению режимами орошения культур;
- разработка алгоритмического обеспечения автоматизированной системы;
- разработка информационной базы данных автоматизированной системы;
- разработка диалоговых процедур автоматизированной системы;
- разработка программного обеспечения автоматизированной системы.

В первой главе проведён анализ существующих методов управления режимами орошения культур и их особенности.

Во второй главе представлены методы и модели разработанной автоматизированной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур.

В третьей главе приводится информационная база данных системы, алгоритмическое и программное обеспечения системы, а также организация диалоговой реализации автоматизированной системы управления режимами орошения.

Глава 1. Задачи оперативного управления режимами орошения сельскохозяйственных культур

1.1. Особенности системы управления режимами орошения

В современных условиях к орошаемому земледелию предъявляются следующие требования:

- эффективное использование земель и воды ввиду ограниченности земельных и водных ресурсов;
- получение высокой плановой и устойчивой сельскохозяйственной продукции;
- бережное отношение к окружающей природной среде.

Режим орошения сельскохозяйственных культур заключается в определении сроков, числа и норм поливов. Поливной нормой называют объём воды в кубических метрах, который подаётся на 1 га за один полив. Общий объём воды, затрачиваемый на полив 1 га посева в течение вегетации, составляет оросительную норму. Режим орошения должен: во-первых, учитывать потребности культур в воде в фазах её развития; во-вторых, регулировать водный, питательный, тепловой и солевой режимы почв; в-третьих, способствовать повышению плодородия земель, при интенсивном их использовании, не допуская их заболачивания, засоления и водной зрости.

Для развития и роста сельскохозяйственных культур необходимы одновременно свет, тепло, воздух, питание и вода, т.к. вода, воздух и минеральные вещества являются исходными материалами для создания органического вещества под действием света в процессе фотосинтеза.

Свет и тепло растения получают от солнца – это космические факторы. Воду и минеральную пищу растения получают главным образом из почвы, через корневую систему – это земные факторы. В небольших количествах растения способны усваивать воду и минеральные вещества с помощью надземных ор-

ганов. Органическое вещество образуется из углекислоты и воды в листьях. Вода с растворёнными питательными веществами из корней поступает в стебель и затем в листья. В свою очередь образовавшиеся в листьях органические вещества направляются по стеблю в корень. С помощью листьев в солнечные часы растения поглощают из атмосферного воздуха главным образом углекислый газ и выделяют кислород. Этот процесс называется фотосинтезом. Корневая система растений потребляет из почвенного воздуха кислород и выделяет углекислый газ. Этот процесс называется дыханием. Поэтому на орошаемых землях после полива почву своевременно рыхлят, чтобы обеспечить достаточный приток воздуха к корневой системе растений. Кроме того для образования сложных органических веществ: белков, жиров и других веществ, требуются также минеральные вещества: соли калия, фосфора, азота, а также в небольших количествах: соли бора, марганца, железа. Эти соли с помощью корневой системы растения поглощают из почвы в растворённом состоянии, т.е. вместе с водой.

За вегетационный период растения расходуют большое количество воды. Из общего количества воды, прошедшей через растение, только $0,15 \div 0,2$ % усваивается при образовании органического вещества, а остальные расходуются на транспирацию и поверхностное испарение. Растения содержат в листьях $80 \div 93$ %, а в корнях $70 \div 80$ % количества воды.

Чтобы установить правильный поливной режим орошения сельскохозяйственных культур необходимо определять и учитывать [1÷73]:

- 1) водно-физические свойства почвы, глубину корнобитаемого слоя и норму полива с учётом биологических особенностей культуры и фазы её развития;
- 2) влажность почвы перед поливом, которая выражается в процентах от предельно-полевой влажности;
- 3) суммарное количество израсходованной воды, т.е. суммарное водопотребление.

По водно-физическим свойствам почва состоит из твёрдой, жидкой и газо-

образной фаз. Способность почвы вмещать и удерживать в себе при определённых условиях некоторое количество воды называется её влагоёмкостью. Различают разные пороги влагоёмкости: полную, полевую (предельно-полевую), капиллярную, влажность разрыва капилляров, критическую влажность и влажность устойчивого завядания. Полная влагоёмкость почвы соответствует такому насыщению, при котором все промежутки между агрегатами и отдельными частицами заполнены водой. Это краткосрочное явление наблюдается после обильных дождей и поливов. Наименьшая величина влаги соответствует полевой влагоёмкости (наименьшей полевой, предельно-полевой влагоёмкости). Она характеризует то наименьшее количество воды, которое почва надолго может удержать после обильного полива. При вегетационных поливах целесообразно доводить влажность почвы до данного состояния и она колеблется для разных типов почв от 12,0 до 32,9 в % от сухого веса почвы. Капиллярная влагоёмкость означает такое количество воды, которое удерживается почвой только в капиллярных порах. Влажность разрыва капилляров соответствует влажности, при которой подвешенная влага в процессе испарения теряет сплошность и перестаёт передвигаться к испаряющей поверхности. Критическая влажность (минимально допустимая, влажность замедленного роста) – это такая влажность почвы, при переходе через которую от более высокой к более низкой влажности резко ухудшается снабжение растений водой. И иначе её называют влажностью замедления роста растений, и на практике её принимают равной влажности разрыва капилляров. Влажность устойчивого завядания – это влажность, при которой у растений обнаруживаются признаки завядания, не исчезающие при помещении их в атмосферу, насыщенную водяным паром. Иногда на практике её называют коэффициентом завядания. Влажность завядания для разных типов почв колеблется от 12,0 до 17,3 в % от сухого веса почвы.

Доступную растениям воду делят на: продуктивную, т.е. воду используемой растениями, и равную фактическому запасу воды минус запас при влажности

устойчивого завядания; эффективную влагу, т.е. воду, легко используемой растениями, и равную фактическому запасу воды минус запас при критической влажности, и называемой иначе активной или легко доступной влагой. Влажность почвы выражают в: процентах массы сухой почвы; процентах объёма почвы; процентах пористости (скважности). Объёмный вес (массу) почвы – это вес единицы объёма абсолютно сухой почвы в естественном сложении. Он определяется взвешиванием образца с ненарушенным строением, взятого в строго определённом объёме. Чем почва пористей, рыхлее, тем меньше её объёмный вес. Объёмный вес почвы колеблется для разных типов почв от 0,8 до 1,8 (г/см³, т/м³) (для органической почвы (торфа) колеблется от 0,2 до 1,0). Удельный вес почвы – это отношение веса твёрдой её фазы определённого объёма к весу воды при 40°С (в том же объёме). Величина удельного веса зависит от составляющих почву минералов и количества содержащегося в почве органического вещества. Удельный вес почвы колеблется для разных типов почв от 2,4 до 2,7 (г/см³, т/м³). Скважность (пористость) почвы – это суммарный объём пар, находящихся в единице объёма почвогрунта. Скважность определяет фильтрацию, водоподъёмную способность, аэрацию, влагоёмкость почвы и колеблется для разных типов почв от 30 до 65 %.

Водоподъёмная способность почвы – способность почвы перемещать влагу по капиллярам от уровня грунтовых вод в верхние сухие слои капиллярной зоны. Высота подъёма воды достигает от 0,3 до 7 м в зависимости от типа почвы.

В условиях орошаемого земледелия запасы воды определяют в активном слое почвы, где расположена основная масса (до 90 %) корней растений. Мощность активного слоя почвы увеличивается от посева (посадки) до созревания и уборки, согласно фазам развития растений.

В процессе поливов и атмосферных осадков вода впитывается в почву, т.е. осуществляется процесс последовательного заполнения свободных пор почвы почвы под действием сил тяжести и капиллярных сил, возникающих на границе смачивания. После этого начинается фильтрация воды (вертикальная и гори-

зонтальная), т.е. после заполнения водой всех пустот и пор почвогрунта начинается движение воды под действием гидростатического напора.

Для обеспечения растений водой в нужном количестве во всех фазах их развития необходимо орошением поддерживать влажность почвы в корнеобитаемом слое на уровне предельно-полевой влагоёмкости (наименьшей). Предельно-полевая влагоёмкость зависит от выращиваемой культуры, механического и химического состава почвы, а также от климатических и погодных условий местности. Запасы воды в почве непрерывно изменяются. Запасы воды пополняются атмосферными осадками, поливами, притоком грунтовых вод, притоком поверхностных вод и внутрпочвенной конденсацией влаги. Запасы воды в почве расходуются на транспирацию растений, испарение с поверхности почвы, отток грунтовых вод, поверхностный сток и образование органического вещества растениями ($0,15 \div 0,2$ % от общего процента воды, прошедшего через растение). В течение вегетационного периода количество воды, расходуемое растениями, зависит прежде всего от климатических условий. Так в жарком сухом климате растения расходуют в несколько раз больше воды, чем в условиях более влажного и прохладного климата. Различные виды растений нуждаются в неодинаковых условиях водного режима почвы. Так например, у полевых культур (подсолнечник, пшеница и т.п.) потребность в воде значительно меньшая по сравнению с овощными культурами (помидоры, капуста и т.п.). Это объясняется как размерами листовой испаряющей поверхности, величиной осмотических показателей (концентрацией клеточного сока, сосущей силой, осмотическим давлением), так и строением и мощностью корневых систем. Соотношение между расходом воды на транспирацию и поступлением воды в растение из почвы называется водным балансом растений. Вода участвует во всех процессах протекающих в растениях, оказывает непосредственное влияние на рост растений. При достижении влажности почвы, в результате поливов и осадков, до предельно-полевой, улучшается рост корневой системы и увеличивается её масса. Без участия воды не возможен фотосинтез, в результате которого создаётся

органическое вещество. И кроме того вода необходима и как среда, в которой протекают все биохимические превращения. Влагообеспеченность растений оказывает существенное влияние на условия их воздушного питания. Кроме того с увеличением содержания в листьях воды и улучшением их воздушного питания поливы создают благоприятные условия для повышения в листьях содержания хлорофилла. И всё это способствует увеличению интенсивности фотосинтеза и его продуктивности.

Оросительная вода улучшает водопотребление растений, изменяет почвенные и микроклиматические условия, и кроме того, не только влияет на рост и развитие растений, но и влияет на продуктивность культур. Правильно организованный режим орошения культур на орошаемых землях таким образом способствует росту и развитию растений, нормальному формированию корневой системы и плановому плодоношению культур. Орошение сказывается не только на величине урожая, которая увеличивается в 2÷3 раза и более (при правильной плановой организации режима орошения, агротехнических мероприятий и использованию органических минеральных удобрений и ядохимикатов), но и на его качество. Норму поливов определяют по уравнению водного баланса корнеобитаемого слоя. За счёт поливов и атмосферных осадков удовлетворяется суммарное водопотребление растений. Для получения эффективности от орошения необходимо провести поливы в определённые сроки, соответствующие :

- внешним условиям роста и развития растений (влажность почвы, запасы воды в корнеобитаемом слое почвы и метеорологические данные);
- биологическим особенностям культур и фазам их развития.

Кроме того, для каждого полива необходимо определять: поливную норму, т.е. количество воды, необходимое на 1 га поля, за один полив; способ полива. На основании перечисленных данных составляют режим орошения, т.е. поливной режим, содержащий сроки их проведения, поливную норму, способ орошения, количество поливов и суммарное водопотребление по всем полям (участ-

кам) для каждой культуры. Для установления правильного режима орошения культур необходимо определять, кроме перечисленных данных: полную, предельно-полевую (наименьшую) и критическую (минимально допустимую) влажности и влажность устойчивого завядания по каждой фазе развития всех культур по всем полям (участкам). По мере снижения влажности почвы от предельно-полевой влажности до критической (минимально допустимой) влажности, и тем более до влажности устойчивого завядания, доступность для растений и продуктивность использования ими почвенной влаги уменьшаются. Поливы назначаются до момента допустимого предела иссушения активного слоя почвы, в % от предельно-полевой (наименьшей) влажности, т.е. до момента наступления критической (минимально допустимой) влажности почвы, согласно вида культуры, типа почвы, засоленности почвы и глубины активного слоя почвы (согласно фазы развития культуры). Таким образом, в практическом орошении определяют предполивную влажность почвы, в % от предельно-полевой (наименьшей) влажности, и которая колеблется от 60 до 85 %. Например, для овощных и кормовых культур она колеблется от 60 до 85 % от предельно-полевой (наименьшей) влажности, в зависимости от фазы культуры, глубины активного слоя почвы. Поэтому при составлении плана режима орошения культуры сроки проведения поливов назначаются до снижения влажности почвы до критического (минимально допустимого) (на практике оптимальным считается за сутки до критической влажности) с учётом фаз развития растений и их критических периодов, в течение которых при недостатке влаги резко снижается урожай. Критические периоды определяются по биологическим состояниям растений и метеорологическим условиям, но не всегда совпадают с периодом максимального потребления воды растениями. Критический период для растений обычно приходится на время, когда начальную фазу роста и развития проходят органы (плоды и семена), определяющие урожай.

В зависимости от характера введения воды в почву выделяют шесть способов поливов:

1. Аэрозольное (мелкодисперсное) орошение. По этому способу орошения увлажняется не почва, а воздушная среда и растения очень мелкими каплями воды. Этот способ орошения применяют для снижения температуры воздуха, растений и повышения относительной влажности воздуха, что повышает фотосинтез растений в жаркое время;

2. Капельное орошение. По этому способу орошения растения непрерывно снабжаются водой по густо разветвлённым трубопроводам через капельницы малыми расходами непосредственно в корнеобитаемую зону;

3. Дождевание. По этому способу орошения вода выбрасывается аппаратами в воздух, дробится на капли и падает на землю в виде искусственного дождя, увлажняющий приземные слои воздуха, растений и почвы;

4. Поверхностное орошение. По этому способу орошения вода распределяется по поверхности почвы путём напуска её в поливные борозды, полосы или чеки;

5. Внутрпочвенное (подпочвенное) орошение. По этому способу орошение осуществляют по трубам увлажнителям, уложенным в почве на глубине 0,4÷0,6 м. Поверхность почвы практически не смачивается. Этот способ орошения применяется ограниченно;

6. Подземное орошение. По этому способу орошения поверхность почвы не смачивается. Этот способ орошения применяется редко на практике.

Существуют следующие методы определения сроков очередных вегетационных поливов [1÷73]:

1) По заданной влажности почвы. В свою очередь данный метод делится на следующие основные методы определения влажности почвы:

- а) термостатно-весовой метод (является самым точным);
- б) спиртовой метод;
- в) по нижнему пределу пластичности почвы;
- г) оптический метод;

д) определение влажности почвы в процентах наименьшей влажности (предельно-полевой влагоёмкости);

е) нейтронный метод.

Термостатно-весовой и спиртовой методы определения влажности почвы (а; б) относятся к прямым методам (группе), при использовании которых учитывают количество воды, испарившейся из отобранного образца почвы. Методы (в÷е) относятся к косвенным методам (группе), использующие при определении влажности свойства почвы, изменяющиеся под влиянием её увлажнения. Влажность почвы определяют как в отобранных почвенных образцах, так и в естественном залегании почвы без отбора образцов;

2) Биоклиматический метод. Он устанавливает связь между испаряемостью и суммарным водопотреблением;

3) Метод биофизических коэффициентов (по метеорологическим показателям). Он устанавливает связь между расходом почвенной влаги с метеорологическими показателями;

4) По фазам развития растений. По этому методу сроки поливов приурочивают к срокам, определённым как среднее даты наступления соответствующих фаз развития растений;

5) Биологические методы диагностирования поливов (по морфологическим показателям). По этому методу учитываются состояния растений. Для этого используются морфологические показатели (изменение цвета листьев, потеря тургора листьями, изменение скорости роста вегетационных и появление репродуктивных органов;

6) По физиологическим признакам. Этот метод основан на определении сроков поливов на изменении физиологического состояния растений (сосущей силы клеток листьев, концентрации клеточного сока, осмотического давления и степени открытия устьиц).

Кроме вегетационных поливов, осуществляемых после посева (посадки)

до уборки урожая, в процессе роста и развития растений, проводят также следующие поливы:

– Подкормочные поливы. Заключаются в применении удобрений в виде подкормок. Посевы орошаемых культур подкармливают удобрениями одновременно с двумя способами поливов: поверхностным и дождеванием. Кроме удобрений применяют гербициды (ядохимикаты) для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями;

– Освежительные поливы, Они применяются в основном в садоводстве и на чайных плантациях для создания благоприятных условий для роста и развития растений в вегетационный период;

– Влагозарядковые и предпосевные поливы. Они проводятся осенью, или зимой, или весной для создания влаги и сокращения числа вегетационных поливов;

– Противозаморозковые поливы. Они проводятся для садов, ягодников, овощных и бахчевых культур, за один-два дня до наступления весенних заморозков или во время заморозков, для защиты растений от гибели;

– Промывные поливы. Применяются на засоленных землях для растворения и промывки солей в верхнем слое земли и отвода их вместе с водой за пределы активного слоя почвогрунта. Промывку проводят осенью в холодное время с интервалами в два-четыре дня;

– «Провокационные поливы». Предназначены для очистки полей от сорной растительности, и которые стимулируют прорастанию сорняков с последующим их уничтожением.

Объём водных ресурсов на один кв.км в Грузии составляет 700 тыс.м³ в год (в Армении и Азербайджане соответственно 250 и 100 тыс.м³). В Грузии преобладают следующие типы почв]: в Картли – коричневый, лугово-коричневый, серо-коричневый, аллюминиально-карбонатный и перегнойно-карбонатный; в Имеретии – перегнойно-карбонатный, бурозём, аллюминиальный и слабопод-

золистый; в Кахетии – коричневый, лугово-коричневый и чернозём. В соответствии с типом почвы необходимо применять, помимо вегетационных поливов, удобрения (органические и минеральные) с обоснованными нормами в процессе подкормочных поливов.

Пригодность (качество) воды для орошения характеризуется в основном степенью её минерализации (допустимая для растений и почвы содержание солей, растворимых в оросительной воде, составляет $0,1 \div 0,15$ % или $1,0 \div 1,5$ гр/л) и количеством взвешенных в ней и передвигаемых по дну наносов.

Источниками орошения являются пресные воды рек, озёр, грунтовые воды, промышленные стоки и стоки животноводческих комплексов. Вопрос о пригодности оросительной воды решают с учётом её состава, степени минерализации, условий региона, почвенных условий, биологии культуры и климатических условий.

1.2. Анализ существующих методов и моделей управления режимами орошения

Для обеспечения высокой урожайности сельскохозяйственных культур на практике поливы проводят с учётом биологических особенностей культур, почвенных и климатических условий. Для этого рассчитывают и соблюдают режим орошения культур, т.е. совокупность сроков, норм и числа поливов [$1 \div 73$].

Режим орошения культур должен соответствовать потребностям растений в воде в каждой фазе её развития, повышать плодородие орошаемых земель, не допуская заболачиваемости, засоленности и водной эрозии почв. В процессе роста и развития культур почвенная влага расходуется на транспирацию, испарение с поверхности почвы и образование органического вещества (только $0,15 \div 0,2$ % от общего количества воды, прошедшей через растение). Суммарное водопотребление (суммарное испарение) определяется как сумма общего расхода воды на транспирацию и общего расхода воды на испарение с поверхности поч-

вы. Суммарное водопотребление выражают в $\text{м}^3/\text{га}$ или мм и оно зависит от водного режима почвы, вегетационного периода развития культуры, климатических и метеорологических условий. Суммарное водопотребление используется для расчёта сроков и количества поливов на основании приведённых в предыдущем параграфе методов. Для оценки продуктивности использования воды культурами определяют коэффициент водопотребления, который представляет собой количество воды, расходуемое на транспирацию и испарение с поверхности почвы для образования единицы массы основной продукции. Оросительная норма за вегетационный период должна компенсировать разницу между суммарным водопотреблением и атмосферными осадками, и для её определения используется метод А.Н. Костякова, согласно водного баланса корнеобитаемого слоя, определяющего зависимость между оросительной нормой и среднегодовыми значениями вегетационных атмосферных осадков, используемого запаса влаги из почвы, суммарного водопотребления, а также на основании влагообмена между зоной аэрации и грунтовыми водами и коэффициента использования вегетационных осадков. Оросительную норму выражают в $\text{м}^3/\text{га}$ или мм. Используемый запас влаги из почвы определяют как разность между запасами влаги в начале и в конце вегетации. Влагообмен между зоной аэрации и грунтовыми водами зависит от уровня грунтовых вод, водно-физических свойств почвы, климатических и метеорологических условий, а также от процесса накопления и вымывания органических и минеральных удобрений. Но используемые для расчёта оросительные нормы, на весь вегетационный период, среднегодовые значения суммарного испарения, вегетационных атмосферных осадков и запасы воды в конце вегетации на практике отличаются от фактически получаемых их значений в текущем году. Поэтому на практике отличаются и рассчитанные нормы поливов культур по фазам их развития (сумма их равняется оросительной норме) от фактически проведённых поливов.

В данной работе для получения достоверных значений норм орошения культур, по фазам их развития, поэтому сначала ежедневно рассчитывается

суммарное водопотребление (суммарное испарение) по фактическим ежедневным метеорологическим данным по биофизическим (биометеорологическим) методам. Затем рассчитываются ежедневно запасы воды в корнеобитаемом слое почвы: согласно запасов воды за предшествующие сутки, суммарное водопотребление за текущие сутки, или введённому фактическому значению влажности почвы за текущие сутки. Далее выполняются расчёты сроков поливов, сумм (норм) орошения брутто, норм поливов брутто за сутки и количество поливов для каждой культуры. Запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы определяются на основании: объёмного веса почвы ($\text{кг}/\text{м}^3$) для данного слоя поч-вы; мощности слоя почвы (м), в котором определяют запасы воды; влажности почвы (% к весу сухой почвы), введённой или рассчитанной, средней для слоя почвы. Для расчёта поливной нормы орошения, кроме значений влажности почвы, мощности слоя почвы и объёмного веса почвы, используется значение влажности почвы, соответствующее предельно-полевой (наименьшей) влагоёмкости (% к весу сухой почвы). Далее выполняется прогнозирование (по десятые сутки): водозапаса, влажности почвы, сроков поливов, сумм (норм) орошения брутто, норм поливов брутто за сутки и количество поливов.

