

**А. Л. Кожанов**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ  
РЕСУРСОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ДВОЙНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ В КОНТУРЕ «ГРУППА ВОДОПОТРЕБИТЕЛЕЙ»**

**Введение.**

Развитие в современном мире в геометрической прогрессии компьютерных технологий, а также самих электронных устройств как вычислительных, так и многофункциональных в виде различных гаджетов позволяют проводить различные расчеты параметров гидротехнических сооружений, процессов на мелиоративных системах, многообразных задач в области мелиорации, а также позволяют проводить моделирование разнообразных режимов на мелиоративных системах [1, 2].

Расчет параметров регулирования водораспределения как на мелиоративных системах (оросительных, осушительных, системах двойного регулирования) вручную требует больших усилий и времени, в связи с чем необходима разработка программ для ЭВМ, позволяющих упростить и в разы ускорить время расчета различных параметров [3, 4]. Программы для ЭВМ востребованные в мелиоративной отрасли разрабатываются и в других странах [5–8].

Управление распределением водных ресурсов на мелиоративных системах, в том числе и на системах двойного регулирования (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных), является одним из сложных процессов, зависящим от многих факторов, требующим анализа значительного количества различных параметров и имеющих немалое количество вариантов их решения. В связи с чем для реализации данных процессов необходимо применение программных средств, но в условиях эксплуатации осушительно-увлажнительных систем в настоящее время это затруднено из-за сложности и дороговизны современных систем поддержки принятия решений. Но в свою очередь применение более простых и доступных про-

граммных продуктов является более актуальным для решения многих сравнительно элементарных инженерно-мелиоративных задач [9–11]. В связи с чем в рамках моделирования распределения водных ресурсов на системах двойного регулирования (СДР) в начале необходимо моделировать данные процессы по отдельным контурам регулирования [10] («водопотребитель», «группа водопотребителей», «участок системы» и др.), а только потом и по всей системе. В данном случае в качестве контура «водопотребитель» выступает мелиорируемое поле, а контуром «группа водопотребителей» будет являться севооборотный участок.

Исходя из этого, целью настоящих исследований является разработка алгоритма моделирование регулирования водных ресурсов полях мелиоративных систем двойного регулирования водного режима почв (осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных) в контуре «группа водопотребителей» (севооборотный участок) для последующей разработки информационных и программных средств, обеспечивающих возможность оперативного регулирования водных ресурсов на системах двойного регулирования.

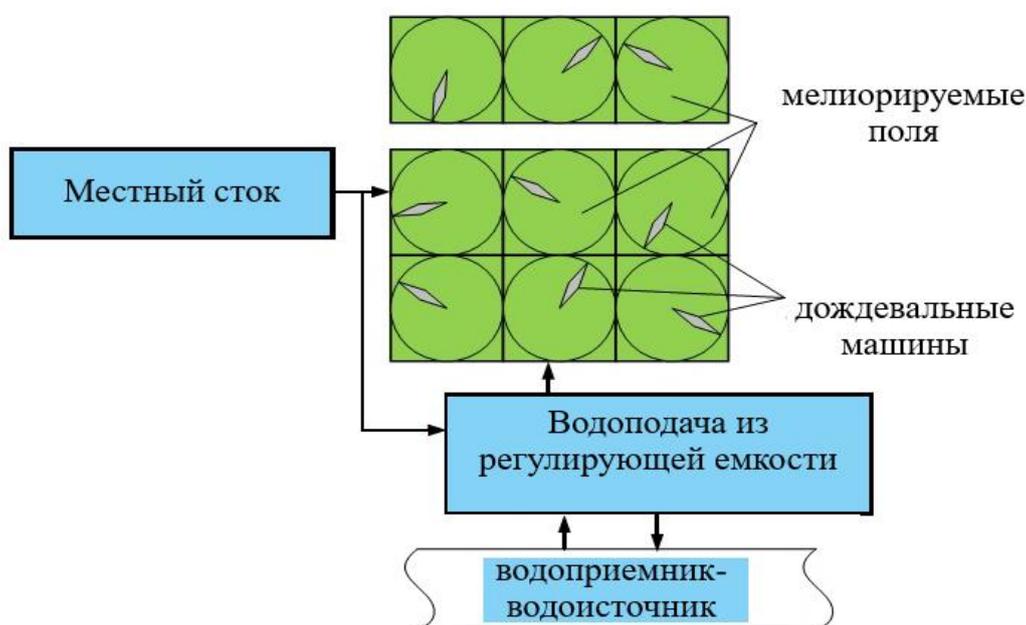
#### **Материалы и методы.**

Информационную, а также методологическую основу работ, связанных с моделированием режимов распределения водных ресурсов на севооборотных участках систем двойного регулирования водного режима почв, составили методы сбора и обработки информации, методы систематизации информации, положения по разработке информационных технологий [2], нормативно-технические документы [12], техническая литература по водораспределению на мелиоративных системах [13–15], а также опыт создания и эксплуатации существующих средств информационно-технологической поддержки задач проектирования и эксплуатации осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем.