Для определения суммарного водопотребления, по биоклиматическим и биофизическим (метеорологическим) методам, на практике орошаемого земельного участка, используют следующие методы [1÷73]:

– Метод С. М. и А. М. Алпатьевых (Россия). По этому методу суммарное водопотребление за месяц рассчитывается на основании сумм дефицитов влажности воздуха (мб) и биологического коэффициента, характеризующего особенности культуры;

– Метод Н. Н. Иванова (Россия). По данному методу суммарное водопотребление за месяц определяется на основании: среднемесячной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$); среднемесячной относительной влажности воздуха (%); коэффициента, характеризующего культуры; коэффициента, зависящего от значения среднемесячного температуры воздуха; коэффициента, имеющего постоянное

значение для ежемесячных расчётов;

– Метод Блейни-Кридула (США). По этому методу суммарное водопотребление за месяц рассчитывается на основании: среднемесячной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$); продолжительности дневного времени за месяц; коэффициента, характеризующего расход воды культурой; коэффициента, имеющего постоянное значение для ежемесячных расчётов;

– Метод Блейни-Кридула (США). По данному методу суммарное водопотребление за месяц определяется на основании: среднемесячной температуры ($^{\circ}\text{C}$), суммы продолжительности дневных часов в месяце от годовой их суммы (%), коэффициента интенсивности расходования воды культурой и коэффициента, имеющего постоянное значение для ежемесячных расчётов;

– Метод М. И. Бутыко (Россия). По этому методу суммарное ежемесячное водопотребление рассчитывается на основании: количества солнечной энергии, расходуемой на испарение (кДж); удельного расхода солнечной энергии на единицу испаряемой влаги (кДж/ м^3); коэффициента, имеющего постоянное значение при расчёте;

– Метод М. И. Бутыко (Россия). По нему рассчитывается суммарное водопотребление за вегетационный период на основании сумм температур выше 10°C за вегетационный период ($^{\circ}\text{C}$) и коэффициента, характеризующего климат зоны и культуру;

– Метод Пенмана (Англия). По данному методу суммарное водопотребление определяется на основании: поглощающей способности воздуха; количества энергии, поглощённой почвой; максимальным давлением пара; коэффициентом, имеющим постоянное значение для расчёта;

– Метод Пенмана (Англия). По нему рассчитывается ежемесячное суммарное водопотребление на основании расхода воды почвой (или дефицита влажности почвы) и суммы эффективных осадков;

– Метод Клятта (Германия). По этому методу ежемесячно расчёты суммарного водопотребления выполняются на основании среднемесячной температу-

ры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), среднемесячной относительной влажности воздуха (%) и коэффициента, имеющего постоянное значение для ежемесячных расчётов;

– Метод Тюрка (Франция). По данному методу производятся ежедекадные и ежемесячные расчёты суммарного водопотребления на основании среднедекадной (среднемесячной) суммарной солнечной радиации ($\text{кал}/\text{см}^2$), среднедекадной (среднемесячной) температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и коэффициента, имеющего постоянное значение для соответствующего расчёта;

– Метод Л. К. Льгова (Россия). По этому методу вычисляется суммарное водопотребление за вегетационный период на основании суммы средних суточных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и биофизического коэффициента;

– Метод М. М. Иванова, предложенный А. М. Алпатьевым (Россия). По нему рассчитывается суммарное водопотребление за сутки на основании среднесуточного дефицита влажности воздуха (Па) и коэффициента, имеющего постоянное значение для расчёта;

– Метод И. А. Шарова (Россия). По данному методу определяется суммарное водопотребление за период вегетации культуры с учётом суммы температур за период вегетации, число дней вегетационного периода и коэффициента расхода воды полем, приходящегося на 1°C ;

– Метод Д. А. Штойко (Россия). По этому методу рассчитывают, для разных периодов вегетации растений, суммарное водопотребление на основании суммы среднесуточных температур воздуха за данный период ($^{\circ}\text{C}$), среднесуточной температуры воздуха за данный период ($^{\circ}\text{C}$) и средней относительной влажности воздуха (%);

– Метод А. Н. Костякова (Россия). По данному методу вычисляют суммарное водопотребление за вегетационный период на основе проектируемого урожая (т) и коэффициента водопотребления ($\text{м}^3/\text{т}$);

– Метод водного баланса А. И. Костякова (Россия). По нему суммарное водопотребление за вегетационный период определяется на основании следую-

щих данных: оросительной нормы, вегетационных атмосферных осадков, коэффициента использования осадков и используемого запаса воды из почвы;

– Метод Венгерской сельскохозяйственной академии. Согласно данного метода суммарное водопотребление для фазы развития (или периода наблюдения) вычисляется на основании среднесуточной температуры данного периода (°C), среднесуточной относительной влажности воздуха данного периода (%) и числа дней периода наблюдения (фазы развития);

– Метод научно-исследовательского института питания растений (г. Рим, Италия). По этому методу суммарное водопотребление за сутки рассчитывается на основании среднесуточной температуры воздуха (°C), среднесуточной относительной влажности воздуха (%), коэффициента среды и астрономического коэффициента Торнвайта, изменяющегося с изменением месяца и широты местности;

– Метод лаборатории охраны вод (штат Оризона, США). На основании данного метода среднесуточное суммарное водопотребление определяется измерением солнечной и температурной радиаций, средней температуры воздуха на высоте 1 м, средней температуры поверхности почвы, постоянного коэффициента Стефана Больцмана и коэффициентов, имеющих постоянное значение при ежедневных расчётах.

Далее определяют сроки очередных вегетационных поливов по одному из методов приведённых в предшествующем параграфе. Самым точным и достоверным, на практике орошаемого земледелия, является метод по заданной (фактической) влажности почвы. Согласно данной методике определяют запасы воды в корнеобитаемом слое почвы и поливную норму орошения. Обычно на практике по данной методике ведутся расчёты в начале вегетационного периода, в начале каждой фазы развития культур, в конце вегетационного периода (перед сбором урожая) и редко через каждые десять суток. В диссертационной работе данный метод (по фактической влажности почв) является первым основ-

ным, используемым для ежедневных расчётов режимов орошения культур. Из выше приведённых методов расчёта суммарного водопотребления наиболее точными, достоверными и имеющими практическое значение для орошаемого земледелия являются следующие два биофизических (метеорологических) метода: метод М. М. Иванова (Россия) и метод Тюрка (Франция). Это связано с тем, что ведущее место в процессе водопотребления принадлежит метеорологическим факторам. Для расчёта суммарного водопотребления по методу Тюрка значение суммарной солнечной радиации, если оно не вводится в систему за сутки, берётся из справочного файла «Солнечная радиация», в котором данное значение для Грузии, согласно того, что Грузия находится на рубеже умеренного и субтропического поясов: с.ш. – $(41\div 43)^\circ$; в.д. – $(40\div 46)^\circ$, взято из Атласа теплового баланса [69]. В данном Атласе значения суммарной солнечной радиации, поступающие к поверхности Земли, при условии безоблачного неба для всех широт, определены на основании наблюдений на 70 станциях и 190 пунктах, равномерно распределённых по континентам. Оценка отклонений значений среднемесячной суммарной солнечной радиации, относительно к отдельным пунктам (согласно наблюдений), показала, что они колеблются в пределах $3\div 7\%$, а в умеренных и низких широтах $4\div 5\%$. Эффективность метеорологических условий учитывается одним общим показателем – испаряемостью, характеризующего величину испарения. Суммарное испарение приближается к испаряемости когда влажность почвы поддерживается на оптимальном (т.е. близком к предельно-поливной) уровне, и поле покрыто хорошо развитой растительностью. Такие периоды культур наблюдаются от смыкания травостоя до начала созревания, а в остальные периоды вегетации суммарное испарение остаётся меньше испаряемости. Анализ водного режима сельскохозяйственных полей показал, что величина суммарного испарения за вегетационный период составляет $85\div 100\%$ величины испаряемости. Этим также объясняется использование в данной диссертационной работе, при расчёте режимов орошения культур, комплексно двух методик. Величина суммарного водопотребления в течение вегета-

ционного периода растений непостоянна и значительно изменяется в различные фазы их развития. Таким образом меняется соотношение расходов воды на транспирацию и испарение с поверхности почвы в течение вегетационного периода. В начале вегетационного периода, когда листовая поверхность растений не велика, преобладает расход воды на испарение с поверхности почвы. С накоплением биомассы и увеличением листовой поверхности расход воды на транспирацию возрастает, а испарение с поверхности почвы сокращается. Обе эти величины зависят от возделываемой культуры. Потери воды на испарение с поверхности почвы за весь вегетационный период составляют 15÷40 % от величины суммарного водопотребления (во время внутрипочвенного (подпочвенного) способа полива эта величина во много раз меньше). Кроме того не вся вода, содержащаяся в корнеобитаемом слое почвы, может быть использована культурами. Степень доступности влаги зависит от соотношения величины сосущей силы культуры и скорости движения влаги через почву к корням культуры с одной стороны и силы, с которой удерживает влагу почва, с другой стороны. Поэтому оросительная норма для каждой культуры должна быть рационально использована в течение вегетационного периода при точном определении сроков проведения поливов и их норм. На плотно сомкнувшихся посевах, обеспечивающих высокие урожаи, тепло в основном тратится на транспирацию, а при средних и низких урожаях уменьшаются затраты тепла на транспирацию и увеличиваются на нагревание почвы и воздуха.

В данной работе используемые методы биофизических коэффициентов (метеорологических показателей), согласно разработанной методике для расчёта ежедневного суммарного водопотребления, являются вторыми основными методами. Таким образом, впервые для расчёта режимов орошения культур, комплексно применяются перечисленные методики одновременно. Кроме того используя вторую основную методику, осуществляется прогнозирование режимов орошения культур на последующие десять суток для подготовки агротехнических и мелиоративных мероприятий. Согласно рассчитанных ежедневных

достоверных данных по режимам орошения культур фермеры (мелиораторы, агрономы) принимают решения по окончательному определению оперативных планов орошения культур, используя при этом, для определения сроков очередных вегетационных (освежительных и подкормочных) поливов: биологический метод диагностики поливов (по морфологическим показателям) и метод по фазам развития (с определением критических периодов развития растений) (описанных в предшествующем параграфе). На практике среднесуточное суммарное водопотребление в течение вегетационного периода развития культур (в отдельные периоды) определяется как частное суммарного водопотребления за этот период на число дней в периоде. Таким же образом определяют среднесуточное суммарное водопотребление для каждого вегетационного периода развития культур. Кроме того на практике определяют сроки поливов культур согласно продолжительности межполивного периода (в сутках). Продолжительность межполивного периода определяют как частное от суммы используемого запаса воды из почвы и вегетационных осадков (с учётом коэффициента использования осадков) на среднесуточное суммарное водопотребление. Но для данного расчёта видно, что прогноз используемого запаса воды полностью зависит от прогнозируемых величин: запаса воды в конце периода и вегетационных атмосферных осадков. Поэтому на практике фактические сроки начала вегетационных (подкормочных) поливов всегда отличаются от запланированных, и они назначаются согласно биологического метода диагностирования поливов (по морфологическим признакам) и (или) метода определения сроков поливов по фазам развития растений (с определением критических периодов). И далее определяют количество поливов по определённой норме согласно вида культур и фаз их развития. Поэтому рассчитывая таким образом на практике основные значения параметров режимов орошения культур (сроки, количество и нормы поливов), не зная достоверные ежедневные значения суммарного водопотребления и влажности почв (фактические и прогнозируемые), не получают планируемых урожаев. Вследствие этого, в данной работе, первым

расчётом является определение ежесуточного фактического значения суммарного водопотребления, и прогнозирование значений суммарного водопотребления, запаса воды и влажности почвы на последующие десять суток [74÷83; 100; 102÷105]. После этого рассчитываются режимы орошения культур на текущие сутки и делается прогноз режимов орошения культур на последующие десять суток. Рассчитанная поливная норма орошения (поливная сумма орошения) представляет собой поливную норму орошения нетто без учёта: погодных и климатических условий; водно-физических свойств почвы (подпитывания корнеобитаемого слоя почвы грунтовыми водами с учётом испаряемости; потери воды на поле (на сток за пределы расчётного слоя); засоленности почвы); способа орошения (при поливах поверхностным способом и дождеванием); вида самих культур. Поэтому с учётом всех приведённых условий и характеристик, при определении режимов орошения культур, рассчитываются сроки поливов (в сутках, до начала поливов), поливная норма (сумма) орошения брутто, норма поливов брутто за сутки и количество поливов.

Глава 2. Методы и модели разработки автоматизированной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур

2.1. Описание методов построения автоматизированной системы управления режимами орошения

Разработка автоматизированной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур в сельском хозяйстве является закономерным этапом развития и совершенствования методов и технологии управления современной фермой, и это является одним из основных направлений технического прогресса.

Необходимость автоматизации процесса управления режимами орошения культур в сельском хозяйстве обусловлена: возрастающей сложностью управления современной фермой (участком), необходимостью получения запланированных (запрограммированных) урожаев; требованиями эффективного использования земель и оросительной воды; необходимостью повышения плодородия орошаемых земель, не допуская их заболачивания, засоления и водной эрозии; регулирования водного, солевого, теплового и питательного режимов почв; бережного отношения к окружающей природной среде. В современных условиях совершенствуются методы и формы управления фермами. Эффективность автоматизированной системы управления режимами орошения обусловлена тем, что путём внедрения математических методов и моделей, персональных компьютеров, повышения оперативности и эффективности управленческих решений по режимам орошения культур на основе получаемых выходных достоверных данных системой управления повысилась урожайность культур за счёт учёта потребности культур в воде (в фазах их развития), регу-

лирования факторов жизни растений, а также оперативного (ежедневного) реагирования на возникающие изменения внешней среды (атмосферных осадков, температуры воздуха, относительной влажности воздуха, суммарной солнечной радиации и влажности почвы).

На рисунке 2.1. приведена функциональная структура системы управления сельскохозяйственной фермы. Основой ведения процесса выращивания сельскохозяйственных культур является его планирование. Текущее планирование (блок 2) на каждый плановый период (год) уточняет работы перспективного планирования, учитывая при этом как ход его выполнения за истекшие годы, так и выявленные возможности фермы. Перспективный план развития фермы определяет как площади под выращиваемые культуры, виды и гибриды выращиваемых основных культур и культуры-предшественники, виды выращиваемых промежуточных пожнивных культур, так и агрономические и мелиоративные методы и способы проведения сельскохозяйственных работ. Текущее планирование на год включает решение следующих задач: разработка плана посева (посадки) культур; определение планового объёма урожая по каждой культуре для всех полей (участков) (программирование урожая); определение потребности денежных, трудовых и других ресурсов (удобрений, ядохимикатов, оросительной воды и т.д.), необходимых для выполнения плановых работ; составление оперативно-производственных планов по месяцам текущего года (блок 3); составление производственных нормативов и справочных данных (блок 4) по месяцам текущего года. Задачи оперативно-производственного планирования заключаются в конкретизации показателей текущего плана на год по месяцам, и составление на этой основе детализированного плана по месяцам для фермы (планы посевов (посадок) по месяцам года промежуточных, основных и пожнивных культур, планов проведения агротехнических мелиоративных работ, планов уборки урожая и т.д.). Производственные нормативы по месяцам года включают: нормы оросительных поливов; нормы внесения органических и минеральных удобрений; нормы ядохимикатов; нормы посевных

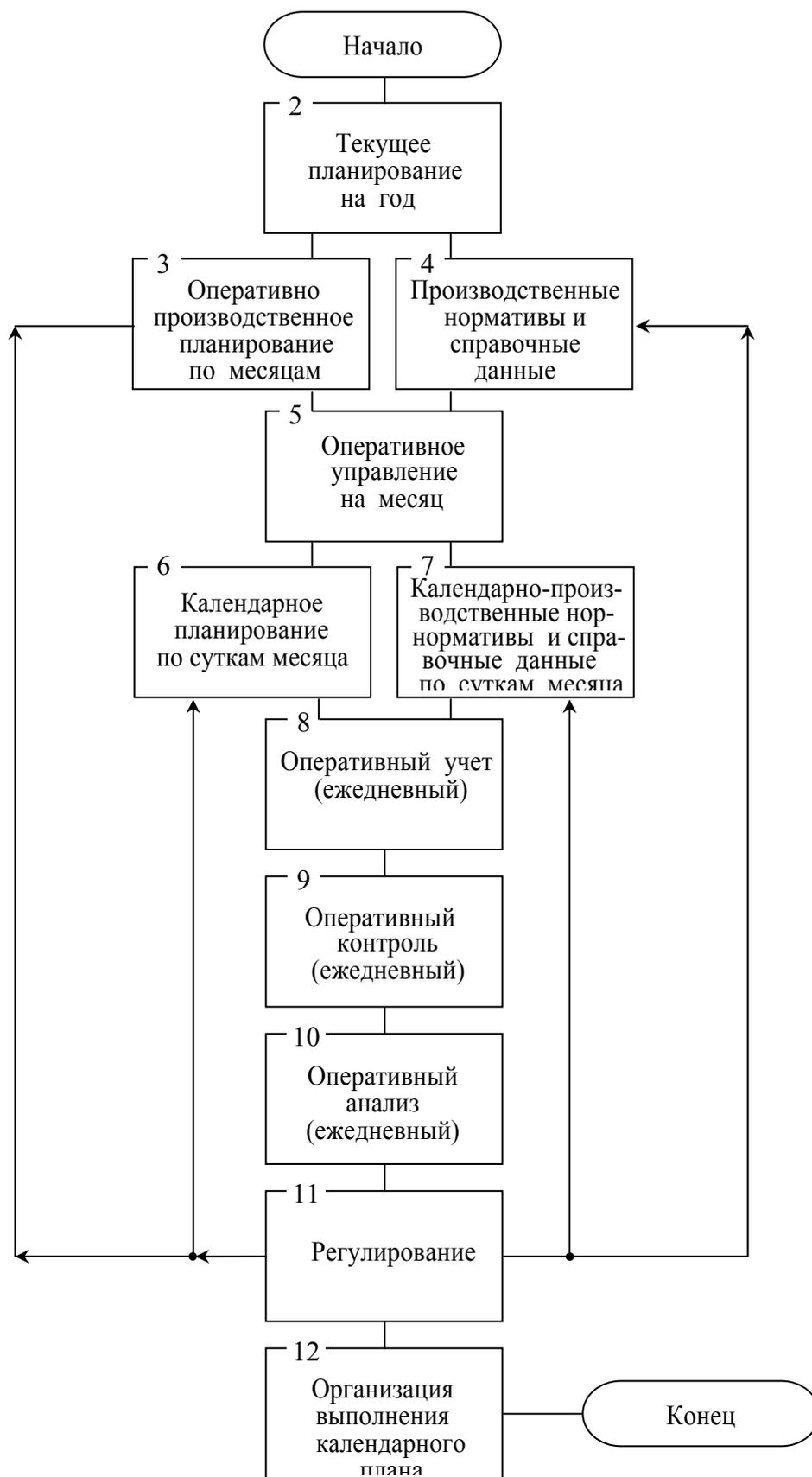


Рис. 2.1. Функциональная структура системы управления сельскохозяйственной фермы

семян и т.д.), а справочные данные по месяцам года включают: используемые поля (участки); выращиваемые культуры; способы полива; коэффициенты использования атмосферных осадков; потери воды на поле (участке) и т.д.

Оперативное управление (блок 5) заключается в разработке, на основе текущего плана на год, планов на текущий (плановый) месяц с посуточной разбивкой. Оперативное управление разделяется на два взаимосвязанных этапа работ: составление календарных планов (блок 6) по суткам текущего месяца и составление календарно-производственных нормативов и справочных данных по суткам текущего месяца. Календарное планирование по суткам месяца осуществляется на основе оперативно-производственных планов, а календарно-производственные нормативы и справочные данные по суткам месяца составляются на основе производственных нормативов и справочных данных по месяцам года. Управление осуществляется целенаправленно, т.е. способствует достижению основных целей системы: получению плановых (программируемых) урожаев; определению правильных режимов орошения сельскохозяйственных культур, с учётом водно-физических свойств почв, видов культур, фаз их развития, способов орошения и т.д.; своевременной организации агротехнических и мелиоративных мероприятий.

Целью данной работы является определение методов и моделей расчёта ежедневного режима орошения культур, использованных при построении автоматизированной системы управления режимами орошения [74÷83]. В других автоматизированных системах (или просто ручных расчётах) при определении режимов орошения культур расчёты выполняются или еженедельно, или ежедекадно, или ежемесячно, или же просто на весь вегетационный период, в которых не могут выдаваться достоверные ежедневные оперативные данные по режимам орошения культур, учитывающие ежедневные изменения внешней среды (температуры воздуха, относительной влажности воздуха, влажность почвы, атмосферные осадки), и соответственно правильно прогнозировать ре-

жимы орошения культур на последующие сутки для подготовки и проведения агротехнических и мелиоративных работ. Все используемые методы перечислены в параграфе 2.2. Поэтому часто на практике не получают запланированных и качественных урожаев, даже при использовании органических и минеральных удобрений.

Основные функции оперативного управления: оперативный учёт (блок 8), оперативный контроль (блок 9), оперативный анализ (блок 10) и регулирование (оперативное корректирование) (блок 11) хода выращивания культур по всем полям (участкам) ферм. Для выполнения основных запланированных работ ферм осуществляется ежедневный учёт: поливов; погодных условий (температуры воздуха, относительной влажности, атмосферных осадков); влажности почв (в начале и конце вегетационных периодов, в начале каждой фазы развития, в критические периоды каждой культуры и при возможности); хода выращивания культур (от посева (посадки), смены фаз развития до сбора (или гибели) урожая (частичного, полного)); изменения водно-физических свойств земель (уровня грунтовых вод, засоленности и т.д.). На основании перечисленных оперативных данных, согласно приведённых используемых в данной работе (в параграфе 2.2.) методов, осуществляется в системе ежедневный расчёт режимов орошения культур на текущие сутки и прогнозирование на последующие 10 суток. В результате фермерам (мелиораторам, агрономам) выдаётся оперативная достоверная информация для последующего контроля, анализа, и в случае необходимости, регулирования хода выращивания культур по полям (участкам). В результате оперативного контроля за ходом выполнения: календарных планов, режимов орошения культур по всем полям, агротехнических и мелиоративных работ, а также оперативного анализа: состояния выращиваемых культур по всем полям, проведённых поливов, проведённых агротехнических и мелиоративных работ, влажности и водозапаса почв, осуществляется, при необходимости, регулирование (корректировка) как планов (оперативно-производственных и календарных), так и нормативов (производственных и

календарно-производственных) и справочных данных. Организация выполнения календарных планов (блок 12) заключается в ежедневном выполнении всех работ с момента посева (посадки) культуры до полного сбора (или гибели) урожая, включая как подготовку, так и проведение агротехнических мероприятий и мелиоративных работ (влагозарядковых (предпосевных), вегетационных, освежительных, подкормочных и т.п. поливов). Выполнение вегетационных и подкормочных поливов осуществляется на основе выдаваемых автоматизированной системы управления режимами орошения ежедневных плановых заданий по режимам орошения культур по всем полям (участкам) и внесённых изменений, при необходимости, в них фермерами (мелиораторами, агрономами) с учётом критических периодов развития культур и морфологических показателей, т.е. биологического метода диагностирования поливов.

Автоматизированная система управления режимами орошения функционирует следующим образом (функциональная блок-схема задачи представлена на рис. 2.2.). Перед началом вегетационного периода, т.е. перед посевом (посадкой) культур, на основании нормативно-справочных документов (производственных нормативов, картотек, методических материалов, справочников) (SPRD01÷SPRD24: «Орошаемых ферм», «Наименований ферм», «Орошаемых полей (участков) по фермам», «Владельцев полей (участков) по фермам», «Выращиваемых культур по полям (участкам)», «Наименование культур и их фаз», «Типов почв», «Уровней грунтовых вод по полям (участкам)», «Уровней грунтовых вод», «Подпитываний по уровням грунтовых вод и испаряемостям», «Подпитываний по культурам», «Потерь вод по полям (участкам)», «Засоленностей почв», «Осадков», «Способов орошения», «Сбора (или гибели) урожая», «Удобрений», «Ядохимикатов», «Норм радиационных излучений», «Солнечной радиации», «Погода», «Календарь года (для сельскохозяйственных культур)», «Справочника работающих в системе», «Справочника системы») формируются соответствующие нормативно-справочные файлы (SPRM01÷SPRM24) календарно-производственных нормативов и справочных данных, которые в

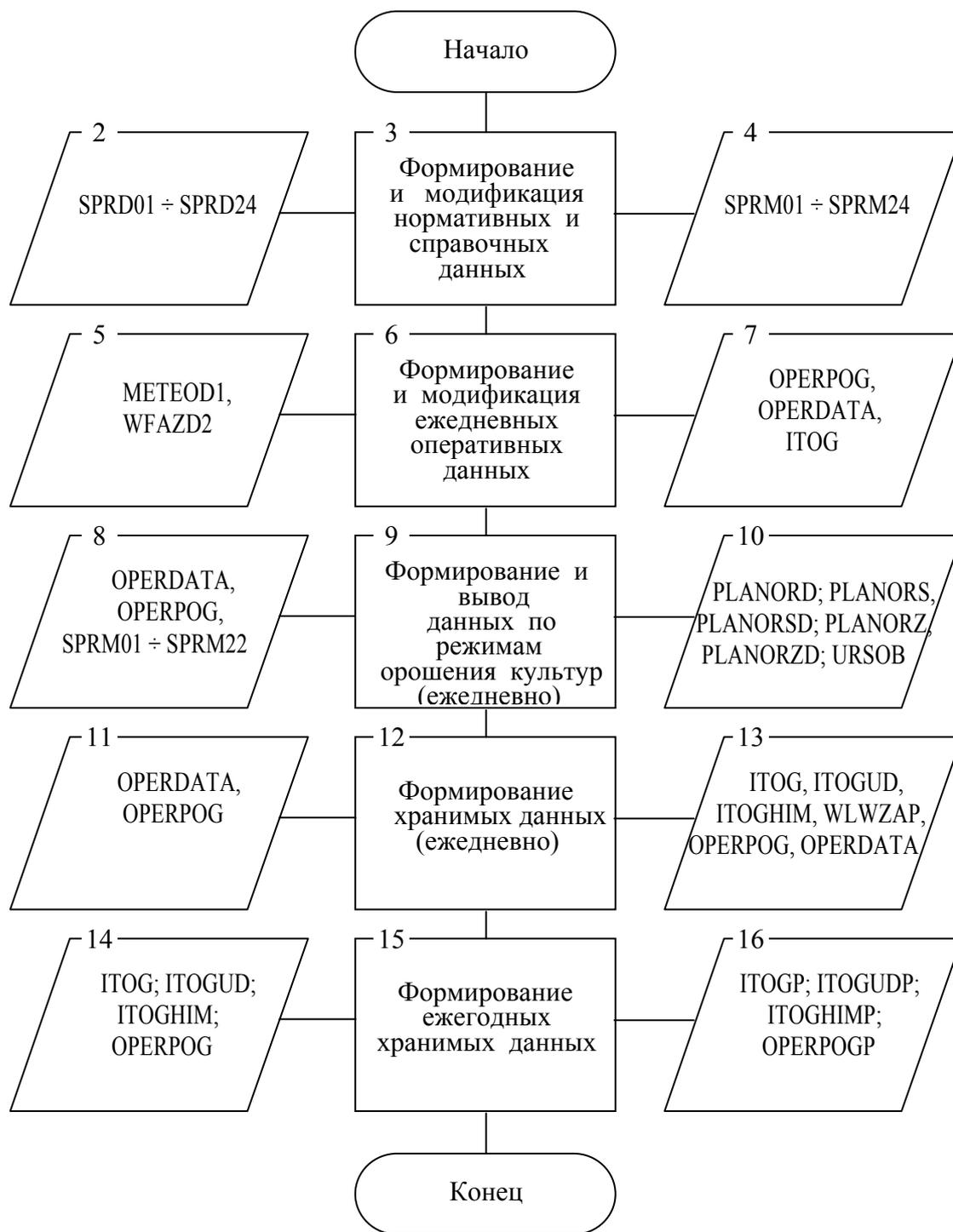


Рис. 2.2. Функциональная блок-схема задачи

ративная информация (блоки 5÷7), на основании входных документов METEOD1 и WFAZD2. Во-первых, данные о метеорологических условиях (METEOD1) (температура воздуха; относительная влажность воздуха; атмосферные осадки; коды погоды и облачности; суммарная солнечная радиация (или

она вводится из справочника); мощность дозы фонового уровня ионизирующей радиации (или если она вводится из справочника, то вводится радиационный постоянный фон), необходимый для контроля и анализа радиационной обстановки в местности, и при необходимости проведения радиационного мониторинга). На основании вводимых ежедневных данных ежедневно формируется (накапливается) файл OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»). Во-вторых, данные (WFAZD2): 1) о состоянии всех культур по всем полям (участкам) от момента посева (посадки) до полного сбора (или гибели) урожая: дата посева (посадки), код культуры, код фазы развития (особенно это важно при его смене в вегетационный период, при расчёте режимов орошения культур); 2) влажность почв по всем полям (участкам) для каждой культуры (первоначальной, в момент посева (посадки) культуры; в течение вегетационных периодов, особенно необходим в дни смен фаз развития культур и критические периоды развития культур; перед полным сбором урожая); 3) используемых удобрений и ядохимикатов для каждой культуры по всем полям (участкам); 4) проведённых поливов, м³/га, по всем полям (участкам) для каждой культуры. И на основании ежедневных вводимых данных формируются (накапливаются) данные в хранимых файлах OPERDATA («Данные по орошаемым культурам») и ИТОГ («Итоговые данные по орошаемым культурам»). После ввода ежедневных оперативных данных ежедневно выполняются расчёты режимов орошения культур (ежедневных плановых заданий) (блоки 8÷÷10). На основании сформированных хранимых файлов OPERPOG и OPERDATA, а также нормативно-справочных файлов (SPRM01÷SPRM22), формируются следующие выходные файлы и документы (видеограммы): 1) документ (видеограмма) «Режимы орошения культур на текущие и последующие десять суток» (PLANORD); 2) файл «Режимы орошения культур на текущие сутки» (PLANORS); 3) документ (видеограмма) «Режимы орошения культур на текущие сутки» (PLANORSD); 4) файл «Режимы орошения культур на следующие сутки» (PLANORZ); 5) документ (видеограмма) «Режимы орошения культур на

следующие сутки» (PLANORZD); 6) файл «Собранный урожай за день» (URSOB). Вначале выполняется расчёт суммарного водопотребления культурами, согласно методов приведённых в параграфе 2.2. Далее выполняется расчёты водозапасов для каждого поля (участка) по всем выращиваемым культурам, а также влажность почв, если их не ввели в систему для соответствующих полей (участков) для отдельных культур за данные сутки. После этого выполняются расчёты режимов орошения всех культур по всем полям (участкам) на текущие, следующие и последующие (по десятые) сутки, а также формируется оперативный файл «Собранный урожай за день» (URSOB). В параграфе 2.2. приведён формальный аппарат, разработанный для автоматизированной системы управления режимами орошения.

После выполнения основных расчётов по режимам орошения культур ежедневно выполняется накапливание сформированных выходных ежедневных данных в хранимых файлах системы (блоки 11÷13): 1) «Данные по орошаемым культурам» (OPERDATA); 2) «Итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOG); 3) «Итоговые данные по применяемым удобрениям» (ITOGUD); 4) «Итоговые данные по применяемым ядохимикатам» (ITOGHIM); 5) «Данные о влажности и водозапасах почв» (WLWZAP); 6) «Ежедневные метеоусловия» (OPERPOG).

Сформированные хранимые данные (блок 13) используются как при контроле, анализе и регулировании проведённых работ и данных, так и при организации выполнения календарных планов на основании ежедневно получаемых плановых заданий по режимам орошения культур по полям (участкам).

Согласно блоков 14÷16 формируются хранимые файлы после завершения всех работ (сбора урожая) по всем полям (участкам) всех ферм: «Прошлогодние ежедневные метеоусловия» (OPERPOGP), «Прошлогодние итоги по орошаемым культурам» (ITOGP), «Прошлогодние итоги по применяемым удобрениям» (ITOGUDP) и «Прошлогодние итоги по применяемым ядохимикатам» (ITOGHIMP) (на основании соответствующих файлов: OPERPOG, ITOG,

ИТОГУД и ИТОГНИМ), которые будут использоваться в следующем плановом году как для подготовки (коррекции) перспективных, текущих и календарных планов, так и для подготовки и проведения агротехнических работ.

В параграфе 3.2. представлен алгоритм формирования результатов задачи.

2.2. Описание формального аппарата для расчёта режимов орошения

Согласно разработанной методики расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур основные (ежедневные) расчеты в автоматизированной системе выполняются в следующей последовательности [74÷83].

$$P_{s_1}^{ijlq} = 10 * (P_s^{ijlq} - (P_s^{ijlq} * K_{11}) - (P_s^{ijlq} * K_{21}) - (P_s^{ijlq} * K_{31}^{ijlq}) - (P_s^{ijlq} * K_{41}^{ijlq})) , \quad (2.1)$$

$$P_{sv}^{ijlq} = 10 * (P_v^{ijlq} - (P_v^{ijlq} * K_{11}) - (P_v^{ijlq} * K_{21}) - (P_v^{ijlq} * K_{31}^{ijlq}) - (P_v^{ijlq} * K_{41}^{ijlq})) , \quad (2.2)$$

$$P_z^{ijlq} = \frac{P_{s_1}^{ijlq} + P_{sv}^{ijlq}}{2} ; \quad (2.3)$$

где: $P_{s_1}^{ijlq}$ – атмосферные осадки, фактически используемые культурами в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, за текущие s -ые сутки ($m^3/га$); P_s^{ijlq} – атмосферные осадки, фактически выпавшие в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, за текущие s -е сутки ($m^3/га$) (учитываются $P_s^{ijlq} \geq 5$ мм); P_{sv}^{ijlq} – атмосферные осадки, фактически используемые культурами в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, за прошедшие sv -ые сутки ($m^3/га$); P_v^{ijlq} – атмосферные осадки, фактически выпавшие в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, за прошедшие sv -ые сутки ($m^3/га$) (учитываются $P_v^{ijlq} \geq 5$ мм); P_z^{ijlq} – атмосферные осадки, прогнозируемые в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, на следующие z -ые сутки

(которые будут использованы культурами) ($\text{м}^3/\text{га}$); K_{11} и K_1 – коэффициенты использования атмосферных осадков ($0,3 \leq K_1 \leq 0,8$; $K_{11} = 1,0 - K_1$); K_{21} и K_2 – коэффициенты учитывающие погодные условия ($1,1 \leq K_2 \leq 1,25$; $K_{21} = K_2 - 1,0$); $K_{21} = K_2 - 1,0$); K_{31}^{ijlq} и K_3^{ijlq} – коэффициенты учитывающие засоленность почв в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод ($1,0 \leq K_3^{ijlq} \leq 1,25$; $K_{31}^{ijlq} = K_3^{ijlq} - 1,0$); K_{41}^{ijlq} и K_4^{ijlq} – коэффициенты, учитывающие потери вод (при осадках) на сток за пределы расчетного слоя почвы в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод ($1,1 \leq K_4^{ijlq} \leq 1,5$); $K_{41}^{ijlq} = K_4^{ijlq} - 1,0$); $1 \leq s \leq S$; $1 \leq sv \leq SV$; $1 \leq z \leq Z$.

$$t_z = \frac{t_v + t_s}{2} + t_s - t_v, \quad (2.4)$$

$$t_p = \frac{t_s + t_z}{2} + t_z - t_s; \quad (2.5)$$

где: t_s – среднесуточная температура воздуха за текущие s -ые сутки ($^{\circ}\text{C}$); t_v – среднесуточная температура воздуха за прошедшие v -ые сутки ($^{\circ}\text{C}$); t_z – среднесуточная температура воздуха, прогнозируемая на следующие z -ые сутки (рассчитывается если она не вводится в систему) ($^{\circ}\text{C}$); t_p – среднесуточная температура воздуха, прогнозируемая на последующие p -ые сутки (т.е. со вторые по десятые сутки) ($^{\circ}\text{C}$); $2 \leq p \leq P$.

$$a_z = \frac{a_v + a_s}{2}; \quad (2.6)$$

$$a_p = \frac{a_s + a_z}{2}; \quad (2.7)$$

где: a_s – среднесуточная относительная влажность воздуха за текущие s -ые сутки (%); a_v – среднесуточная относительная влажность воздуха за прошедшие v -ые сутки (%); a_z – среднесуточная относительная влажность воздуха, прогнозируемая на следующие z -ые сутки (рассчитывается если она не вводится в систему) (%); a_p – среднесуточная относительная влажность воздуха, прогно-

зируемая на последующие р-ые (т.е. со вторые по десятые) сутки (%).

$$r_z = \frac{r_v + r_s}{2}; \quad (2.8)$$

$$r_p = \frac{r_s + r_z}{2}; \quad (2.9)$$

где: r_s – среднесуточная суммарная солнечная радиация за текущие s-ые сутки (если не вводится в систему, то она считывается из нормативного файла, с учётом того, что Грузия находится на рубеже умеренного и субтропического поясов: с.ш. – $(41 \div 43)^\circ$ и в.д. – $(40 \div 46)^\circ$) (кал/см²); r_v – среднесуточная суммарная солнечная радиация за прошедшие v-ые сутки (кал/см²); r_z – среднесуточная суммарная солнечная радиация, прогнозируемая на следующие z-ые сутки (кал/см²); r_p – среднесуточная суммарная солнечная радиация, прогнозируемая на последующие р-ые (т.е. со вторые по десятые) сутки (кал/см²). Любой расчёт согласно (2.8÷2.9) выполняется в случае безоблачного неба.

$$O_{s_1 kfd}^{ijlq} = O_{s kfd}^{ijlq} - (O_{s kfd}^{ijlq} * K_{21}) - (O_{s kfd}^{ijlq} * K_{31}) - (O_{s kfd}^{ijlq} * K_{41}) - (O_{s kfd}^{ijlq} * K_{11}) - (O_{s kfd}^{ijlq} * K_{91}); \quad (2.10)$$

где: $O_{s kfd}^{ijlq}$ – фактически проведённые поливы для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, за текущие s-ые сутки (м³/га); K_{91} и K_9 – коэффициенты, характеризующие покрытие потерь вод при поверхностном способе орошения ($1,1 \leq K_9 \leq 1,2$; $K_{91} = K_9 - 1,0$); $O_{s_1 kfd}^{ijlq}$ – фактически используемые поливы k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, за текущие s-ые сутки (м³/га); K_{11} – учитывается только при следующих способах орошения: аэрозольное (мелкодисперсное) и дождевание; $1 \leq i \leq I$; $1 \leq j \leq J$; $1 \leq l \leq L$; $1 \leq q \leq Q$; $1 \leq k \leq K$; $1 \leq f \leq F$; $1 \leq d \leq D$.

$$E_{s_1 kfd}^{ijlq} = 10 * (25 + t_s)^2 * (100 - a_s) * 0,00006 * K_{s_5} * K_6; \quad (2.11)$$

$$E_{s_2 \text{ kfd}}^{ijlq} = 10 * (r_s + 50) * 0,133 + \frac{t_s}{t_s + 15} ; \quad (2.12)$$

$$E_{s \text{ kfd}}^{ijlq} = \max(E_{s_1 \text{ kfd}}^{ijlq}, E_{s_2 \text{ kfd}}^{ijlq}) ; \quad (2.13)$$

где: $E_{s_1 \text{ kfd}}^{ijlq}$ и $E_{s_2 \text{ kfd}}^{ijlq}$ – расчётные суммарные испарения за текущие s-ые сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$); $E_{s \text{ kfd}}^{ijlq}$ – используемое суммарное испарение за текущие s-ые сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$); K_{s_s} – коэффициент, учитывающий температуру воздуха за текущие s-ые сутки (если $t_s \leq 26^\circ\text{C}$, то $K_{s_s} = 1,0$; если $t_s > 26^\circ\text{C}$, то $K_{s_s} = 0,8$); K_6 – коэффициент, характеризующий k-ую культуру ($0,6 \leq K_6 \leq 1,0$).

$$E_{z_1 \text{ kfd}}^{ijlq} = 10 * (25 + t_z)^2 * (100 - a_z) * 0,00006 * K_{z_s} * K_6 ; \quad (2.14)$$

$$E_{z_2 \text{ kfd}}^{ijlq} = 10 * (r_z + 50) * 0,133 + \frac{t_z}{t_z + 15} ; \quad (2.15)$$

$$E_{z \text{ kfd}}^{ijlq} = \max(E_{z_1 \text{ kfd}}^{ijlq}, E_{z_2 \text{ kfd}}^{ijlq}) ; \quad (2.16)$$

где: $E_{z_1 \text{ kfd}}^{ijlq}$ и $E_{z_2 \text{ kfd}}^{ijlq}$ – расчётные суммарные испарения, прогнозируемые на следующие z-ые сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$); $E_{z \text{ kfd}}^{ijlq}$ – используемое суммарное испарение, прогнозируемое на следующие z-ые сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$); K_{z_s} – коэффициент, учитывающий температуру воздуха на следующие z-ые сутки (если $t_z \leq 26^\circ\text{C}$, то

$K_{z_5} = 1,0$; если $t_z > 26^\circ\text{C}$, то $K_{z_5} = 0,8$); K_6 – коэффициент, характеризующий к-ую культуру ($0,6 \leq K_6 \leq 1,0$).

$$E_{p_1 kfd}^{ijlq} = 10 * (25 + t_p)^2 * (100 - a_p) * 0,00006 * K_{p_5} * K_6 ; \quad (2.17)$$

$$E_{p_2 kfd}^{ijlq} = 10 * (r_p + 50) * 0,133 + \frac{t_p}{t_p + 15} ; \quad (2.18)$$

$$E_{p kfd}^{ijlq} = \max (E_{p_1 kfd}^{ijlq}, E_{p_2 kfd}^{ijlq}) ; \quad (2.19)$$

где: $E_{p_1 kfd}^{ijlq}$ и $E_{p_2 kfd}^{ijlq}$ – расчётные суммарные испарения, прогнозируемые на последующие р-ые сутки (т.е. со вторые по десятые) сутки, в i-ом ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$); $E_{p kfd}^{ijlq}$ – используемое суммарное испарение, прогнозируемое на последующие р-ые (т.е. со вторые по десятые) сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$); K_{p_5} – коэффициент, учитывающий температуру на последующие р-ые сутки (если $t_p \leq 26^\circ\text{C}$, то $K_{p_5} = 1,0$; если $t_p > 26^\circ\text{C}$, то $K_{p_5} = 0,8$); K_6 – коэффициент, характеризующий к-ую культуру ($0,6 \leq K_6 \leq 1,0$).

$$TR_{s kfd}^{ijlq} = \frac{E_{s kfd}^{ijlq} * PR_{kfd}^{ijlq}}{100} ; \quad (2.20)$$

$$PO_{s kfd}^{ijlq} = E_{s kfd}^{ijlq} - TR_{s kfd}^{ijlq} ; \quad (2.21)$$

где: $TR_{s kfd}^{ijlq}$ и $PO_{s kfd}^{ijlq}$ – расход воды соответственно на транспирацию и испарение с поверхности почвы за текущие s-е сутки в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$);

PR_{kfd}^{ijlq} – процент расхода воды на транспирацию от суммарного испарения

для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки), в I-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод; % от E_{skfd}^{ijlq} .

$$F_{skfd}^{ijlq} = E_{skfd}^{ijlq} * K_{k_7}, \quad (2.22)$$

$$F_{zkfd}^{ijlq} = E_{zkfd}^{ijlq} * K_{k_7}, \quad (2.23)$$

$$F_{pkfd}^{ijlq} = E_{pkfd}^{ijlq} * K_{k_7}; \quad (2.24)$$

где: F_{skfd}^{ijlq} , F_{zkfd}^{ijlq} и F_{pkfd}^{ijlq} – расчётное количество воды (приток воды), подпитывающее корнеобитаемый слой почвы, соответственно за s-ые текущие, прогнозируемые на следующие z-ые и последующие p-ые (т.е. со вторые по десятые) сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития культуры и с d-ой датой посева (посадки) ($m^3/га$); K_{k_7} – коэффициент, учитывающий подпитывание водами (приток воды) корнеобитаемого слоя почвы, с учётом вида k-ой культуры ($K_{k_7} = 0,05$ или $K_{k_7} = 0,1$).

$$B_{hkfd}^{ijlq} = (B_{PPV}^{ijlq} * 85) / 100; \quad (2.25)$$

$$W_{hkfd}^{ijlq} = 100 * B_{hkfd}^{ijlq} * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq}; \quad (2.26)$$

$$W_{skfd}^{ijlq} = 100 * B_{skfd}^{ijlq} * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq}; \quad (2.27)$$

$$W_{s_{11}kfd}^{ijlq} = W_{vkfd}^{ijlq} + P_s^{ijlq} + O_{skfd}^{ijlq} + F_{skfd}^{ijlq} - E_{skfd}^{ijlq}; \quad (2.28)$$

$$B_{s_{11}kfd}^{ijlq} = W_{s_{11}kfd}^{ijlq} / (100 * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq}); \quad (2.29)$$

$$KP_{kfd}^{ijlq} = W_{skfd}^{ijlq} / W_{s_{11}kfd}^{ijlq}; \quad (2.30)$$

$$W_{zkfd}^{ijlq} = W_{skfd}^{ijlq} + P_z^{ijlq} + F_{zkfd}^{ijlq} - E_{zkfd}^{ijlq}; \quad (2.31)$$

$$B_{zkfd}^{ijlq} = W_{zkfd}^{ijlq} / (100 * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq}); \quad (2.32)$$

$$W_{pkfd}^{ijlq} = W_{zkfd}^{ijlq} + F_{pkfd}^{ijlq} - E_{pkfd}^{ijlq}; \quad (2.33)$$

$$B_{pkfd}^{ijlq} = W_{pkfd}^{ijlq} / (100 * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq}); \quad (2.34)$$

$$W_{ckfd}^{ijlq} = 100 * B_{ckfd}^{ijlq} * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq}; \quad (2.35)$$

где: $V_{h\ kfd}^{ijlq}$ – первоначальная влажность почвы (в момент посева (посадки))

k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, средняя для слоя почвы H_{kfd}^{ijlq} (% к весу сухой почвы); Если $V_{h\ kfd}^{ijlq}$ вводится в систему, то его расчёт по (2.25) не производится;

На первые расчётные сутки: $V_{h\ kfd}^{ijlq} = V_{s\ kfd}^{ijlq}$;

V_{ppv}^{ijlq} – влажность почвы, соответствующая предельно-полевой (наименьшей) влагоёмкости, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод (% к весу сухой почвы);

H_{kfd}^{ijlq} – мощность слоя почвы, в котором определяется запас воды, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод (м);

V^{ijlq} – объёмный вес почвы для слоя H_{kfd}^{ijlq} в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод (кг/м³);

$W_{v\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды за предшествующие v-ые сутки в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) (м³/га);

$W_{h\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} в момент посева (посадки) (первоначальный запас воды) для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития (f=1) и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод (м³/га);

На первые расчётные сутки: $W_{h\ kfd}^{ijlq} = W_{s\ kfd}^{ijlq}$;

$W_{s\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} на текущие s-ые сутки в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с

d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$). Рассчитывается если в систему введено значение $B_{s\ kfd}^{ijlq}$ ($\text{м}^3/\text{га}$);

$W_{s_1\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} на текущие s-ые сутки в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$). Рассчитывается на основании $W_{v\ kfd}^{ijlq}$ и $O_{s\ kfd}^{ijlq}$;

$B_{s\ kfd}^{ijlq}$ – влажность для слоя почвы H_{kfd}^{ijlq} за текущие s-ые сутки в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$). $B_{s\ kfd}^{ijlq}$ рассчитывается по (2.29), если его значение не было введено в систему;

KP_{kfd}^{ijlq} – коэффициент поправки при необходимости на практике суммы орошения брутто ($O_{s\ kfd}^{ijlq} = O_{s\ kfd}^{ijlq} * KP_{kfd}^{ijlq}$) для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод (если значение $B_{s\ kfd}^{ijlq}$ не было введено в систему, то $KP_{kfd}^{ijlq} = 0$);

$W_{z\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} , прогнозируемый на следующие z-ые сутки, в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$);

$B_{z\ kfd}^{ijlq}$ – влажность почвы для слоя почвы H_{kfd}^{ijlq} , прогнозируемая на следующие z-ые сутки, для j-ого поля (участка), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) (% к весу сухой (почвы));

$W_{p\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} , прогнозируемый на на последующие p-ые (т.е. со вторых по десятые) сутки, на j-ом поле (участке),

с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) ($\text{м}^3/\text{га}$);

$B_{p\ kfd}^{ijlq}$ – влажность почвы для слоя почвы H_{kfd}^{ijlq} , прогнозируемая на последующие p-ые сутки, для j-ого поля (участка), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки) (% к весу сухой почвы);

$W_{c\ kfd}^{ijlq}$ – запас воды в корнеобитаемом слое почв H_{kfd}^{ijlq} в момент полного сбора (или гибели) урожая (конечный запас воды), для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме ($\text{м}^3/\text{га}$). Если в систему не введено $B_{c\ kfd}^{ijlq}$, то $W_{c\ kfd}^{ijlq} = W_{s\ kfd}^{ijlq}$;

$B_{c\ kfd}^{ijlq}$ – конечная влажность почвы в момент полного сбора (или гибели) k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, средняя для слоя почвы H_{kfd}^{ijlq} (% к весу сухой почвы).