#### **Результаты и обсуждение.**

Методика моделирования режимов распределения водных ресурсов на мелиоративных СДР заключается в выделении в структуре водораспределительной сети характерных контуров, таких как «Водопотребитель № 1, 2...n», «Группа водопотребителей № 1, 2...n», «Участок системы № 1, 2...n» и «Система», для которых используют типовые моделирующие алгоритмы и средства.

При постановке задач моделирования применительно к производству сельскохозяйственных культур с использованием водных мелиораций, в качестве типового контура регулирования «Группа водопотребителей» может быть принят севооборотный участок. Он включает в себя несколько мелиорируемых полей (контуров регулирования «Водопотребитель»), подача воды на которые осуществляется с помощью совмещенной насосной станции, а поверхностное увлажнение – с помощью дождевальных машин. Укрупненная схема регулирования на этом участке представлена на рисунке 1 (для наглядности приведено увлажнение круговыми дождевальными машинами).



**Рисунок 1 – Укрупненная схема регулирования водных ресурсов в контуре регулирования «Группа водопотребителей»**

В соответствии с существующими конструкциями осушительно-увлажнительных систем для регулирования водного режима используются как местный сток, так и водные ресурсы водоприемника-водоисточника. При этом, поскольку задачи учета возможностей использования внутрипочвенного увлажнения активного слоя почвы учитываются в контуре регулирования «Водопотребитель», то, в дальнейшем, имеет смысл рассматривать используемые для регулирования водные ресурсы интегрированно. Исходя из этого, задача моделирования в данном контуре состоит в определении режимов подачи воды из водного источника (регулирующей емкости, водоприемника-водоисточника) насосной станцией путем управления включениями и отключениями имеющихся на ней насосных агрегатов разной производительности в условиях оперативно изменяющихся режимов забора воды в контурах регулирования «Водопотребители».

Для моделирования режимов регулирования водных ресурсов в принятом выше типовом контуре регулирования «Группа водопотребителей» требуются следующие исходные данные:

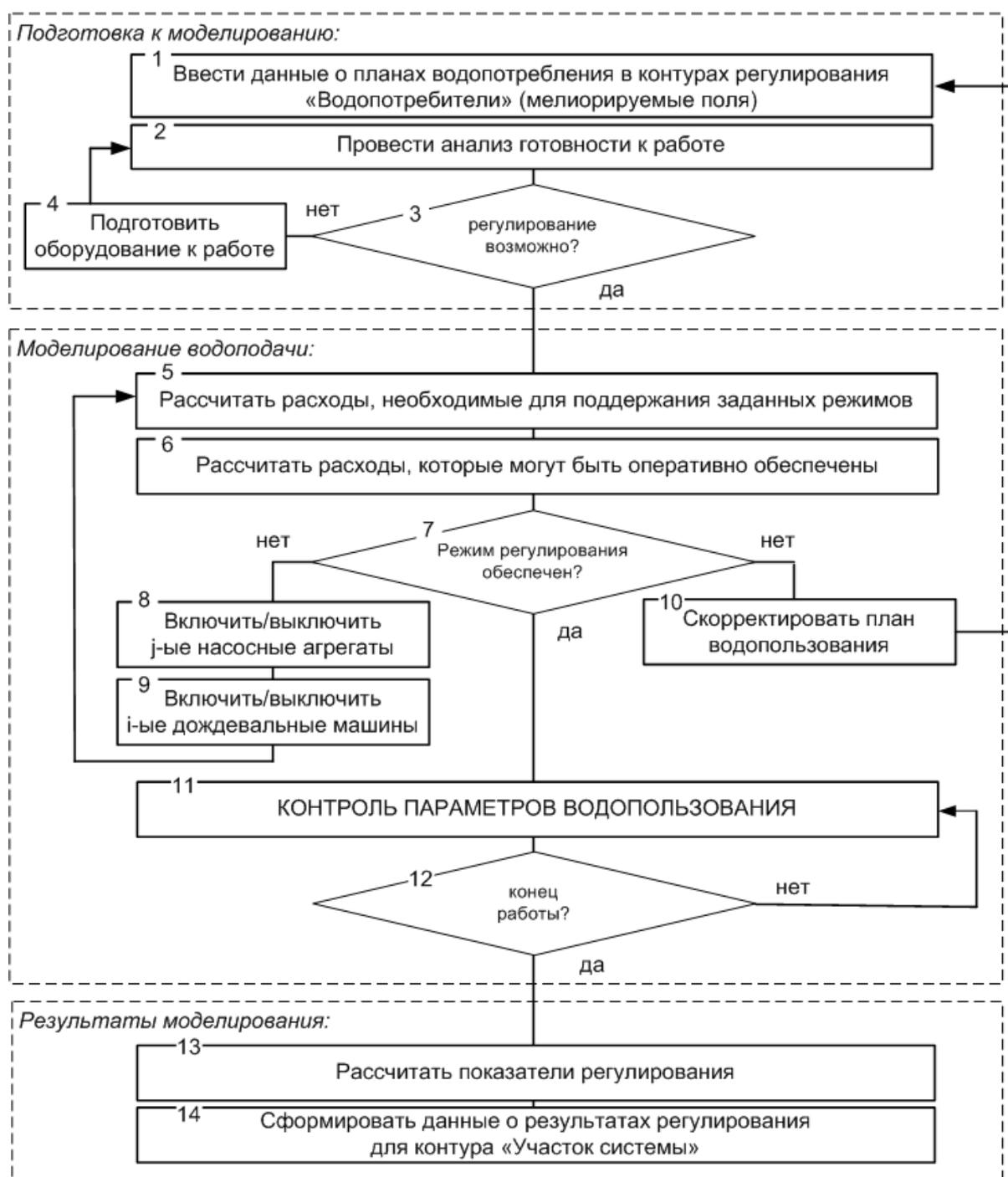
- количество водопотребителей  $n$ , ед.;
- расходы воды, необходимые для регулирования водного режима у каждого водопотребителя  $Q_{в/п,i}$ , м<sup>3</sup>/с;
- сроки начала  $t_{нач,i}$  и окончания  $t_{кон,i}$  водоподачи каждому водопотребителю соответственно, дд. чч;
- коэффициенты полезного действия распределительной сети  $k_{пд,i}$ .
- количество насосных агрегатов на насосной станции  $m$ , ед.;
- производительность насосных агрегатов  $Q_{на,i}$ , м<sup>3</sup>/с;
- коэффициенты готовности насосных агрегатов к работе  $k_{на,i}$ ;
- производительность дождевальных машин  $Q_{дм,i}$ , м<sup>3</sup>/с;
- коэффициенты готовности дождевальных машин к работе  $k_{дм,i}$ ;
- интервал регулирования, принятый на СДР  $\Delta t_{рег}$ , ч.

Алгоритм моделирования режимов водоподдачи в контуре регулирования «Группа водопотребителей» (севооборотный участок) представлен на рисунке 2.

Алгоритм моделирования в контуре регулирования «Группа водопотребителей» включает в себя три стадии: подготовка к моделированию – непосредственно моделирование – оценка результатов моделирования.

На стадии подготовки к моделированию (группа блоков «Подготовка к моделированию») производятся следующие действия:

1. Вводятся в моделирующую программу данные о планах водопотребления в контурах регулирования «Водопотребители» (мелиорируемые поля):  $Q_{в/п,i}$ ,  $t_{нач,i}$ ,  $t_{кон,i}$  по каждому водопотребителю соответственно (блок 1).



**Рисунок 2 - Алгоритм моделирования режимов водоподачи в контуре регулирования «Группа водопотребителей» (севооборотный участок)**

2. Проводится анализ возможностей и готовности оборудования к работе: технических, эксплуатационных, энергетических и т. п. (блоки 2 и 3):

– если по каким-то причинам дальнейшее регулирование водных режимов не может быть обеспечено, проводятся мероприятия по их обеспечению (блок 4);

– если дальнейшее моделирование возможно, то производится переход непосредственно к моделированию режимов водоподачи.

Последовательность действий при моделировании процессов водоподачи (группа блоков «Моделирование водоподачи») сводится к следующему:

1. Рассчитываются расходы, необходимые для поддержания заданных режимов  $Q_{в/п,i}$ ,  $t_{нач,i}$ ,  $t_{кон,i}$  по каждому водопотребителю в целом по участку  $Q_{уч}$  (блок 5), м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{уч} = \sum_{i=1}^n Q_{в/п,i} \cdot k_{дм,i} \cdot k_{пд,i}.$$

2. Рассчитываются расходы насосной станции  $Q_{нс}$ , м<sup>3</sup>/с, необходимые для поддержания  $Q_{уч}$  (блок 6):

$$Q_{нс} = \sum_{i=1}^m Q_{на,i} \cdot k_{на,i}.$$

3. Оценивается возможность обеспечения режима регулирования водоподачи на участок:

– если режим не может быть обеспечен то, либо изменяется режим работы насосных агрегатов НС (блок 8) и/или дождевальных машин (блок 9), либо корректируется план водопользования (блок 10);

– если режим регулирования обеспечивается, то следует контроль за параметрами регулирования водопользования на участке (блоки 11, 12).