Водозапасы на текущие, следующие и последующие (т.е. со вторых по десятилетия) сутки до проведения поливов (2.45÷2.47) и сроки орошения (в сутках, до начала поливов) по всем полям (участкам) всех ферм для каждой выращиваемой культуры (2.48÷2.50) рассчитываются при выполнении следующих соответствующих условий (2.36÷2.44) (рис. 2.3.).

$$B_{s\ kfd}^{ijlq} \cdot B_{s\ kfd}^{ijlq} \geq B_o^{ijlq} ; \quad (2.36)$$

$$B_{ppv}^{ijlq} \leq B_{s\ kfd}^{ijlq} < B_o^{ijlq} ; \quad (2.37)$$

$$B_{KR\ kfd}^{ijlq} \leq B_{s\ kfd}^{ijlq} < B_{ppv}^{ijlq} ; \quad (2.38)$$

$$B_{z\ kfd}^{ijlq} \cdot B_{z\ kfd}^{ijlq} \geq B_o^{ijlq} ; \quad (2.39)$$

$$B_{ppv}^{ijlq} \leq B_{z\ kfd}^{ijlq} < B_o^{ijlq} ; \quad (2.40)$$

$$B_{KR\ kfd}^{ijlq} \leq B_{z\ kfd}^{ijlq} < B_{ppv}^{ijlq} ; \quad (2.41)$$

$$B_{p\ kfd}^{ijlq} : B_{p\ kfd}^{ijlq} \geq B_o^{ijlq} ; \quad (2.42)$$

$$B_{ppv}^{ijlq} \leq B_{p\ kfd}^{ijlq} < B_o^{ijlq} ; \quad (2.43)$$

$$B_{KR\ kfd}^{ijlq} \leq B_{p\ kfd}^{ijlq} < B_{ppv}^{ijlq} ; \quad (2.44)$$

$$W_{s_1\ kfd}^{ijlq} = 100 * (B_{s\ kfd}^{ijlq} - B_{KR\ kfd}^{ijlq}) * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq} ; \quad (2.45)$$

$$W_{z_1\ kfd}^{ijlq} = 100 * (B_{z\ kfd}^{ijlq} - B_{KR\ kfd}^{ijlq}) * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq} ; \quad (2.46)$$

$$W_{p_1\ kfd}^{ijlq} = 100 * (B_{p\ kfd}^{ijlq} - B_{KR\ kfd}^{ijlq}) * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq} ; \quad (2.47)$$

$$S_{s\ kfd}^{ijlq} = (W_{s_1\ kfd}^{ijlq} + F_{s\ kfd}^{ijlq} + P_{s_1}^{ijlq}) / E_{s\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.48)$$

$$S_{z\ kfd}^{ijlq} = (W_{z_1\ kfd}^{ijlq} + F_{z\ kfd}^{ijlq} + P_z^{ijlq}) / E_{z\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.49)$$

$$S_{p\ kfd}^{ijlq} = (W_{p_1\ kfd}^{ijlq} + F_p^{ijlq}) / E_{p\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.50)$$

$$B_{KR\ kfd}^{ijlq} = (B_{ppv}^{ijlq} * PR_{ppv\ kfd}^{ijlq}) / 100 ; \quad (2.51)$$

где: $W_{s_1\ kfd}^{ijlq}$ – водозапас до проведения поливов в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на текущие s-ые сутки ($m^3/га$);

$W_{z_1\ kfd}^{ijlq}$ – водозапас до проведения поливов в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на следующие z-ые сутки ($m^3/га$);

$W_{p_1\ kfd}^{ijlq}$ – водозапас до проведения поливов в корнеобитаемом слое почвы H_{kfd}^{ijlq} на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на последующие p-ые (со вторые по десятые) сутки ($m^3/га$);

$S_{s\ kfd}^{ijlq}$ – срок орошения (в сутках, до начала поливов) k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), в i-ой ферме, на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых

вод, начиная с текущих s -х суток;

$S_{z\ kfd}^{ijlq}$ – срок орошения (в сутках, до начала поливов) k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, начиная со следующих z -х суток;

$S_{p\ kfd}^{ijlq}$ – срок орошения (в сутках, до начала поливов) k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, начиная с последующих p -х (т.е. со вторых по десятые) суток;

B_0^{ijlq} – полная (наибольшая) влагоёмкость почвы на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме (% к весу сухой почвы);

$PR_{ppv\ kfd}^{ijlq}$ – процент допускаемого предела иссушения корнеобитаемого слоя почвы N_{kfd}^{ijlq} для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме (% от предельно-полевой (наименьшей) влагоёмкости почвы). Необходим для определения критической (минимально допустимой) влажности почвы;

$B_{KR\ kfd}^{ijlq}$ – критическая (минимально допустимая) влажность почвы для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ом ферме (% к весу сухой почвы). Фактически согласно условий 2.38, 2.41 и 2.44 выполняются расчёты количества суток, оставшиеся до начала поливов на основании 2.48÷2.50, т.е. до начала проведения мелиоративных работ по всем полям (участкам) всех ферм для каждой выращиваемой культуры.

Расчётная сумма орошения нетто (2.58÷2.60), расчётная сумма орошения брутто (с учётом водно-физических свойств почв, погодных условий, способа

поливов и вида культур) (2.63; 2.65; 2.69; 2.71; 2.75; 2.77 – на основании 2.61;

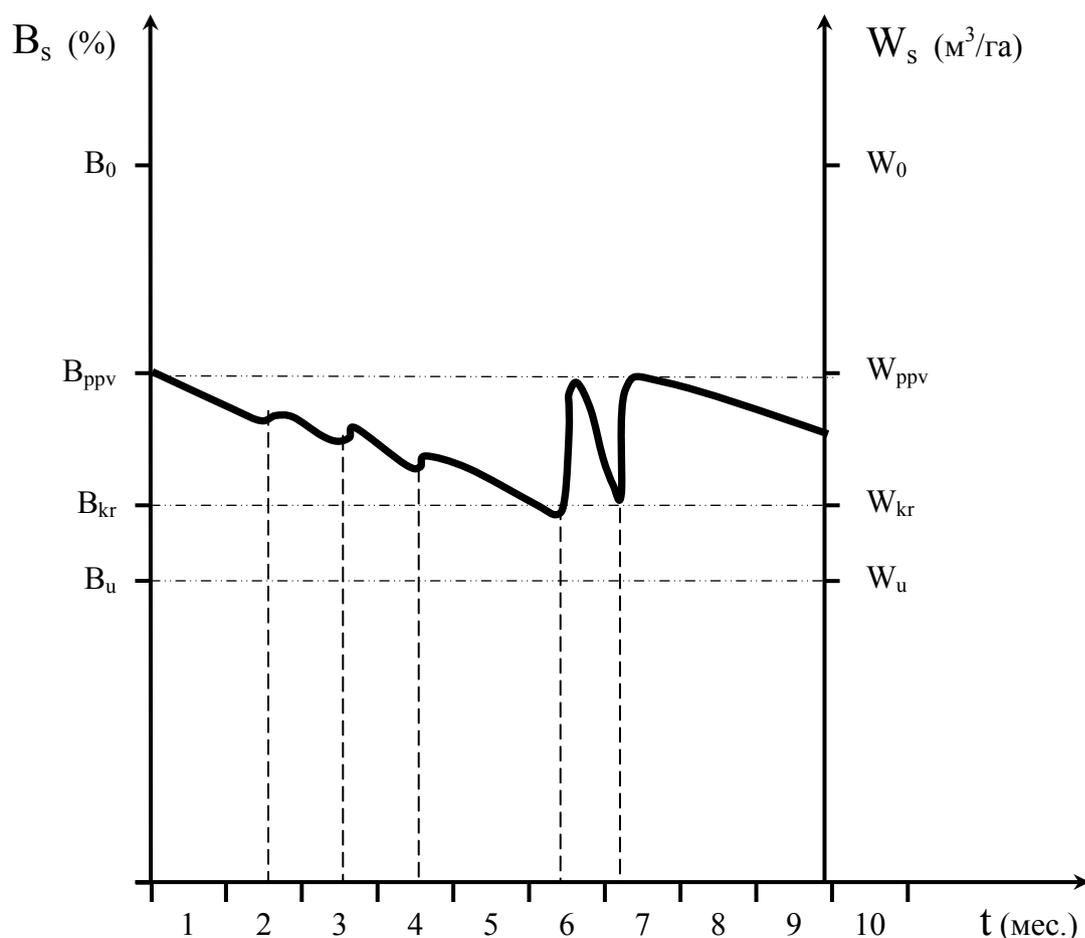


Рис. 2.3. График изменения влажности и водозапаса почв для выращиваемых культур

2.67; 2.73 соответственно) и количество поливов в сутках (2.79÷2.81), для каждой культуры по всем полям (участкам) всех ферм начиная с текущих, со следующих и с последующих (т.е. со вторых по десятые) суток, рассчитываются при выполнении следующих соответствующих условий (2.38, 2.41 и 2.44 – если расчётная сумма орошения брутто не меньше нормы полива за сутки) и (2.52÷2.57) (рис. 2.3.):

$$B_{s\ kfd}^{ijlq} : B_{u\ kfd}^{ijlq} < B_{s\ kfd}^{ijlq} < B_{KR\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.52)$$

$$B_{s\ kfd}^{ijlq} \leq B_{u\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.53)$$

$$B_{z\ kfd}^{ijlq} : B_{u\ kfd}^{ijlq} < B_{z\ kfd}^{ijlq} < B_{KR\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.54)$$

$$B_{z\ kfd}^{ijlq} \leq B_{u\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.55)$$

$$B_{p\ kfd}^{ijlq} : B_{u\ kfd}^{ijlq} < B_{p\ kfd}^{ijlq} < B_{KR\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.56)$$

$$B_{p\ kfd}^{ijlq} \leq B_{u\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.57)$$

$$R_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} = 100 * (B_{ppv}^{ijlq} - B_{s\ kfd}^{ijlq}) * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq} ; \quad (2.58)$$

$$R_{z\ kfd}^{ijlq} = 100 * (B_{ppv}^{ijlq} - B_{z\ kfd}^{ijlq}) * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq} ; \quad (2.59)$$

$$R_{p\ kfd}^{ijlq} = 100 * (B_{ppv}^{ijlq} - B_{p\ kfd}^{ijlq}) * V^{ijlq} * H_{kfd}^{ijlq} ; \quad (2.60)$$

$$R_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} = R_{s\ kfd}^{ijlq} + (R_{s\ kfd}^{ijlq} * K_{21}) + (R_{s\ kfd}^{ijlq} * K_{31}) + (R_{s\ kfd}^{ijlq} * K_{41}) + (R_{s\ kfd}^{ijlq} * K_{11}) + \\ + (R_{s\ kfd}^{ijlq} * K_{91}) ; \quad (2.61)$$

$$NP_{kfd}^{ijlq} = 1: N_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} = N_{kfd}^{ijlq} + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{21}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{31}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{41}) + \\ + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{11}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{91}) ; \quad (2.62)$$

$$0 < K_{8\ kfd}^{ijlq} \leq 1, 0: R_{s_1\ kfd}^{ijlq} = R_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} - (R_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} * K_{81\ kfd}^{ijlq}) ; \quad (2.63)$$

$$N_{s_1\ kfd}^{ijlq} = N_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} - (N_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} * K_{81\ kfd}^{ijlq}) ; \quad (2.64)$$

$$K_{8\ kfd}^{ijlq} = 0: R_{s_1\ kfd}^{ijlq} = R_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} - F_{s\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.65)$$

$$NP_{kfd}^{ijlq} = 2: N_{s_1\ kfd}^{ijlq} = N_{s_{11}\ kfd}^{ijlq} - F_{s\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.66)$$

$$R_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} = R_{z\ kfd}^{ijlq} + (R_{z\ kfd}^{ijlq} * K_{21}) + (R_{z\ kfd}^{ijlq} * K_{31}) + (R_{z\ kfd}^{ijlq} * K_{41}) + (R_{z\ kfd}^{ijlq} * K_{11}) + \\ + (R_{z\ kfd}^{ijlq} * K_{91}) ; \quad (2.67)$$

$$N_{kfd}^{ijlq} = 1: N_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} = N_{kfd}^{ijlq} + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{21}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{31}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{41}) + \\ + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{11}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{91}) ; \quad (2.68)$$

$$(0 < K_{8\ kfd}^{ijlq} \leq 1, 0): R_{z\ kfd}^{ijlq} = R_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} - (R_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} * K_{81\ kfd}^{ijlq}) ; \quad (2.69)$$

$$N_{z_1\ kfd}^{ijlq} = N_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} - (N_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} * K_{81\ kfd}^{ijlq}) ; \quad (2.70)$$

$$K_{81\ kfd}^{ijlq} = 0: R_{z_1\ kfd}^{ijlq} = R_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} - F_{z\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.71)$$

$$NP_{kfd}^{ijlq} = 2: N_{z_1\ kfd}^{ijlq} = N_{z_{11}\ kfd}^{ijlq} - F_{z\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.72)$$

$$R_{p_{11}\ kfd}^{ijlq} = R_{p\ kfd}^{ijlq} + (R_{p\ kfd}^{ijlq} * K_{21}) + (R_{p\ kfd}^{ijlq} * K_{31}) + (R_{p\ kfd}^{ijlq} * K_{41}) + (R_{p\ kfd}^{ijlq} * K_{11}) +$$

$$+(R_{p\ kfd}^{ijlq} * K_{91}) ; \quad (2.73)$$

$$NP_{kfd}^{ijlq} = 1: N_{p_{11}\ kfd}^{ijlq} = N_{kfd}^{ijlq} + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{21}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{31}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{41}) + \\ + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{11}) + (N_{kfd}^{ijlq} * K_{91}) ; \quad (2.74)$$

$$(0 < K_{8\ kfd}^{ijlq} \leq 1, 0): R_{p_1\ kfd}^{ijlq} = R_{p_{11}\ kfd}^{ijlq} - (R_{p_{11}\ kfd}^{ijlq} * K_{91}^{ijlq}) ; \quad (2.75)$$

$$N_{p_1\ kfd}^{ijlq} = N_{p_{11}\ kfd}^{ijlq} * K_{81\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.76)$$

$$K_{8\ kfd}^{ijlq} = 0: R_{p_1\ kfd}^{ijlq} = R_{p_1\ kfd}^{ijlq} - F_{p\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.77)$$

$$N_{p_1\ kfd}^{ijlq} = N_{p_{11}\ kfd}^{ijlq} - F_{p\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.78)$$

$$K_{s\ kfd}^{ijlq} = (R_{s_1\ kfd}^{ijlq} - F_{s\ kfd}^{ijlq} - P_{s_1}^{ijlq} + E_{s\ kfd}^{ijlq}) / N_{s_1\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.79)$$

$$K_{z\ kfd}^{ijlq} = (R_{z_1\ kfd}^{ijlq} - F_{z\ kfd}^{ijlq} - P_z^{ijlq} + E_{z\ kfd}^{ijlq}) / N_{z_1\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.80)$$

$$K_{p\ kfd}^{ijlq} = (R_{z_1\ kfd}^{ijlq} - F_{p\ kfd}^{ijlq} + E_{p\ kfd}^{ijlq}) / N_{p_1\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.81)$$

где: $B_{u\ kfd}^{ijlq}$ – влажность увядания для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме (% к весу сухой почвы);

$R_{s\ kfd}^{ijlq}$ – расчётная сумма орошения нетто для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, начиная с текущих s-ых суток ($m^3/га$);

$R_{z\ kfd}^{ijlq}$ – расчётная сумма орошения нетто для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, начиная со следующих z-ых суток ($m^3/га$);

$R_{p\ kfd}^{ijlq}$ – расчётная сумма орошения нетто для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, начиная с последующих p-ых (т.е. со вторых по десятые) суток ($m^3/га$);

K_{11} – учитывается только при следующих способах орошения: аэрозольное (мелкодисперсное) и дождевание;

K_{81kfd}^{ijlq} и K_{8kfd}^{ijlq} – коэффициенты, учитывающие суммарное водопотребление (за текущие, следующие и последующие (т.е. со вторых по десятые) сутки) и глубину грунтовых вод, в i -ой ферме, на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки) ($0 \leq K_{8kfd}^{ijlq} \leq 1,0$; $K_{81kfd}^{ijlq} = 1,0 - K_{8kfd}^{ijlq}$);

$R_{s_1kfd}^{ijlq}$ – расчетная сумма орошения брутто для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в I -ой ферме, начиная с текущих s -ых суток ($m^3/га$);

$R_{z_1kfd}^{ijlq}$ – расчётная сумма орошения брутто для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, начиная со следующих z -ых суток ($m^3/га$);

$R_{p_1kfd}^{ijlq}$ – расчётная сумма орошения брутто для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, начиная с последующих p -ых (т.е. со вторых по десятые) суток ($m^3/га$);

$K_{s_1kfd}^{ijlq}$ – количество поливов в сутках для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, начиная с текущих суток ($m^3/га$);

$K_{z_1kfd}^{ijlq}$ – количество поливов в сутках для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, начиная со следующих суток ($m^3/га$);

$K_{p, kfd}^{ijlq}$ – количество поливов в сутках для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, начиная с последующих p-ых (т.е. со вторых по десятые) суток ($m^3/га$);

N_{kfd}^{ijlq} – норма полива за сутки для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме ($m^3/га$);

NP_{kfd}^{ijlq} – код введённой нормы полива за сутки для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме (если $NP_{kfd}^{ijlq} = 1$, то N_{kfd}^{ijlq} является нормой полива нетто за сутки; если $NP_{kfd}^{ijlq} = 2$, то N_{kfd}^{ijlq} является нормой полива брутто за сутки);

$N_{s_1, kfd}^{ijlq}$ – норма полива брутто за сутки для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, с текущих s-ых суток ($m^3/га$);

$N_{z_1, kfd}^{ijlq}$ – норма полива брутто за сутки для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, со следующих z-ых суток ($m^3/га$);

$N_{p_1, kfd}^{ijlq}$ – норма полива брутто за сутки для k-ой культуры, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, с последующих p-ых (т.е. со вторых по десятые) суток ($m^3/га$).

Далее выполняются расчёты по формированию итоговых данных по полям (участкам) ферм для выращиваемых культур.

$$E_{kfd}^{ijlq} = \sum_{s=1}^s E_{s, kfd}^{ijlq}, \quad (2.82)$$

$$E_{kd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F E_{kfd}^{ijlq} , \quad (2.83)$$

$$TR_{kd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S TR_{skfd}^{ijlq} , \quad (2.84)$$

$$PO_{kd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S PO_{skfd}^{ijlq} ; \quad (2.85)$$

где: E_{kfd}^{ijlq} – суммарное испарение на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития (т.е. f -ый вегетационный период развития культуры) и с d -ой датой посева (посадки) ($m^3/га$);

E_{kd}^{ijlq} – суммарное испарение на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) ($m^3/га$);

TR_{kd}^{ijlq} – расход воды на транспирацию на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) ($m^3/га$);

PO_{kd}^{ijlq} – расход воды на испарение с поверхности почвы на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) ($m^3/га$);

$$P_{kd}^{ijlq} = \sum_{s=1}^S P_s^{ijlq} ; \quad (2.86)$$

где: P_{kd}^{ijlq} – суммарные атмосферные осадки, фактически выпавшие на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), за весь ве-

гетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) ($\text{м}^3/\text{га}$);

$$t_{kd}^{ijlq} = \sum_{s=1}^S t_s ; \quad (2.87)$$

где: t_{kd}^{ijlq} – суммарная температура воздуха для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) ($^{\circ}\text{C}$).

$$a_{kd}^{ijlq} = \sum_{s=1}^S a_s ; \quad (2.88)$$

где: a_{kd}^{ijlq} – суммарная относительная влажность воздуха для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) (%).

$$m_{kd}^{ijlq} = \sum_{s=1}^S 24 * m_s ; \quad (2.89)$$

где: m_{kd}^{ijlq} – суммарная мощность дозы фонового уровня ионизирующей радиации за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки) ($\text{mkSV}/\text{час}$ или $\text{mkGR}/\text{час}$);

m_s – мощность дозы фонового уровня ионизирующей радиации ($\text{mkSV}/\text{час}$ или $\text{mkGR}/\text{час}$) за текущие s -ые сутки.

$$UD_{xkd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S UD_{sx kfd}^{ijlq} ; \quad (2.90)$$

$$UD_{kd}^{ijlq} = \sum_{x=1}^X UD_{xkd}^{ijlq} ; \quad (2.91)$$

где: UD_{xkd}^{ijlq} – суммарное количество использованного x -ого вида удобрения за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым

кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры с d -ой датой посева (посадки) (кг/га); $1 \leq x \leq X$;

$UD_{sx\ kfd}^{ijlq}$ – количество использованного x -ого вида удобрения за s -ые сутки на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития с d -ой датой посева (посадки) (кг/га); $1 \leq x \leq X$;

UD_{kd}^{ijlq} – суммарное количество использованных удобрений всех видов за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры с d -ой датой посева (посадки) (кг/га);

$$HI_{y\ kd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S HI_{sy\ kfd}^{ijlq} ; \quad (2.92)$$

$$HI_{kd}^{ijlq} = \sum_{y=1}^Y HI_{y\ kd}^{ijlq} ; \quad (2.93)$$

где: $HI_{y\ kd}^{ijlq}$ – суммарное количество использованного y -го вида ядохимиката за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры с d -ой датой посева (посадки) (кг/га); $1 \leq y \leq Y$;

$HI_{sy\ kfd}^{ijlq}$ – количество использованного y -го вида ядохимиката за s -ые сутки на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры, с f -ым кодом фазы развития с d -ой датой посева (посадки); $1 \leq y \leq Y$;

HI_{kd}^{ijlq} – суммарное количество использованных ядохимикатов всех видов за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры с d -ой датой посева (посадки) (кг/га);

$$UR_{kd}^{ijlq} = \sum_{s=1}^S UR_{skd}^{ijlq} ; \quad (2.94)$$

где: UR_{kd}^{ijlq} – суммарное фактическое количество собранного урожая k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме (кг/га);

UR_{skd}^{ijlq} – фактическое количество собранного урожая за s -ые сутки k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме (кг/га);

$$F_{kd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S F_{skfd}^{ijlq} ; \quad (2.95)$$

где: F_{kd}^{ijlq} – суммарное расчётное количество воды, подпитавшее (приток воды) корнеобитаемый слой почвы за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, для k -ой культуры с d -ой датой посева (посадки) (m^3 /га);

$$O_{kd}^{ijlq} = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S O_{skfd}^{ijlq} ; \quad (2.96)$$

где: O_{kd}^{ijlq} – суммарный объём фактически проведённых поливов для k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, за весь вегетационный период развития культуры (т.е. до полного сбора (или гибели) урожая) (m^3 /га);

$$OR_{kd}^{ijlq} = E_{kd}^{ijlq} - (W_{hkfd}^{ijlq} - W_{ckfd}^{ijlq}) - P_{kd}^{ijlq} - F_{kd}^{ijlq} ; \quad (2.97)$$

где: OR_{kd}^{ijlq} – оросительная норма на весь вегетационный период развития k -ой культуры, с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме (m^3 /га);

$$FW_{kd}^{ijlq} = E_{kd}^{ijlq} / UR_{kd}^{ijlq} ; \quad (2.98)$$

где: FW_{kd}^{ijlq} – коэффициент водопотребления за весь вегетационный период развития (т.е. до полного сбора урожая) k -ой культуры, с d -ой датой посева

(посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме.

Итоговые данные ($\text{м}^3/\text{га}$) для всех выращиваемых культур при поливах, с учётом площади под культуру и количества поливов в сутках, начиная с текущих и следующих суток, рассчитываются на основании выражений (2.99÷2.102).

$$BC_{s\ kfd}^{ijlq} = R_{s_1\ kd}^{ijlq} * PL_{kd}^{ijlq} ;$$

(2.99)

$$IT_{s\ kfd}^{ijlq} = BC_{s\ kfd}^{ijlq} * K_{s\ kfd}^{ijlq} ;$$

(2.100)

$$BC_{z\ kfd}^{ijlq} = R_{z_1\ kfd}^{ijlq} * PL_{kd}^{ijlq} ;$$

(2.101)

$$IT_{z\ kfd}^{ijlq} = BC_{z\ kfd}^{ijlq} * K_{z\ kfd}^{ijlq} ;$$

(2.102)

где: $BC_{s\ kfd}^{ijlq}$ – всего на k-ую культуру, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, на текущие s-ые сутки ($\text{м}^3/\text{га}$);

PL_{kd}^{ijlq} – площадь под k-ую культуру, с d-ой датой посева (посадки), на j-ом

поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме (га);

$IT_{s\ kfd}^{ijlq}$ – итога на k-ую культуру, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, начиная с текущих s-ых суток ($\text{м}^3/\text{га}$);

$BC_{z\ kfd}^{ijlq}$ – всего на k-ую культуру, с f-ым кодом фазы развития и с d-ой датой посева (посадки), на j-ом поле (участке), с l-ым кодом типа почвы и с q-ым кодом уровня грунтовых вод, в i-ой ферме, на следующие z-ые сутки ($\text{м}^3/\text{га}$);

$\Gamma_{z k f d}^{ijlq}$ – итого на k -ую культуру, с f -ым кодом фазы развития и с d -ой датой посева (посадки), на j -ом поле (участке), с l -ым кодом типа почвы и с q -ым кодом уровня грунтовых вод, в i -ой ферме, начиная со следующих z -ых суток ($\text{м}^3/\text{га}$).

Глава 3. Инженерные задачи реализации системы оперативного управления режимами орошения сельскохозяйственных культур

3.1. Информационная база данных автоматизированной системы управления режимами орошения

Составной частью информационного обеспечения автоматизированной системы оперативного управления режимами орошения сельскохозяйственных культур является разработанная реляционная база данных, представляющая набор экземпляров конечных отношений [74÷83; 113÷144]. Представленная на рис. 3.1. модель базы данных на уровне сущностей является глобальной (общей) организацией данных, на основании которой получают внешние организации, т.е. все прикладные программы системы. В спроектированной базе данных выполняются оба уровня независимости данных, т.е. логическая и физическая независимость данных. Кроме того, база данных обладает: высокой производительностью (согласно времени ответа в процессе диалога пользователей с компьютером); минимальной необходимой избыточностью; целостностью элементов данных и их связей; секретностью данных (доступ к системе и хранимым файлам определяется руководителями ферм; безопасностью, т.е. осуществляется защита данных (при выполнении отдельных программ и использовании отдельных (хранимых) файлов системы), на основании системы паролей. Логическая схема отношений разработана на основании правил нормализации. В представленной модели базы данных сущность представляет некоторую абстракцию объектов системы, о которых в системе хранится информация. С помощью связей представлены отношения между сущностями. Тип сущности определяет набор однородных объектов системы, и таким образом, тип связи рассматривается между соответствующими типами сущностей.

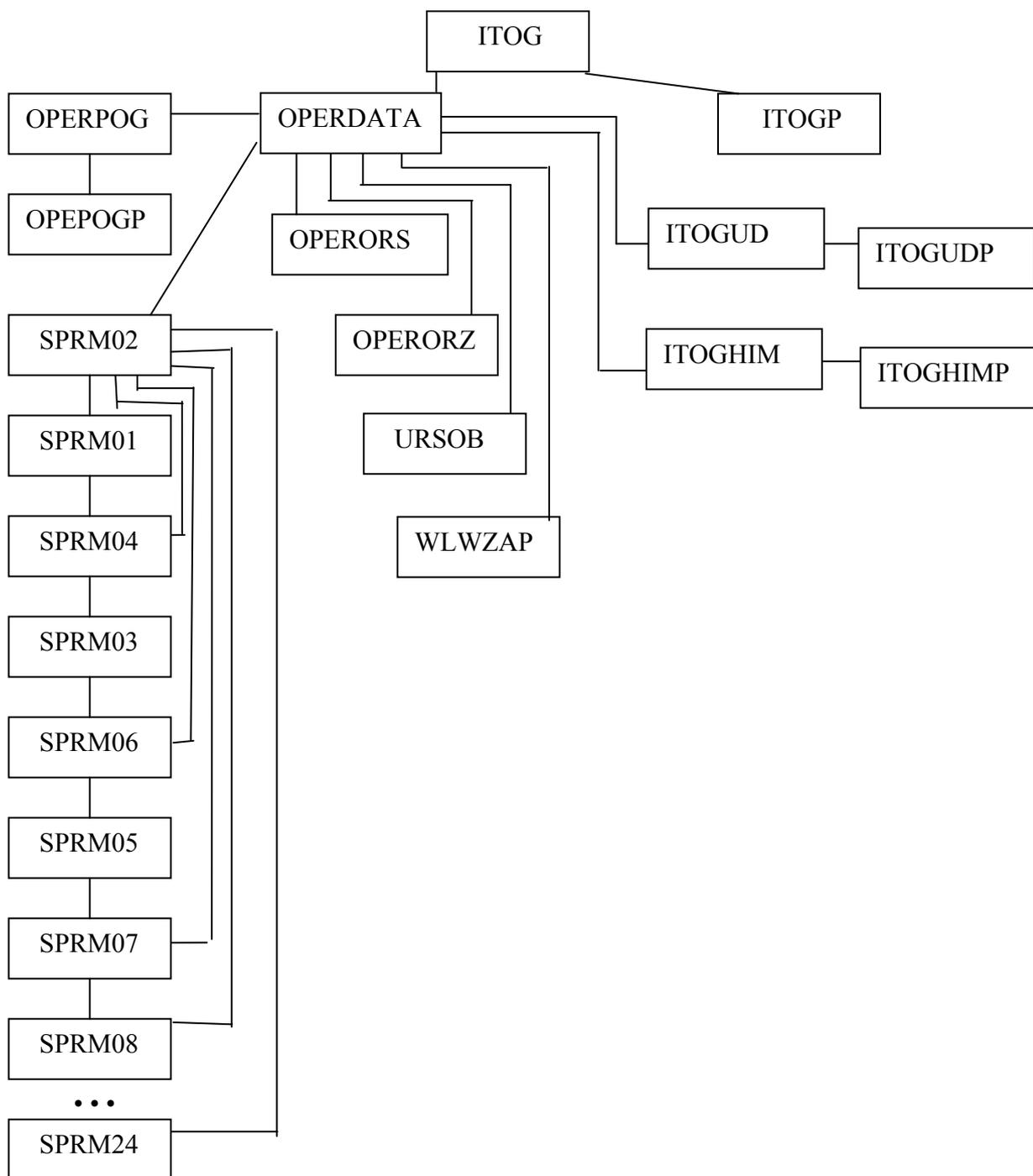


Рис. 3.1. Модель базы данных на уровне сущностей

сущностей. В разработанной базе данных сущностями являются:

1. «Итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOG);
2. «Ежедневные метеоусловия» (OPERPOG);
3. «Данные по орошаемым культурам» (OPERDATA);

4. «Прошлогодние итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOGP);
5. «Прошлогодние ежедневные метеоусловия» (OPERPOGP);
6. «Режимы орошения культур на текущие сутки» (OPERORS);
7. «Режимы орошения культур на следующие сутки» (OPERORZ);
8. «Собранный урожай за день» (URSOB);
9. «Данные о влажности и водозапасах почв» (WLWZAP);
10. «Итоговые данные по применяемым удобрениям» (ITOGUD);
11. «Итоговые данные по применяемым ядохимикатам» (ITOGHIM);
12. «Прошлогодние итоги по применяемым удобрениям» (ITOGUDP);
13. «Прошлогодние итоги по применяемым ядохимикатам» (ITOGHIMP);
14. «Наименования ферм» (SPRM02);
15. «Орошаемые фермы» (SPRM01);
16. «Владельцы полей (участков) по фермам» (SPRM04);
17. «Орошаемые поля (участки) по фермам» (SPRM03);
18. «Наименования культур и их фаз» (SPRM06);
19. «Выращиваемых культур по полям (участкам)» (SPRM05);
20. «Типов почв» (SPRM07);
21. «Уровней грунтовых вод по полям (участкам)» (SPRM08);
22. «Уровней грунтовых вод» (SPRM09);
23. «Подпитываний по уровням грунтовых вод и испаряемостям» (SPRM10);
24. «Подпитываний по культурам» (SPRM11);
25. «Потерь вод по полям (участкам)» (SPRM12);
26. «Засоленности почв» (SPRM13);
27. «Осадков» (SPRM14);
28. «Способов орошения» (SPRM15);
29. «Сбора (или гибели) урожая» (SPRM16);
30. «Удобрений» (SPRM17);
31. «Ядохимикатов» (SPRM18);

32. «Норм радиационных излучений» (SPRM19);
33. «Солнечной радиации» (SPRM20);
34. «Погода» (SPRM21);
35. «Календарь года (для сельскохозяйственных культур)» (SPRM22);
36. «Справочник работающих» (SPRM23);
37. «Справочник системы» (SPRM24);

Набор элементов данных каждой сущности определяется согласно разработанного формального аппарата для определения режимов орошения культур, приведённого в параграфе 2.2.

3.2. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления режимами орошения

На основании разработанных функциональной блок-схемы задачи (рис. 2.2.) и формального аппарата для определения режимов орошения культур (параграф 2.2.) разработана блок-схема алгоритма решения задачи (рис. 3.2.) [74÷112].

Блоки 2÷6 предназначены для формирования и модификации нормативных и справочных файлов (SPRM01÷SPRM24) (наименования их приведено в параграфе 3.1.), на основании соответствующих нормативных и справочных документов (SPRD01÷SPRD24).

Блок 5 предназначен для сортировки сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01÷SPRM22).

Блок 7÷10 предназначены для формирования и модификации файла «Ежедневные метеоусловия» (OPERPOG) (хранимый до конца текущего года), т.е. до полного сбора (или гибели) урожая, по всем фермам, на основании соответствующего документа METEOD1 и нормативных и справочных файлов (SPRM01÷SPRM22) системы.

Блоки 11÷21 предназначены для:

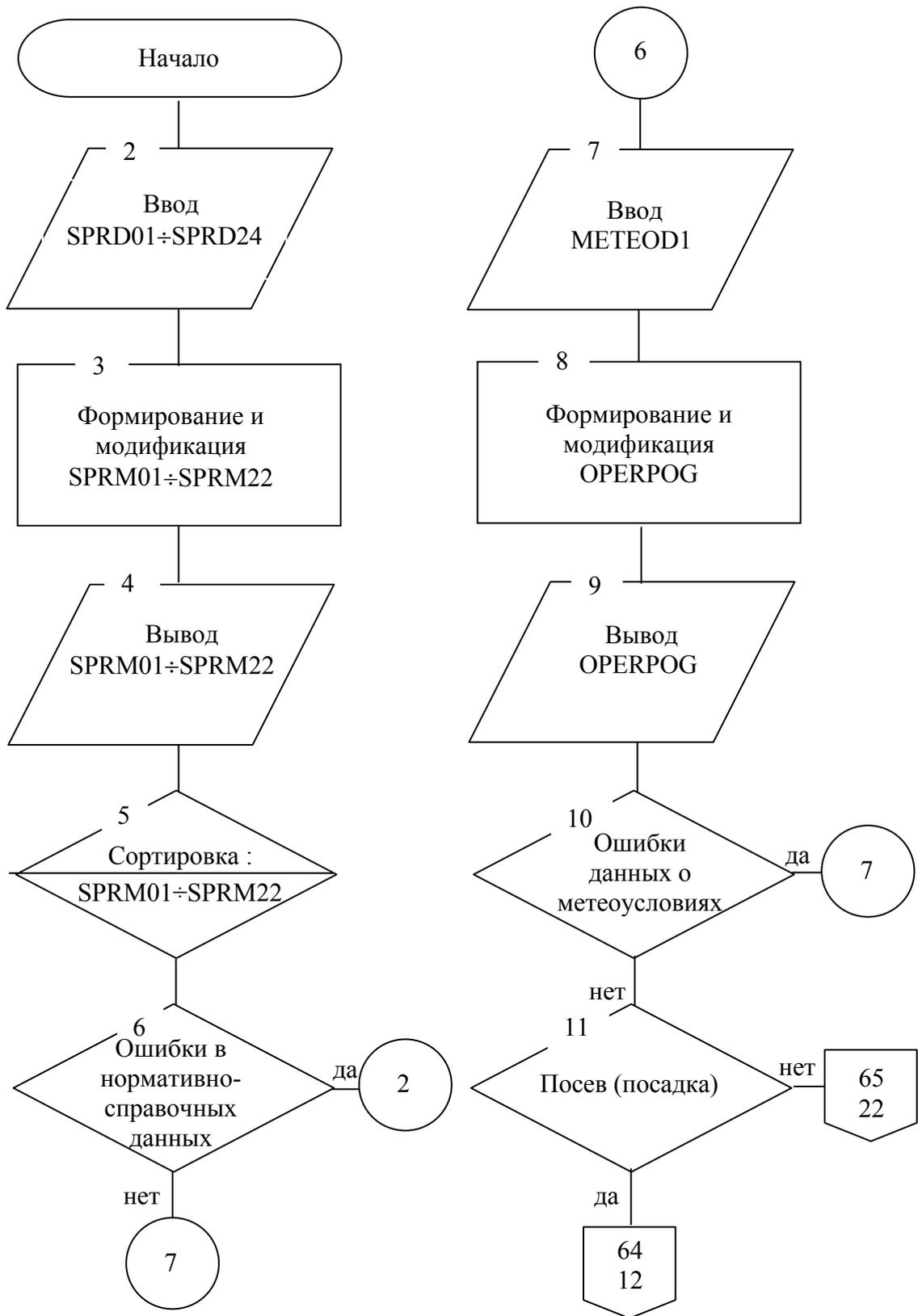


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи

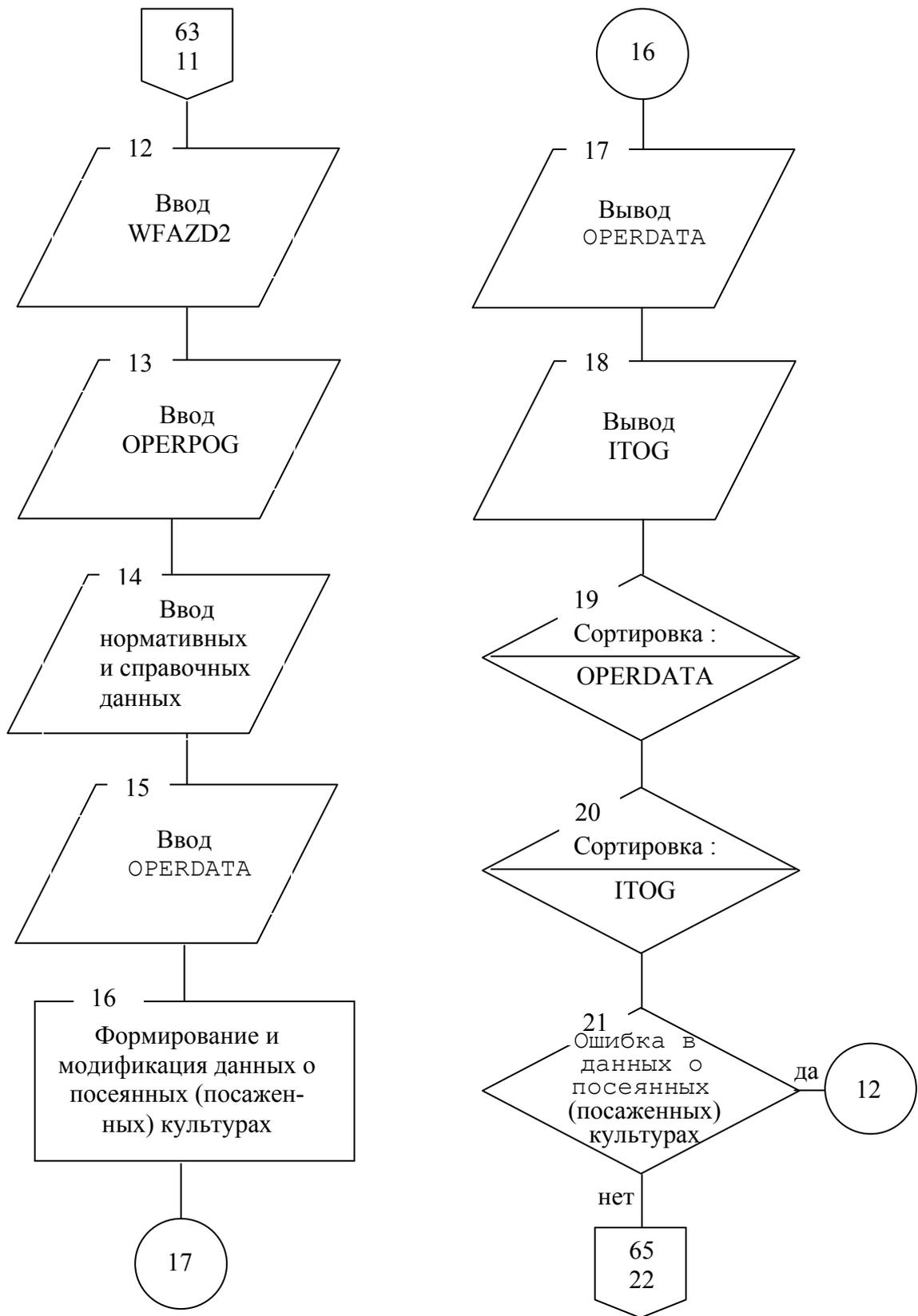


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

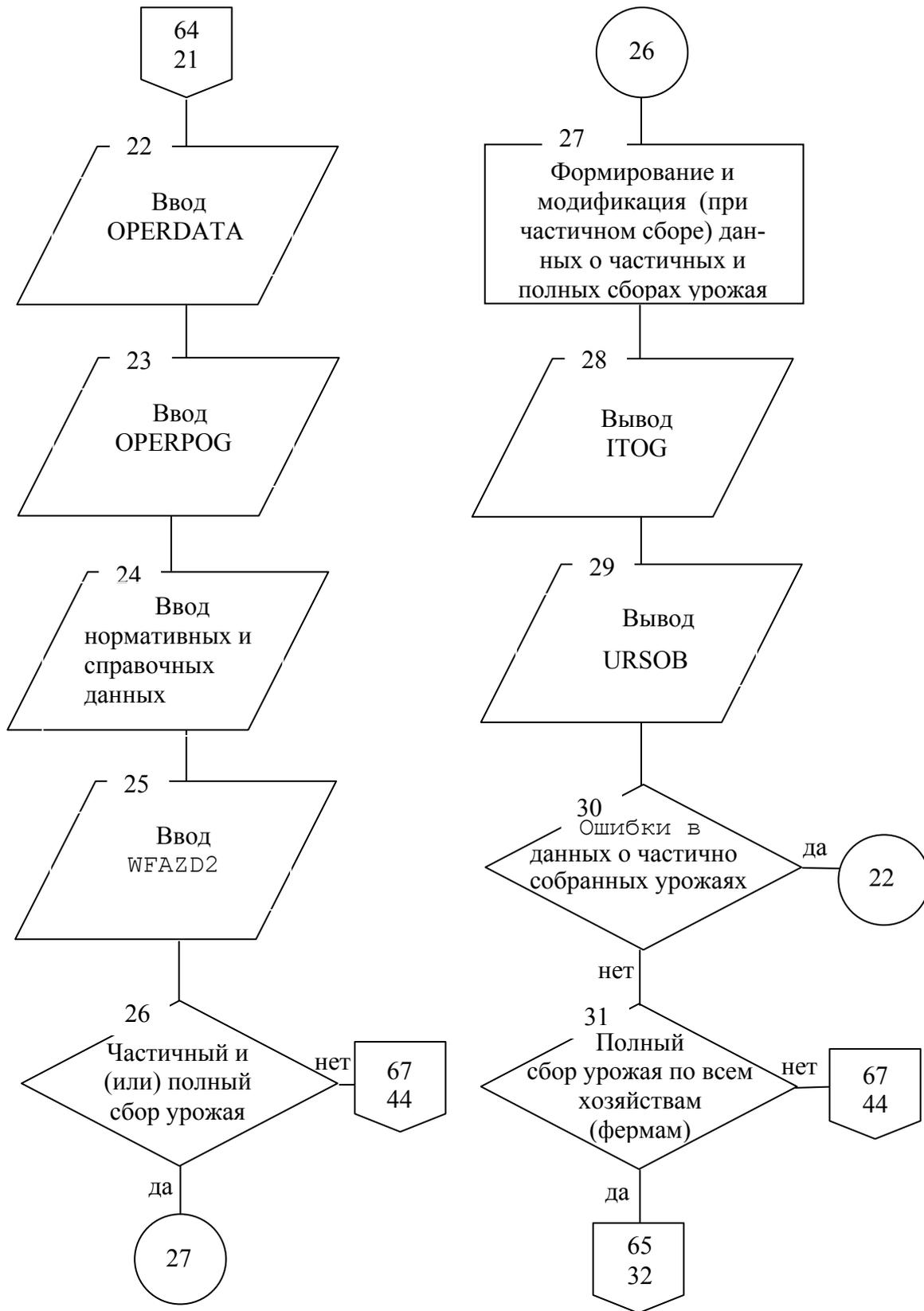


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

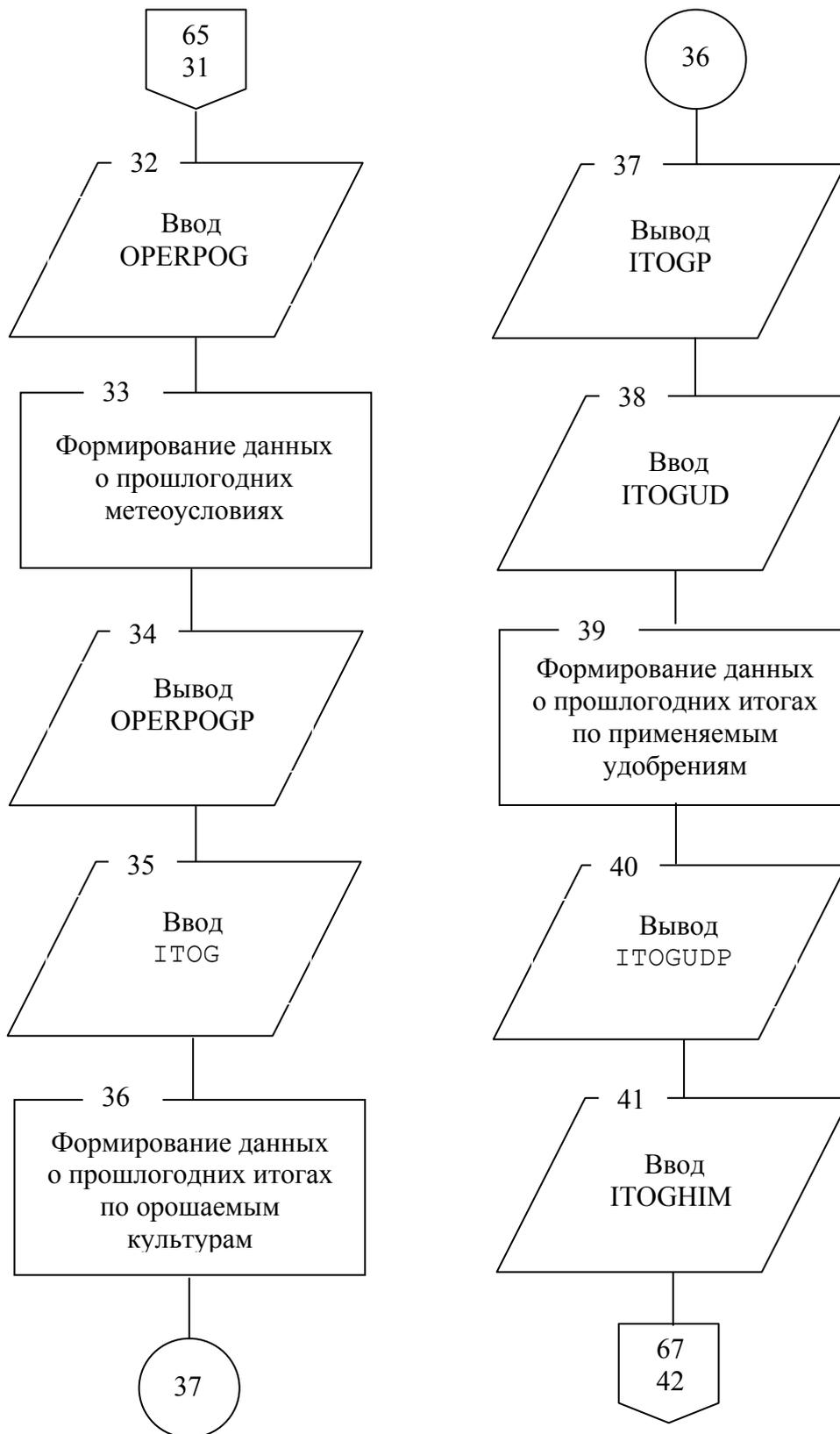


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

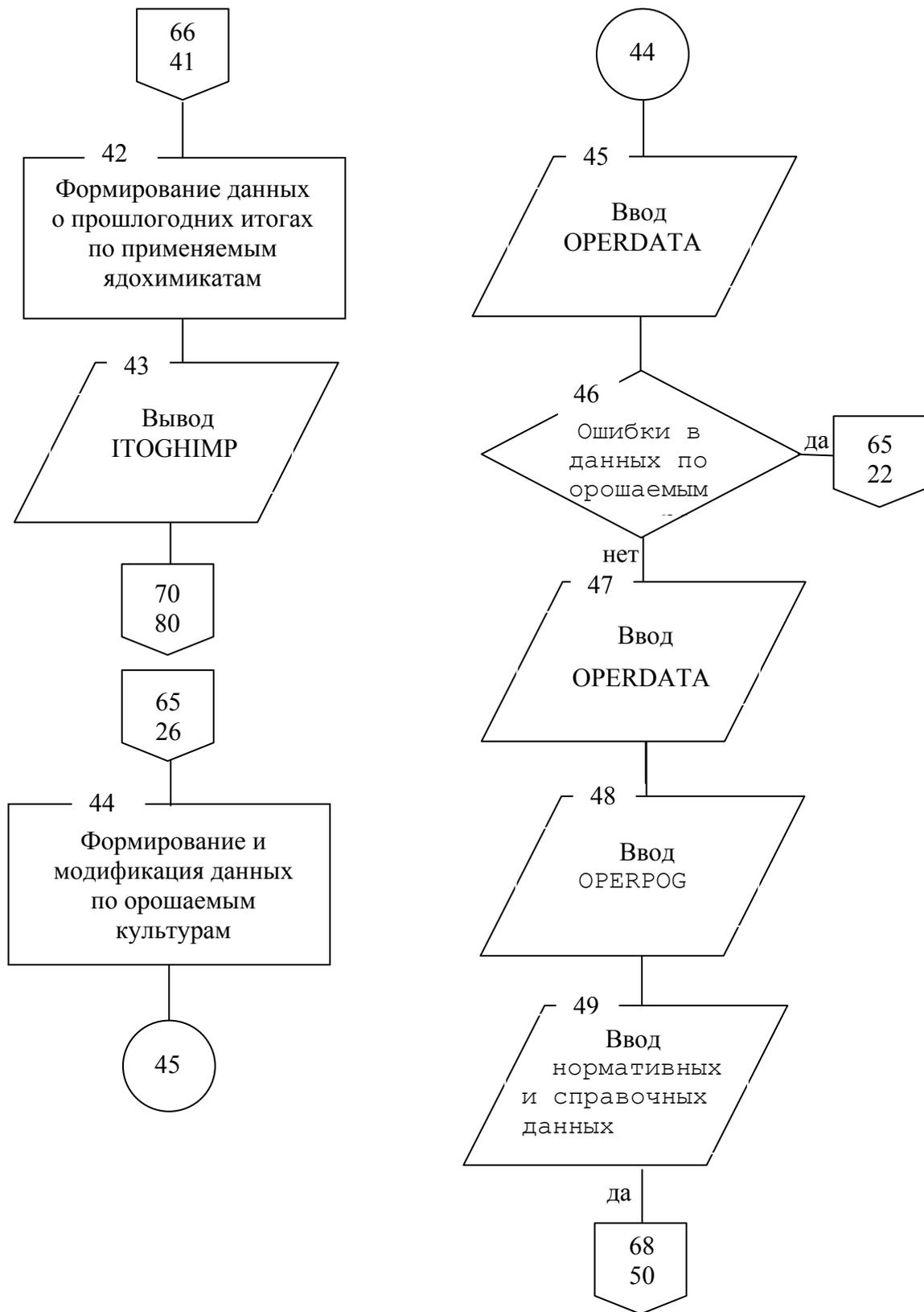


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

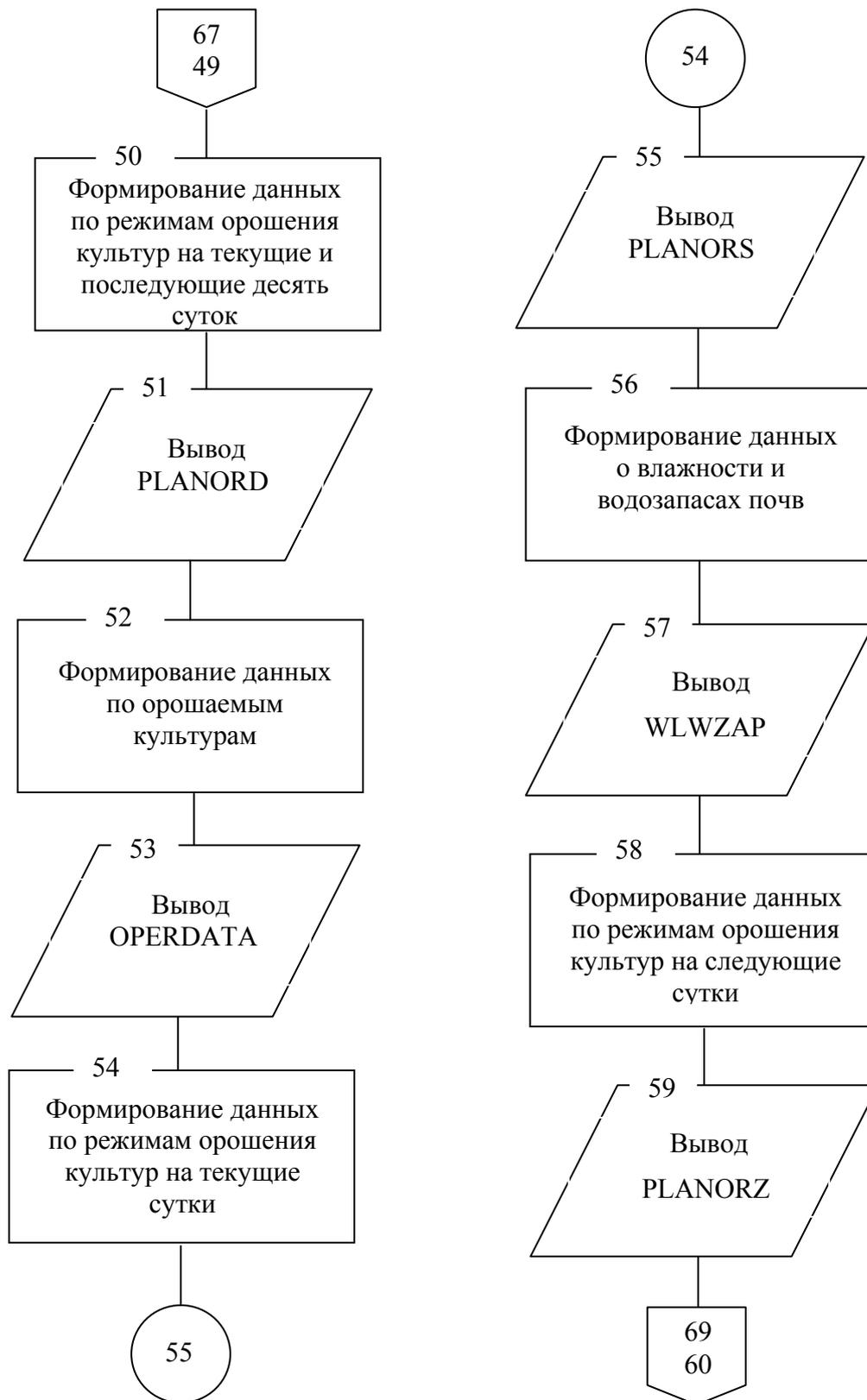


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

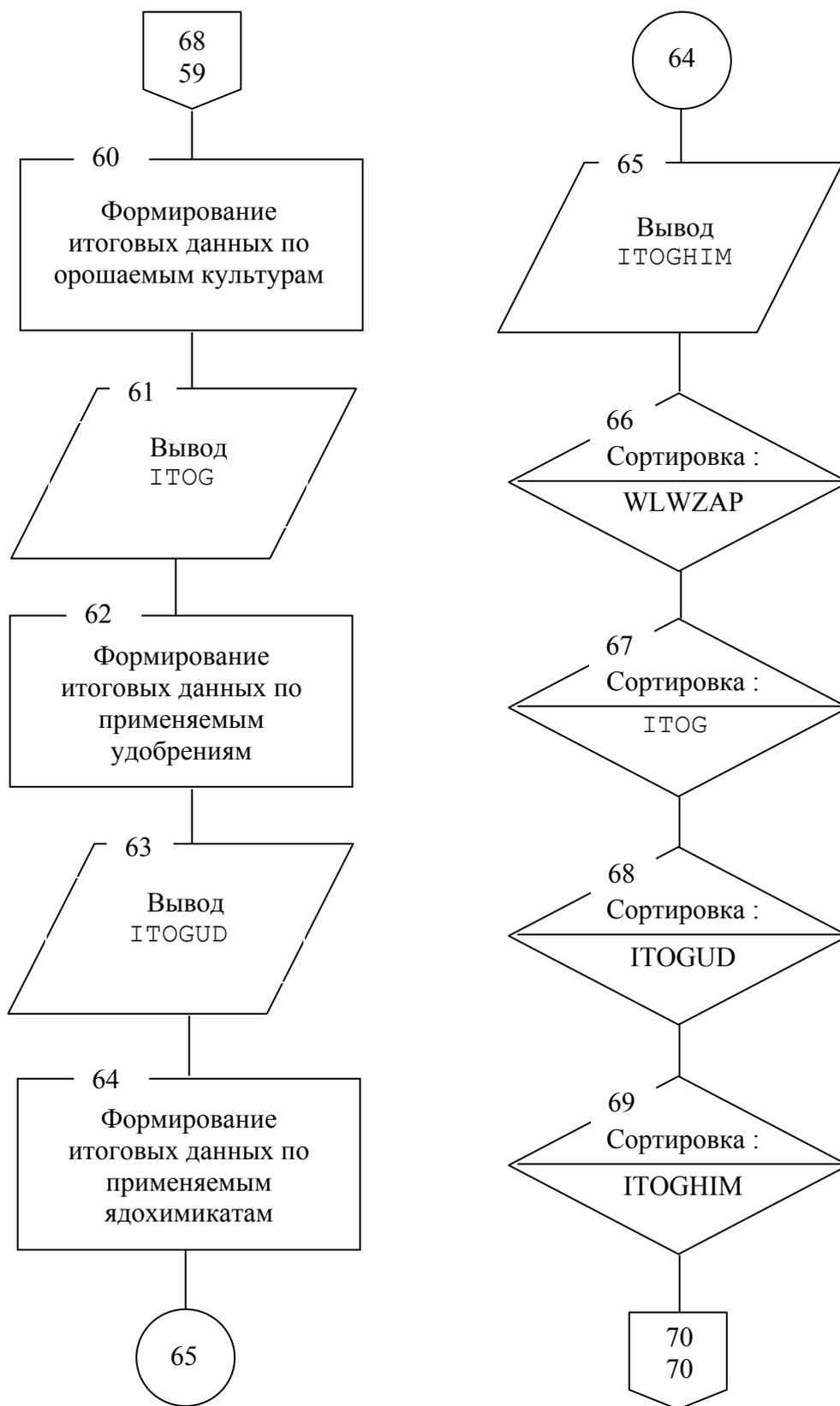


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

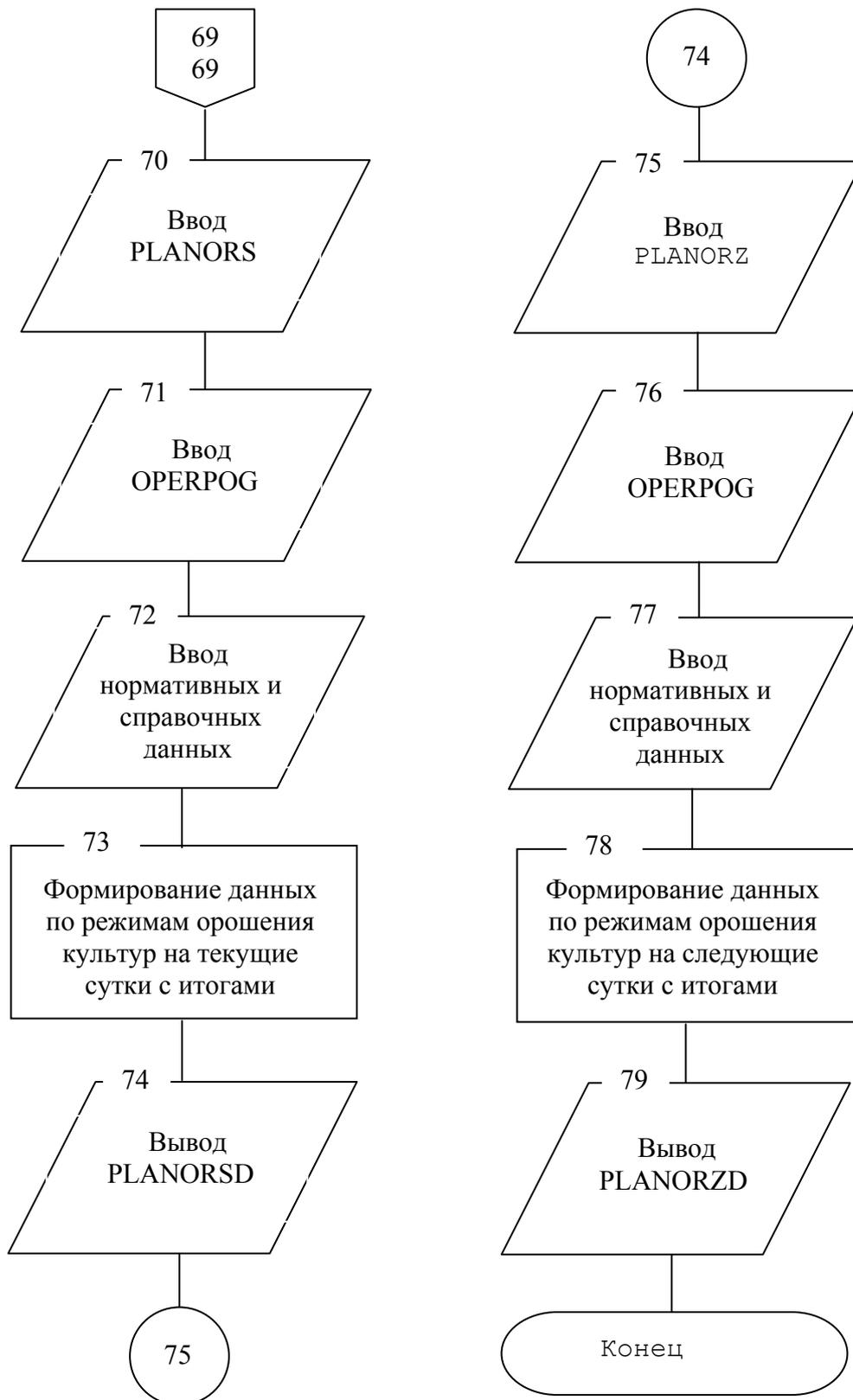


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритма решения задачи (продолжение)

а) формирования и модификации данных о посеянных (посаженных) культурах в файлах: «Данные по орошаемым культурам» (OPERDATA) и «Итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOG), на основании: соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии посеянных (посаженных) культурах); сформированного файла «Ежедневные метеоусловия» (OPERPOG); сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01, SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM09 и SPRM15) системы;

б) сортировки сформированных файлов OPERDATA и ITOG (блока 19 и 20 соответственно). Сформированные файлы OPERDATA и ITOG хранятся до конца текущего года, т.е. до полного сбора (или гибели) урожая, по всем фермам.

Блоки 22÷30; 44÷46 – предназначены для: формирования и модификации (при частичном сборе (или гибели) урожая) данных в файлах: «Данные по орошаемым культурам» (OPERDATA) и «Итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOG); формирования файла «Собранный урожай за день» (URSOB), на основании: сформированных файлов OPERDATA и OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»); соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии посеянных культурах в момент частичного и полного сбора (или гибели) урожая); сформированного справочного файла SPRM16 системы.

Блоки 22÷43 предназначены для:

а) формирования данных о полном сборе (или гибели) урожая (по всем фермам) в файлах «Итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOG), «Собранный урожай за день» (URSOB), на основании: сформированных файлов OPERDATA («Данные по орошаемым культурам»), OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»); соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии культур в момент полного сбора (или гибели) урожая (по всем фермам); сформированного справочного файла SPRM16 системы;

б) формирования итоговых данных в файлах: «Прошлогодние ежедневные метеоусловия» (OPERPOGP), «Прошлогодние итоги по применяемым удобре-

ниям» (ITOGUDP), «Прошлогодние итоги по применяемым ядохимикатам» (ITOGHIMP), на основании: сформированных файлов: OPERPOG, ITOG, ITOGUD («Итоговые данные по применяемым удобрениям») и ITOGHIM («Итоговые данные по применяемым ядохимикатам»);

Блоки 22÷26; 44÷69 – предназначены для:

а) формирования и модификации данных файла «Данные по орошаемым культурам» (OPERDATA); формирования данных файлов: «Итоговые данные по орошаемым культурам» (ITOG), «Итоговые данные по применяемым удобрениям» (ITOGUD) и «Итоговые данные по применяемым ядохимикатам» (ITOGHIM); печати документа (и вывода на экран монитора видеограммы) «Режимы орошения культур на текущие и последующие десять суток» (PLANORD) (расчёты выполняются на основании выражений 2.1÷2.98, параграф 2.1.); формирования данных файлов: «Режимы орошения культур на текущие сутки» (PLANORS), «Данные о влажности и водозапасах почв» (WLWZAP) и «Режимы орошения культур на следующие сутки» (OPERORZ), на основании: сформированных файлов OPERDATA, OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»); соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии культур по всем полям (участкам); влажности почв по всем полям (участкам) для каждой культуры за текущие сутки; используемых удобрений и ядохимикатов для каждой культуры, по всем полям (участкам), в течение текущих суток; проведённых поливов по всем полям (участкам) для каждой культуры, в течение текущих суток); сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01, SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM15, SPRM17, SPRM18 и SPRM21) системы;

б) сортировки сформированных файлов: WLWZAP, ITOG, ITOGUD и ITOGHIM. Сформированные файлы: WLWZAP, ITOGUD и ITOGHIM хранятся до конца текущего года, т.е. до полного сбора (или гибели) урожая по всем фермам.

Блоки 70÷79 предназначены для печати документов (и вывода на экран монитора видеограмм) «Режимы орошения культур на текущие сутки» (PLAN-

ORSD) и «Режимы орошения культур на следующие сутки» (PLANORZD), на основании сформированных файлов: PLANORS («Режимы орошения культур на текущие сутки») и PLANORZ («Режимы орошения культур на следующие сутки») соответственно (итоговые расчёты по каждой культуре выполняются на основании выражений 2.99 и 2.100, параграф 2.2.), а также сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01, SPRM03, SPRM05, SPRM07÷÷SPRM09) системы.

3.3. Программное обеспечение автоматизированной системы управления режимами орошения

На основании разработанной функциональной блок-схемы задачи (рис. 2.2.), блок-схемы алгоритма решения задачи (рис. 3.2.) и формального аппарата для определения режимов орошения культур (параграф 2.2.) разработаны следующие программы системы [74÷83]:

1. OROSH;
2. WMETEO;
3. WFAZ;
4. PLANOR;
5. PLANORS;
6. PLANORZ;

Программы написаны на основании системы управления базами данных Visual FoxPro 6.0, в которой реализованы все атрибуты реляционных СУБД; является объектно-ориентированным, визуально программируемым языком, и рассчитана на пользователей с разным уровнем подготовки.

Программа OROSH предназначена для:

а) реализации схемы диалоговых процедур (рис. 3.3.÷3.4.), необходимая для выполнения 45 различных работ системы;

б) организации безопасности системы, т.е. защиты данных системы (как

при выполнении программ, так и при использовании отдельных (хранимых) файлов системы, на основании трёхуровневой системы паролей; организации архивов работ (1. Кто из пользователей, с указанием даты и времени, работал в системе (SPRM24 «Протокол системы»); 2. Кто из пользователей, с указанием даты и времени, получил результаты задачи за текущие сутки (SPRM23 «Протокол результатов»)), необходимых для учёта, контроля и анализа выполненных работ в системе;

в) формирования, модификации (на основании соответствующих нормативных и справочных документов (SPRD01÷SPRD24) и вывода на экран монитора нормативных и справочных файлов (SPRM01÷SPRM24) системы (наименования их приведены в параграфе 3.1.).

г) вывода на экран монитора сформированных хранимых (накапливаемых) файлов (формируемых в результате выполнения программы: WMETEO (1-ый файл); PLANOR (2÷7; 12÷13 – файлы); OROSH (8÷11; 14÷17 – файлы)):

1. OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»);
2. WLWZAP («Данные о влажности и водозапасах почв»);
3. URSOB («Собранный урожай за день»);
4. OPERDATA («Данные по орошаемым культурам»);
5. ITOG («Итоговые данные по орошаемым культурам»);
6. ITOGUD («Итоговые данные по применяемым удобрениям»);
7. ITOGHIM («Итоговые данные по применяемым ядохимикатам»);
8. OPERPOGP («Прошлогодние ежедневные метеоусловия»);
9. ITOGP («Прошлогодние итоговые данные по орошаемым культурам»);
10. ITOGUDP («Прошлогодние итоги по применяемым удобрениям»);
11. ITOGHIMP («Прошлогодние итоги по применяемым ядохимикатам»);
12. SPRM25 («Протокол результатов»);
13. SPRM26 («Протокол системы»);
14. SPRM23 («Справочник работающих в системе»);
15. SPRM24 («Справочник системы»);

16. SPRM25P («Прошлогодний протокол результатов»);

17. SPRM23P («Прошлогодний справочник работающих в системе»);

д) сортировки сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM02, SPRM04, SPRM06, SPRM07, SPRM09÷SPRM18, SPRM21) системы;

е) подготовки системы (выполняется в первые рабочие сутки текущего года), которая заключается в выполнении следующих работ:

1) формировании хранимых (накапливаемых) файлов системы: ITOGP, ITOGUDP, ITOGHIMP, OPERPOGP, SPRM25P и SPRM23P – на основании файлов: ITOG, ITOGUD, ITOGHIM, OPERPOG, SPRM25 и SPRM23 соответственно;

2) удаление данных (записей) хранимых (накапливаемых) файлов: OPERPOG, WLWZAP, URSOB, OPERDATA, ITOG, ITOGUD, ITOGHIM, SPRM25 и SPRM26;

ж) загрузки и выполнении других программ системы (WMETEO, WFAZ, PLANOR, PLANORS и PLANORZ) для реализации необходимых, соответствующих, работ схемы диалоговых процедур, после выполнения которых управление возвращается программе OROSH. Данная программа выдаёт 41 подсказку в виде сообщений на экране монитора, необходимых для: модификации введённых данных; формирования и модификации данных в нормативных и справочных файлах: (SPRM01÷SPRM24) системы; выбора режимов работ.

Программа WMETEO предназначена для формирования и модификации файла OPERPOG («Ежедневные метеоусловия») (хранимый до конца текущего года, т.е. до полного сбора (или гибели) урожая по всем фермам, на основании соответствующего документа METEOD1 (с данными метеоусловий на текущие и (или без) следующие сутки), и нормативных и справочных файлов (SPRM19÷SPRM22). Данная программа выдаёт 25 подсказки в виде сообщений на экране монитора, необходимых для: подтверждения введённых данных на текущие и (или без) следующие сутки; модификации введённых данных; модификации данных в нормативных и справочных файлах (SPRM19÷SPRM22) сис-

темы; мониторинга в соответствующем районе.

Программа WFAZ предназначена для:

а) формирования и модификации данных о посеянных (посаженных) культурах в файлах: OPERDATA («Данные по орошаемым культурам») и ИТОГ («Итоговые данные по орошаемым культурам»), на основании: соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии посеянных (посаженных) культурах); сформированного файла OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»); сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01, SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM09 и SPRM15) системы;

б) формирования и модификации (при частичном сборе (или гибели) урожая) данных о частичных и полных сборах (или гибели) урожая в файлах OPERDATA и ИТОГ, формирования файла URSOB («Собранный урожай за день»), на основании: сформированных файлов OPERDATA, OPERPOG; соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии культур в момент частичного и полного сбора (или гибели) урожая; сформированного справочного файла SPRM16 системы;

в) формирования данных о полном сборе (или гибели) урожая по всем фермам в файлах ИТОГ и URSOB, на основании: сформированных файлов OPERDATA, OPERPOG; соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии культур в момент полного сбора (или гибели) урожая по всем фермам); сформированного справочного файла SPRM16 системы;

г) формирования и модификации данных файла OPERDATA и формирования данных файла ИТОГ, на основании: сформированных файлов OPERDATA, OPERPOG; соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии культур по всем полям (участкам); влажности почв по всем полям (участкам) для каждой культуры; используемых удобрений и ядохимикатов для каждой культуры, по всем полям (участкам), в течение текущих суток; проведённых поливов, по всем полям (участкам) для каждой культуры, в течение текущих суток); нормативных и справочных сформированных файлов (SPRM01, SPRM03, SPRM05,

SPRM07÷SPRM15, SPRM17, SPRM18 и SPRM21);

д) сортировки сформированных файлов OPERDATA и ИТОГ. Файлы OPERDATA и ИТОГ хранятся до конца текущего года, т.е. до полного сбора (или гибели) урожая по всем фермам.

Данная программа выдаёт 58 подсказок в виде сообщений на экране монитора, необходимых для: подтверждения введённых данных; модификации введённых данных; формирования и модификации данных в хранимом (накапливаемом) файле OPERPOG, и нормативных и справочных файлах (SPRM01, SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM09, SPRM15÷SPRM18) системы.

Программа PLANOR предназначена для:

а) формирования и модификации данных хранимого (накапливаемого) файла OPERDATA («Данные по орошаемым культурам»); формирования данных хранимых (накапливаемых) файлов: ИТОГ («Итоговые данные по орошаемым культурам»), ИТОГUD («Итоговые данные по применяемым удобрениям») и ИТОГНМ («Итоговые данные по применяемым ядохимикатам»); печати документа (и вывода на экран монитора видеодиаграммы) PLANORD («Режимы орошения культур на текущие и последующие десять суток») (расчёты выполняются на основании выражений 2.1÷2.101, параграф 2.2.); формирования данных файлов: PLANORS («Режимы орошения культур на текущие сутки»), WLWZAP («Данные о влажности и водозапасах почв») и OPERORZ («Режимы орошения культур на следующие сутки»), на основании: сформированных файлов OPERDATA, OPERPOG («Ежедневные метеоусловия»); сформированных нормативных и справочных файлах (SPRM01, SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM15, SPRM17, SPRM18 и SPRM21) системы; соответствующего документа WFAZD2 (о состоянии культур по всем полям (участкам); влажности почв по всем полям (участкам) для каждой культуры, за текущие сутки; используемых удобрений и ядохимикатов для каждой культуры, по всем полям (участкам), в течение текущих суток; проведённых поливов по всем полям (участкам) для каждой культуры, в течение текущих суток);

б) сортировки сформированных файлов: ITOG, WLWZAP, ITOGUD и ITOGNIM.

Данная программа выдаёт 12 подсказок в виде сообщений на экране монитора, необходимых для: подтверждения введённых данных; модификации введённых данных; модификации данных в нормативных и справочных файлах (SPRM01÷SPRM15, SPRM017, SPRM18 и SPRM21) системы; выбора режима работы программы (вывод на экран монитора или принтер).

Программа PLANORS предназначена для печати документа (и вывода на экран монитора видеограммы) PLANORS («Режимы орошения культур на текущие сутки») (итоговые расчёты по каждой культуре выполняются на основании выражений 2.102 и 2.103, параграф 2.2.) на основании сформированных файлов PLANORS («Режимы орошения культур на следующие сутки»), а также сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01÷SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM09) системы. Данная программа выдаёт 4 подсказки в виде сообщений на экране монитора, необходимых для: выбора режима работы программы (вывод на экран монитора или принтер); необходимости выполнения программы PLANOR (если она не была выполнена и не был сформирован файл PLANORS).

Программа PLANORZ предназначена для печати документа (и вывода на экран монитора видеограммы) PLANORD («Режимы орошения культур на следующие сутки») (итоговые расчёты по каждой культуре выполняются на основании выражений 2.102 и 2.103, параграф 2.2.), на основании сформированных файлов PLANORZ («Режимы орошения культур на следующие сутки»), а также сформированных нормативных и справочных файлов (SPRM01÷SPRM03, SPRM05, SPRM07÷SPRM09) системы. Данная программа выдаёт 4 подсказки в виде сообщений на экране монитора, необходимых для: выбора режима работы программы (вывод на экран монитора или принтер); необходимости выполнения программы PLANOR (если она не была выполнена и не был сформирован файл PLANORZ).

3.4. Организация диалоговой реализации автоматизированной системы управления режимами орошения

Схема диалоговых процедур разработана на основании функциональной блок-схемы (рис. 2.2., параграф 2.1.) и блок-схемы алгоритма решения задачи (рис. 3.2., параграф 3.2.) [74÷83]. Для реализации схемы диалоговых процедур разработан сценарий диалога, описывающий последовательность сообщений (подсказок) идущих от компьютера к пользователю и ответов от пользователя к компьютеру. Программа OROSH, в результате выполнения: основного меню (режим 1÷режим 6) (рис. 3.4.), меню 3 (меню справочников: режим 1÷режим 22) (рис. 3.7.), меню 4 (меню вывода накапливаемых данных: режим 1÷режим 12) (рис. 3.8.), меню 5 (меню архива работ: режим 1÷режим 9) (рис. 3.9.) – выдаёт 41 сообщение (подсказку), необходимые для: модификации введённых данных; формирования и модификации нормативных и справочных данных; выбора режимов работ. Программа WMETEO, в результате выполнения: меню 1 (меню ввода ежедневных данных: режим 1, режим 3) (рис. 3.5.) – выдаёт 25 сообщений (подсказок), необходимых для: подтверждения введённых данных на текущие и (или без) следующие сутки; модификации введённых данных в нормативных и справочных файлах системы; мониторинга в соответствующем районе. Формы ввода ежедневных метеоусловий приведены на рис. 3.10. (на текущие сутки) и рис. 3.11. (на текущие и следующие сутки). Программа WFAZ, в результате выполнения: меню 1 (меню ввода ежедневных данных: режим 2, режим 3) (рис. 3.10.) – выдаёт 58 сообщений (подсказок), необходимых для: подтверждения введённых данных на текущие и (или без) следующие сутки; модификации введённых данных; формирования и модификации данных в хранимом (накапливаемом) файле «Ежедневные метеоусловия», и нормативных и справочных файлах системы. Программа PLANOR, в результате выполнения меню 2 (меню ввода данных по режимам орошения: режим 1, режим 4) (рис. 3.6.), выдаёт 12 сообщений

(подсказок), необходимых для: подтверждения введённых данных; модификации данных в нормативных и справочных файлах системы; выбора режима работы программы (вывод на экран монитора или принтера. Программа PLANORS, в результате выполнения меню 2 (меню вывода данных по режимам орошения: режим 2, режим 4) (рис. 3.6.) – выдаёт 4 сообщения (подсказки), необходимые для: выбора режима работы программы (вывод на экран монитора или принтер); необходимости выполнения программы PLANOR (если она не была выполнена). Программа PLANORZ, в результате выполнения меню 2 (меню вывода данных по режимам орошения: режим 3, режим 4) (рис. 3.6.), выдаёт 4 сообщения (подсказки), необходимые для: выбора режима работы программ (вывод на экран монитора или принтера); необходимости выполнения программы PLANOR (если она не была выполнена).

Разработанный для реализации схемы диалоговых процедур язык общения с пользователями (словарный состав и синтаксис сообщений (подсказок)) рассчитан на пользователей с различной степенью подготовленности. Диалог с пользователем ведётся с помощью подсказок (сообщений) со стороны компьютера с форматированным вводом и выводом в режиме «меню». Пользователь может прервать работу системы в любой момент и на любом месте, а также продолжить диалог с необходимого места. В системе: обеспечена защита информации от несанкционированного доступа (на основании системы паролей (системы и пользователей)); автоматически, в результате выполнения соответствующих работ (режимов), формируются копии хранимых (накапливаемых) файлов; организован архив работ в виде файлов «Протокол результатов» и «Протокол системы» (меню 5 (меню архива работ: режим 1, режим 2); рис. 3.9.).

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ОРОШЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

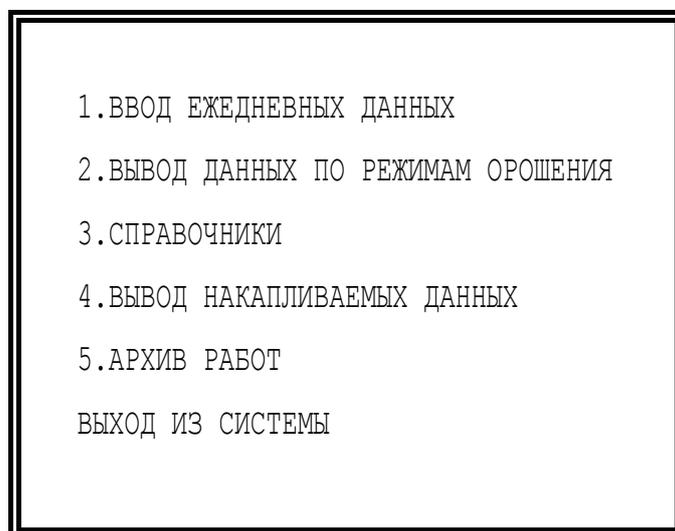


Рис. 3.4. Основное меню

ВВОД ЕЖЕДНЕВНЫХ ДАННЫХ

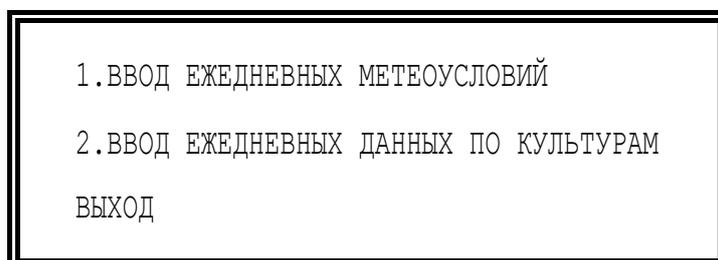


Рис. 3.5. Меню ввода ежедневных данных

ВЫВОД ДАННЫХ ПО РЕЖИМАМ ОРОШЕНИЯ

1. РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ ПО ХОЗЯЙСТВАМ
2. РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ ПО ХОЗЯЙСТВАМ НА ТЕКУЩИЕ СУТКИ
3. РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ ПО ХОЗЯЙСТВАМ НА СЛЕДУЮЩИЕ СУТКИ
- ВЫХОД

Рис. 3.6. Меню вывода данных по режимам орошения

СПРАВОЧНИКИ

1. ОРОШАЕМЫХ ХОЗЯЙСТВ (ФЕРМ)
2. НАИМЕНОВАНИЙ ХОЗЯЙСТВ (ФЕРМ)
3. ОРОШАЕМЫХ ПОЛЕЙ (УЧАСТКОВ) ПО ХОЗЯЙСТВАМ (ФЕРМАМ)
4. ВЛАДЕЛЬЦЕВ ПОЛЕЙ (УЧАСТКОВ) ПО ХОЗЯЙСТВАМ (ФЕРМАМ)
5. ВЫРАЩИВАЕМЫХ КУЛЬТУР ПО ПОЛЯМ (УЧАСТКАМ)
6. НАИМЕНОВАНИЙ КУЛЬТУР И ИХ ФАЗ
7. ТИПОВ ПОЧВ
8. УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД ПО ПОЛЯМ (УЧАСТКАМ)
9. УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД
10. ПОДПИТЫВАНИЙ ПО УРОВНЯМ ГРУНТОВЫХ ВОД И ИСПОРЯЕМОСТЯМ
11. ПОДПИТЫВАНИЙ ПО КУЛЬТУРАМ
12. ПОТЕРЬ ВОД ПО ПОЛЯМ (УЧАСТКАМ)
13. ЗАСОЛЕННОСТЕЙ ПОЧВ
14. ОСАДКОВ
15. СПОСОБОВ ОРОШЕНИЯ
16. СБОРА (ИЛИ ГИБЕЛИ) УРОЖАЯ
17. УДОБРЕНИЙ
18. ЯДОХИМИКАТОВ
19. НОРМ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ
20. СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ
21. ПОГОДА
- ВЫХОД

Рис. 3.7. Меню справочников

ВЫВОД НАКАПЛИВАЕМЫХ ДАННЫХ

- 1.ЕЖЕДНЕВНЫХ МЕТЕОУСЛОВИЙ
 - 2.ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВ И ЗАПАСЫ ВОДЫ
 - 3.СОБРАННОГО УРОЖАЯ ЗА ДЕНЬ
 - 4.ПО ОРОШАЕМЫМ КУЛЬТУРАМ
 - 5.ИТОГОВ ПО ОРОШАЕМЫМ КУЛЬТУРАМ
 - 6.ИТОГОВ ПО ПРИМЕНЯЕМЫМ УДОБРЕНИЯМ
 - 7.ИТОГОВ ПО ПРИМЕНЯЕМЫМ ЯДОХИМИКАТАМ
 - 8.ПРОШЛОГОДНИХ ЕЖЕДНЕВНЫХ МЕТЕОУСЛОВИЙ
 - 9.ПРОШЛОГОДНИХ ИТОГОВ ПО ОРОШАЕМЫМ КУЛЬТУРАМ
 - 10.ПРОШЛОГОДНИХ ИТОГОВ ПО ПРИМЕНЯЕМЫМ УДОБРЕНИЯМ
 - 11.ПРОШЛОГОДНИХ ИТОГОВ ПО ПРИМЕНЯЕМЫМ ЯДОХИМИКАТАМ
- ВЫХОД

Рис. 3.8. Меню вывода накапливаемых данных

ИВ РАБОТ

- 1.ПРОТОКОЛ РЕЗУЛЬТАТОВ
 - 2.ПРОТОКОЛ СИСТЕМЫ
 - 3.СПРАВОЧНИК РАБОТАЮЩИХ В СИСТЕМЕ
 - 4.СПРАВОЧНИК СИСТЕМЫ
 - 5.КАЛЕНДАРЬ ГОДА (ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР)
 - 6.ПРОШЛОГОДНИЙ ПРОТОКОЛ РЕЗУЛЬТАТОВ
 - 7.ПРОШЛОГОДНИЙ СПРАВОЧНИК РАБОТАЮЩИХ В СИСТЕМЕ
 - 8.ПОДГОТОВКА СИСТЕМЫ
- ВЫХОД

Рис. 3.9. Меню архива работ

ВВОД ЕЖЕДНЕВНЫХ МЕТЕОУСЛОВИЙ

ВВЕДИТЕ СЛЕДУЮЩИЕ ДАННЫЕ :

ДАТА (чч/мм/гг) ----->	15/03/06
РАДИАЦИЯ (mkSV, mkGR) ----->	0.13
ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА (С°) ----->	19.2
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА (%) ----->	72
ОСАДКИ (мм) ----->	0
КОД ПОГОДЫ ----->	4
ОБЛАЧНОСТЬ (1), БЕЗОБЛАЧНОСТЬ (2) ----->	2
СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ (ккал/м ²) ----->	22.8

Рис. 3.10. Форма ввода ежедневных метеоусловий на текущие сутки

ВВОД ЕЖЕДНЕВНЫХ МЕТЕОУСЛОВИЙ

ВВЕДИТЕ СЛЕДУЮЩИЕ ДАННЫЕ :

ДАТА (чч/мм/гг) ----->	15/03/06
РАДИАЦИЯ (mkSV, mkGR) ----->	0.13
ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА (°С) ----->	19.2
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА (%) ----->	72
ОСАДКИ (мм) ----->	0
КОД ПОГОДЫ ----->	4
ОБЛАЧНОСТЬ (1), БЕЗОБЛАЧНОСТЬ (2) ----->	2
СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ (ккал/м ²) ----->	22.8
ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА (°С) на завтра ----->	20.0
ОТН. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА (%) на завтра ----->	71
ОСАДКИ на завтра: да (1) или нет (2) -->	2

Рис. 3.11. Форма ввода ежедневных метеоусловий
на текущие и следующие сутки

ВВЕДИТЕ :

КОД ХОЗЯЙСТВА -----> 12
КОД ПОЛЯ -----> 3
КОД ТИПА ПОЧВЫ -----> 17
КОД УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД -----> 9
ДАТА ПОСЕВА (ПОСАДКИ) -----> 15/10/95
КОД КУЛЬТУРЫ -----> 8
КОД СПОСОБА ОРОШЕНИЯ -----> 3
ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ (СР.ПЕРВОНАН.) -----> 0.00

Рис. 3.12. Форма ввода данных по посеянным (посаженным)
культурам

Литература

1. Автоматизация водопотребления// Сб. научных трудов.–Фрунзе: Илим, 1982.-189 с.
2. Автоматизация водопотребления и полива// Сб. научных трудов.–Фрунзе: Илим, 1984.-207 с.
3. Айдаров И. П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель.–М.: Агропромиздат, 1985.-126 с.
4. Айдаров И. П., Голованов А.И. Мелиоративный режим орошаемых земель и пути его улучшения// Гидротехника и мелиорация.–1986. №8. с. 44-47.
5. Айдаров И. П., Голованов А.И. и др. Оросительные мелиорации.–М.: Колос, 1982.-176 с.
6. Айдаров И. П. и др. Орошение; Под ред. Шумакова Б.Б.–М.: Колос, 1990.-414 с.
7. Акимов В.А., Вакулин А.А. и др. Борьба с эрозией почв.–М.: ВО «Агропромиздат», 1988.-48 с.
8. Анисимов В.А., Губер К.В. и др. Справочник мелиоратора.–М.: Россельхозиздат, 1980.-255 с.
9. Артемьева З.Н. и др. Мелиорация и урожай. Технология и механизация круглогодичного строительства оросительных систем.–Л.: Лениздат, 1980.-214 с.
10. Багров М.Н., Кружилин И.П. Сельскохозяйственная мелиорация.–М.: Агропромиздат, 1985.-271 с.
11. Безднина С.Я. Оптимальные параметры мелиоративного режима почв// Гидротехника и мелиорация.–1986. №11. с. 58-63.
12. Буачидзе В.М. Способы орошения в горных и предгорных условиях// Гидротехника и мелиорация.–1980. №5. с. 47-51.

13. Будыко М.И. Исследование изменений климата и влагооборота// Труды гидролог. ин-та.–Л.: Гидрометеиздат, 1989.-с. 112.
14. Вавилов В.В. и др. Сельскохозяйственная мелиорация// Сб. статей.–М.: Моск. гидромелиор. ин-т, 1974.-с. 185.
15. Вальтер А.К., Заключобовский И.И. Ядерная физика: Учебник.–Харьков: Основа, 1991.-479 с.
16. Воронин Н.Г. Орошаемое земледелие: Уч. пособие.–М.: Агропромиздат, 1989.-336 с.
17. Герфас В.И., Беренштейн И.Б. и др. Эффект орошения.–М.: ВО «Агропромиздат», 1987.-72 с.
18. Голованов А.И. Оптимизация оперативного планирования поливов// Гидротехника и мелиорация.–1987. №10. с. 37-42.
19. Голованов А.И., Балан А.Г. и др. Мелиоративное земледелие: Учебник.–М.: Агропромиздат, 1986.-328 с.
20. Данильченко Н.В., Аванесян И.М. Нормы орошения сельскохозяйственных культур в нечернозёмной зоне России// Гидротехника и мелиорация.–1984. №3. с. 49-54.
21. Данильченко Н.В. Планирование и реализация режимов орошения при инженерном водопотреблении// Гидротехника и мелиорация.–1987. №4. с. 40-43.
22. Емельянов В.А. Способы измерения влажности почв при орошении// Гидротехника и мелиорация.–1983. №2. с. 56-60.
23. Ерхов Н.С., Дьяченко А.Е. Сельскохозяйственная мелиорация, лесоводство и водоснабжение: Уч. пособие.–М.: Колос, 1980.-240 с.
24. Ерхов Н.С., Ильин Н.И. и др. Мелиорация земель.–М.: Агропромиздат, 1991.-319 с.
25. Ерхов Н.С., Лисенко В.С. и др. Сельскохозяйственная мелиорация и водоснабжение.–М.: Колос, 1983.-351 с.
26. Ионова В.М., Бойко С.Н. Основные достижения в применении капель-

ного орошения.–М.: ВНИИТЭИСХ, 1985.-65 с.

27. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадания после ядерных взрывов аварий.–Санкт-Петербург, СПИФ, 1996.-76 с.

28. Катамадзе Н.М., Кучава Н.Е. и др. Оценки максимальной дозы в-д-облучения населения Тбилиси после аварии на Чернобыльской АЭС// Известия АН Грузии; Серия. биологическая.–1996. т. 21. №1-6. с. 189-195.

29. ქათამაძე ნ. ბირთვული ენერგეტიკის რადიოეკოლოგიური პრობლემების რადიაციული გამოკვლევები; ტ. IX.-თბილისი: მეცნიერება, 2000.-გვ. 126-193.

30. Кириллов А.Ф., Кушниренко М.Д. Экспресс-методы диагностики жаро,-засухоустойчивости и сроков полива растений.–Кишинёв: Штиница, 1986.-36 с.

31. Коваленко П.И., Остапчук В.П. Расчёт водопотребления сельскохозяйственных культур при планировании режимов орошения// Гидротехника и мелиорация.–1987. №2. с. 38-43.

32. Колпаков В.В., Сухарёв И.П. Сельскохозяйственные мелиорации: Учебник; Под ред. Сухарёва И.П.–М.: Агропромиздат, 1988.-320 с.

33. Константинов А.Г., Струпников Э.А. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения// Гидротехника и мелиорация.–1986. №1.-с. 19-28.

34. Константинов А.Г., Струпников Э.А. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения// Гидротехника и мелиорация.–1982. №2.-с. 33-42.

35. Константинов А.Г., Струпников Э.А. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения// Гидротехника и мелиорация.–1982. №3.-с. 37-44.

36. Кореньков Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений.–М.: Россельхозиздат, 1985.-221 с.

37. Коровьков А.А., Гаврилов К.А. и др. Справочник агрохимика; Сост. Кореньков Д.А.–М.: Россельхозиздат, 1980.-286 с.

38. Левант М.Л. Атомная и ядерная физика и её применение в сельском хозяйстве: Метод. пособие.–Новосибирск: Новосиб. с-х ин-т, 1984.-75 с.

39. Льгов Г.К. Орошаемое земледелие: Уч. пособие.–М.: Агропромиздат,

1987.-176 с.

40. Лысогоров С.Д., Ушкоренко В.А. Орошаемое земледелие: Учебник.– М.: Колос, 1981.-384 с.

41. Мартыненко Г.Н., Гуткин В.Л. и др. Сельскохозяйственная мелиорация и основы геодезии.– М.: Агропромиздат, 1988.-304 с.

42. Маслов Б.С. Сельскохозяйственная мелиорация: Учебник.–М.: Колос, 1984.-512 с.

43. Маслов Б.С., Микаев И.В. и др. Справочник по мелиорации.–М.: Росагропромиздат, 1989.-384 с.

44. Мелиоративные и гидролого-климатические расчёты и характеристики// Сб. научных статей.–Омск: Омский сельск. ин-т., 1989.-64 с.

45. Мелиорация: Учебник.–М.: ВО «Агропромиздат», 1988.-240 с.

46. Мелиорация земель в системе агропромышленного комплекса// Сб. научных трудов; Отв. ред. Шулискова А.–М.: Агропромиздат, 1985.-152 с.

47. Мелиорация и водное хозяйство: Справочник.–М.: Агропромиздат, 1984.-230 с.

48. Мелиорация и водное хозяйство: Справочник; Под ред. Балаева Л.Г.– М.: Колос, 1984.-344 с.

49. Мелиорация и водное хозяйство: Справочник; Под ред. Шумакова Б.Б. – М.: Агропромиздат, 1990.-415 с.

50. Мелиорация: Энцикл. справ.; Под ред. Мурашко А.И.–Минск: Белорус. сов. энцикл., 1984.-567 с.

51. Михайлов В.М., Крафт С.Е. Ядерная физика: Уч. пособие.–Л.: ЛГУ, 1988.-327 с.

52. Михальцевич А.И. Расчёт испаряемости при определении режимов орошения// Гидротехника и мелиорация. 1986. №6. с. 33-34.

53. Михальцевич А.И. Унифицированная формула для расчёта испарения с орошаемых площадей// Мелиорация и водное хозяйство. 1992. №9-12. с. 39-40.

54. Нерсесов Э.А. Основные законы атомной и ядерной физики: Уч. посо-

бие.–М.: Высшая школа, 1988.-287 с.

55. Остапов В.И., Василенко Н.И. и др. Научно-обоснованные системы орошаемого земледелия.–Киев: Урожай, 1987.-192 с.

56. Остапов В.И., Лактионов Б.И. и др. Справочник по орошаемому земледелию; Под. ред. Остапова В.И.–Киев: Урожай, 1984.-227 с.

57. Остапчик В.П. Методика расчёта испарения почвой при орошении// Вестник сельскох. науки. 1981. №2. с. 49-53.

58. Остапчик В.П., Филипненко Л.А. и др. Биоклиматический метод расчёта испарения с орошаемых полей// Гидротехника и мелиорация. 1980. №1. с. 39-41.

59. Прукин В.Л. и др. Сельскохозяйственная мелиорация и основы геодезии: Учебник.–М.: Агропромиздат, 1988.-302 с.

60. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. Т. 1.–Л: Гидрометеоздат, 1984.-310 с.

61. Савухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика: Уч. пособие.–М.: Наука, 1989.-416 с.

62. Собко А.А. Программирование урожаев – в основу прогрессивных технологий.–Киев: Урожай, 1984.-152 с.

63. Современное состояние и развитие методов агрометеорологических прогнозов// Сб. статей; Под ред. Улановой Е.С.–М.: Гидрометеоздат, 1980.-129 с.

64. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1988 Report to the General Assembly. With annexes.–New-York, 1988.

65. Справочник агронома по удобрению.–М.: Россельхозиздат, 1985.-760 с.

66. Справочник агрохимика.–М.: Россельхозиздат, 1980.-288 с.

67. Справочник по орошаемому земледелию; Под ред. Остапова В.И.–Киев: Урожай, 1984.-84 с.

68. Стельмах Е.А. Расчет водопотребления сельскохозяйственных куль-

тур при различном уровне их урожайности// Мелиорация и водное хозяйство. 1991. №7-12. с. 33-36.

69. Тепловой баланс Земли: Под ред. Будыко М.И.–Л.: Гидрометеиздат, 1978.- 41 с.

70. Технология регулирования почвенных режимов// Научные труды.–Л.: СевНИИГиМ, 1985.-с. 217.

71. Тимофеев А.Ф. Мелиорация сельскохозяйственных земель: Уч. пособие.–М.: Колос, 1982.-240 с.

72. Циприс Д.Б., Селезнёв В.Г. и др. Расчёт норм водопотребности под заданный урожай// Гидротехника и мелиорация.–1986. №4. с. 39-46.

73. Циприс Д.Б., Евтушенко Э.Г. Расчёт водопотребления по метеопараметрам// Земледелие.–1992. №9. с. 40-42.

74. Гогичаишвили Г.Г., Почовян С.М. Автоматизация расчёта прогнозирования режимов орошения сельскохозяйственных культур и урожая// Тезисы докл. юбил. научно-технич. конф. проф.-препод. состава, посвящ. 75-летию ГТУ.–Тбилиси: ГТУ, 1997.-с. 55.

75. გ. გოგიჩაიშვილი, გ. სურგულაძე, თ. დოლიძე, ო. შონია, ს. პოჩოვიანი, ე. თურქია, ლ. პეტრიაშვილი, დ. გულუა. ეკონომიკური რეფორმების მართვის სრულყოფა უახლესი ინფორმაციული ტექნოლოგიით// სტუ-ს შრომები №7(446).–თბილისი: სტუ, 2002.-გვ. 115-119.

76. Гогичаишвили Г.Г., Почовян С.М. Описание функциональной блок-схемы автоматизированной системы прогнозирования урожая// Сборник докладов Министерства просвещения и науки Грузии и ГТУ. Междун. научная конф. «Информационные технологии в управлении».–Тбилиси: ГТУ, 2007.-с. 71-73.

77. Катамадзе Н.М., Почовян С.М. Автоматизированный расчёт режимов орошения сельскохозяйственных культур и радиационный мониторинг// Труды ГТУ №4 (437). Междун. научная конф., посвящ. 30-летию кафедры Автоматизированных систем управления ГТУ.–Тбилиси: ГТУ, 2001.-с. 139-141.

78. Почовян С.М., Швецов А.Р. Автоматизированная система прогнозирования режимов орошения сельскохозяйственных культур// Научные труды ГТУ. Междун. конф. «Автоматизированные системы управления».–Тбилиси: ГТУ, 1996.-с. 187-188.

79. Почовян С.М. Методика автоматизированного расчёта водопотребления сельскохозяйственных культур// Научные труды ГТУ. Междун. конф. «Автоматизированные системы управления».–Тбилиси: ГТУ, 1996.-с. 189-190.

80. Почовян С.М. Автоматизированная система управления режимами орошения сельскохозяйственных культур. Дисс. канд. техн. наук.–Тбилиси: ГТУ, 2003.-217 с.

81. Почовян С.М. Автоматизация процессов прогнозирования режимов орошения и урожая. Труды ГТУ, №2(456), Тбилиси, 2005.-с. 142-143.

82. Почовян С.М. Задачи автоматизированной системы прогнозирования режимов орошения и урожая. Труды ГТУ, №2(456), Тбилиси, 2005.-с. 144-145.

83. Почовян С.М. Описание функциональной структуры системы управления сельскохозяйственной фермы для проектирования автоматизированной системы прогнозирования урожая// Труды «Автоматизированные системы управления» №1(2) ГТУ. Научный семинар, посвящённый 35-летию кафедры Автоматизированных систем управления ГТУ.–Тбилиси: ГТУ, 2007.-с. 197-199.

84. Ашимов А.А., Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Оптимальные модульные системы обработки данных.–Алма-Ата: Наука, 1981.-188 с.

85. Барбаумов Б.Е., Ермаков В.И. и др. Справочник по математике для экономистов; Под ред. Ермакова В.И.–М.: Высшая школа, 1987.-336 с.

86. Волкова В.Н., Домченко Ю.Н. Применение системного анализа при проектировании АСУ: Уч. пособие.–Ленинград.: ЛПИ, 1986.-88 с.

87. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики.–М.: Наука, 1987.-552 с.

88. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики: Уч. пособие.–М.: Энергоатомиздат, 1987.-496 с.

89. Криницкий Н.А., Миронов Г.А., Фролов Г.Д. Автоматизированные информационные системы.–М.: Наука, 1982.-127 с.
90. Кузнецов В.П., Адельсон-Вельский С.М. Дискретная математика для инженера.–М.: Энергоатомиздат, 1988.-480 с.
91. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. и др. Проектирование подсистем и звеньев автоматизированных систем управления: Уч. пособие.–М.: Высшая школа, 1975.-248 с.
92. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. и др. Задачи формализации и автоматизации модульного проектирования систем обработки данных// Построение автоматизированных систем обработки данных.–М.: ИПУ, 1978, вып. 16. с. -112.
93. Мамиконов А.Г., Пискунов А.И., Цвиркун А.Д. Модели и методы проектирования информационного обеспечения АСУ.–М.: Статистика, 1978.-221 с.
94. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В. и др. Синтез оптимальных функциональных модулей обработки данных в АСУ.–М.: ИПУ, 1979.- 48 с.
95. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. и др. Предпроектный анализ структуры информационных потоков и технологии обработки данных при распределении модульных СОД.–М.: ИПУ, 1980.- 43 с.
96. Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Цвиркун А.Д. Автоматизации проектирования АСУ.–М.: Энергия, 1980.- 328 с.
97. Мамиконов А.Г. Основы построения АСУ: Учебник.–М.: Высшая школа, 1981.-248 с.
98. Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Шелков А.Б. Резервирование программного и информационного обеспечения в вычислительных системах// На конф. с междуна. участием «Надёжность ЭВМ и систем». Тезисы докл.–София, 1984.-с. 57-62.
99. Мамиконов А.Г. Проектирование АСУ: Учебник.–М.: Высшая школа, 1987.-304 с.
100. Мамиконов А.Г., Почовян С.М. Методика проектирования автоматизированной системы оперативного управления основным производством// Де-

понир. в ТЕХИНФОРМ (ВИНИТИ); Регистр. №794, дата регистр. 15.07.92.–Тбилиси: ТЕХИНФОРМ, 1992.

101. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем.–М.: Финансы и статистика, 1984-200 с.

102. Почовян С.М. Анализ информационной модели автоматизированной системы оперативного управления основным производством// Депонир. в ТЕХИНФОРМ (ВИНИТИ); Регистр. №795, дата регистр. 15.07.92.–Тбилиси: ТЕХИНФОРМ, 1992.

103. Почовян С.М., Шония О.Б. Автоматизация процедур принятия решений в дискретном производстве// Научные труды ГТУ. Междун. конф. «Автоматизированные системы управления».–Тбилиси: ГТУ, 1996.–с. 191-192.

104. Почовян С.М., Шония О.Б. Принятие решений в организационно-административных системах// Труды ГТУ, Междун. инжен. Акад., Инжен. Акад. Грузии, Ин-та горной механ. им. А. Цулукидзе. Междун. научно-технич. конф. по охране труда, экологии, горному делу и геологии.–Тбилиси: ГТУ, 2000.–с. 61-65.

105. Почовян С.М., Шония О.Б. Задачи принятия решений в организационных системах// Проблемы прикладной механики №1(2)/2001. Междун. Научный Журнал.–Тбилиси: Мерани-3, 2001.–с. 108-111.

106. Рейдфорд-Смит и В. Дж. Теория формальных языков. Вводный курс.–М.: Радио и связь, 1988.–139 с.

107. Советов Б.Я. АСУ. Введение в специальность: Учебник.–М.: Высшая школа, 1989.–128 с.

108. Трапезников В.А. Управление и научно-технический прогресс.–М.: Наука, 1983.–222 с.

109. Чоговадзе Г.Г. Основы построения АСУ: Уч. пособие.–Тбилиси: Тбилис. унив-т, 1980.–175 с.

110. Шелков А.Б. Восстановительное резервирование информационных массивов в АСУ// Методы анализа и синтеза автоматизированных систем уп-

равления.–М.: ИПУ, 1981, вып. 25.-с. 112-123.

111. Агафонов В.Н. Спецификация программ: понятийные средства и их организация.–Новосибирск.: Наука, 1987.-240 с.

112. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Синтез оптимальных модульных систем обработки данных.–М.: Наука, 1986.-280 с.

113. Атре Ш. Структурный подход к организации баз данных.–М.: Финансы и статистика, 1983.-317 с.

114. Ашимов А.А., Мамиконов А.Г., Кульба В.В. и др. Формализованные модели и методы анализа и синтеза структур баз данных// XIII Всесоюз. семина.-совещ. «Управление большими системами».–Алма-Ата: Казах. политех. ин-т, 1983.-с. 134-135.

115. Ашимов А.А., Сиротюк В.О. и др. Автоматизация проектирования оптимальных структур баз данных// Всесоюз. конф. по автоматизации проектирования систем управления. Тез. докл.–М.: ИПУ, 1984.-с. 70-72.

116. Ашимов А.А., Сиротюк В.О. и др. Моделирование и анализ процессов функционирования баз данных в модульных СОД// II Всесоюз. семина. По методам синтеза типовых модульных систем обработки данных: Тез. докл.–М.: ИПУ, 1985.-с. 64-64.

117. Бойко В.В., Саванков В.М. Проектирование информационной базы автоматизированной системы на основе СУБД.–М.: Финансы и статистика, 1982.-174 с.

118. Дейт К. Введение в системы баз данных.–М.: Наука, 1980.-464 с.

119. Замулин А.В. Типы данных в языках программирования и базах данных.–Новосибирск: Наука, 1987.-152 с.

120. Капитонова Ю.В., Летичевский А.А. Математическая теория проектирования вычислительных систем.–М.: Наука, 1988.-296 с.

121. Кокорева Л.В., Мапашикин И.И. Проектирование банков данных.–М.: Наука, 1984.-256 с.

122. Кульба В.В., Ковалевский С.С., Горгидзе И.А. и др. Методы повы-

шения эффективности и качества функционирования автоматизированных информационно-управляющих систем.–М.: КомпьюЛог, 2001.-344 с.

123. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В. и др. Анализ информационных потоков и построение канонической структуры базы данных: (методика и методические материалы).–Алма-Ата: КАЗНИИНТИ, 1982.-62 с.

124. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В. и др. Автоматизация этапов анализа и синтеза структур баз данных при разработке АБД// II Всесоюз. конф. «Банки данных»: Тезисы докл.–Киев: ИК АН Укр, 1983.-с. 15-17.

125. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В. и др. Формализованные модели и методы анализа и синтеза оптимальных структур баз данных// II Всесоюз. совещ. «Автоматизация проектирования и конструирования»: Тезисы докл., ч. 1.–М.: ИПУ, 1983.-с. 65-66.

126. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В. и др. Формализованные методы предпроектного анализа структуры информационных потоков при разработке информационных систем обработки данных.–М.: ИПУ, 1984.-с. 5-14

127. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В., Сиротюк В.О. Модели и методы синтеза логической и физической структур баз данных// Вопросы кибернетики: Автоматизация проектирования систем обработки данных.–М.: ВИНТИ, 1985.-с. 18-37.

128. Мамиконов А.Г., Ашимов А.А., Кульба В.В. и др. Оптимизация структур данных в АСУ.–М.: Наука, 1988.-256 с.

129. Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Лутковский Ю.П. Анализ предметной области банков данных и построение оптимальных структур баз данных с учётом требований к достоверности информации.–М.: ИПУ, 1988.-44 с.

130. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах.–М.: Мир, 1980.-662 с.

131. Наумов А.Н., Вендров А.М. и др. Системы управления базами данных и знаний: Справ. изд.; Под ред. Наумова А.Н.–М.: Финансы и статистика, 1991. -352 с.

132. Овчаров Л.А., Селетков С.Н. Автоматизированные банки данных.–М.: Финансы и статистика, 1982.-262 с.
133. Полищук Ю.М., Хон В.Б. Теория автоматизированных банков информации: Уч. пособие.–М.: Высшая школа, 1989.-184 с.
134. Сиротюк В.О., Ефремова В.С. Задачи синтеза модульного прикладного программного обеспечения при заданной структуре баз данных// Анализ и синтез оптимальных модульных систем обработки данных.–М.: ИПУ, 1984.-с. 101-105.
135. Скворцов В.И., Щукин Б.А. Реляционная модель данных: Уч. пособие –М.: МИФИ, 1983.-92 с.
136. Тиора Т., Фрай Дж. Проектирование структур баз данных: В 2 Кн.–М.: Мир, 1985.
137. Ульман Дж. Основы систем баз данных.–М.: Финансы и статистика, 1983.-336 с.
138. Уэлдок Дж. Администрирование баз данных.–М.: Финансы и статистика, 1984.-207 с.
139. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных.–М.: Финансы и статистика, 1985.-343 с.
140. Четвериков В.Н., Ревунков Г.И., Самохвалов Э.Н. Базы и банки данных: Учебник.–М.: Высшая школа, 1987.-248 с.
141. Гогичаишвили Г.Г. Автоматизация принятия решений в системах управления. Тбилиси: Мецниереба, 1985 г.-164 с.
142. სურგულაძე გ., თურქია ე. ბიზნეს-პროცესების მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაპროექტება.–თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2003.-200 გვ.
143. ჩოგოვაძე გ., სურგულაძე გ., შონია ო. მონაცემთა და ცოდნის ბაზების აგების საფუძვლები. –თბილისი: განათლება, 1996.-375 გვ.
144. ჩოგოვაძე გ., გოგინაიშვილი გ., სურგულაძე გ., შეროზია თ., შონია ო. მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაპროექტება და აგება (თეორიული და პრაქტიკული ინფორმატიკა).–თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2001.-744 გვ.