После завершения процесса моделирования режимов водоподачи на участок производится подведение его итогов (группа блоков «Результаты моделирования»).

1. Рассчитываются показатели моделирования водоподачи на участке по всем интервалам регулирования  $\Delta t_{рег,i}$  (блок 13):

- суммарные объемы воды, поданные на участок  $W_{уч,\Sigma}$ , м<sup>3</sup>:

$$W_{\text{уч},\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{уч},i} \cdot \Delta t_{\text{пер},i} \cdot$$

- объемы воды, забранные из водоприемника-водоисточника (или регулирующей емкости)  $W_{\text{нс},\Sigma}$ ,  $\text{м}^3$ :

$$W_{\text{нс},\Sigma} = \sum_{i=1}^m Q_{\text{на},i} \cdot \Delta t_{\text{пер},i} \cdot$$

– время работы каждой единицы дождевальной техники  $t_{\text{дм},\Sigma}$  и насосно-силового оборудования  $t_{\text{на},\Sigma}$  соответственно, ч:

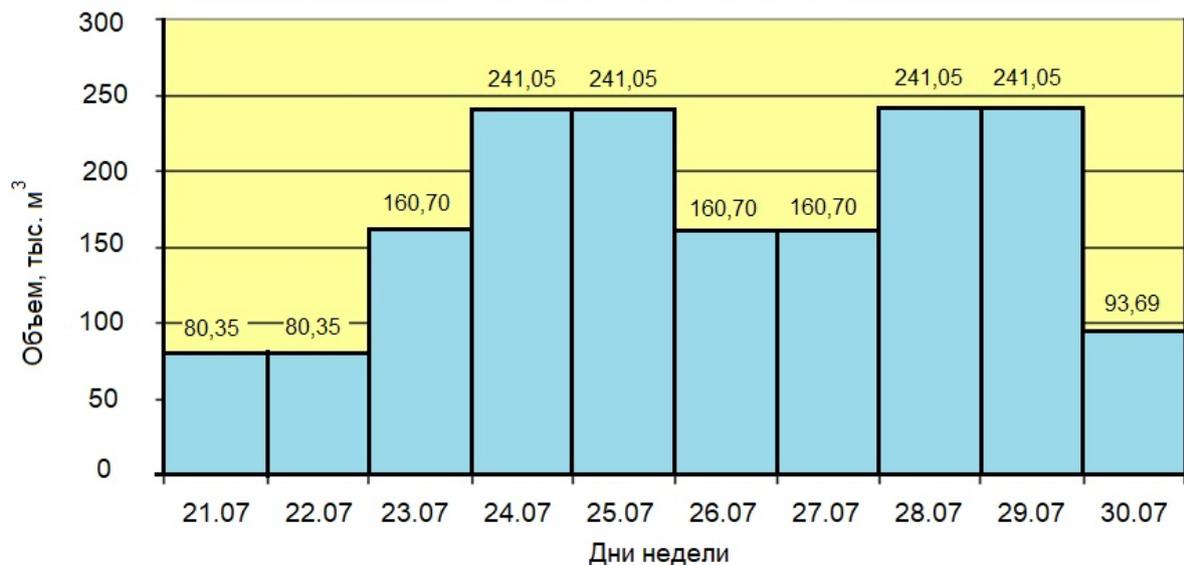
$$t_{\text{дм},\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_{\text{дм},i} \cdot k_{\text{дм},i} \cdot \Delta t_{\text{пер},i} ;$$

$$t_{\text{на},\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_{\text{на},i} \cdot k_{\text{на},i} \cdot \Delta t_{\text{пер},i} \cdot$$

2. Формируются исходные данные для работы вышестоящего контура регулирования СДР (блок 14).

Для визуальной оценки объемов водоподачи на участок за моделируемый интервал времени они отображаются в виде графиков (рисунок 3).

*График забора воды из водоприемника-водоисточника (регулирующей емкости)*



**Рисунок 3 – Пример графика заборов воды из водоприемника-водоисточника (регулирующей емкости) на СДР, полученного по результатам моделирования**

В связи с тем, что моделируемые режимы регулирования водоподдачи для данной группы водопотребителей, во многом, определяются и зависят от их эксплуатационно-технических возможностей, то, кроме показателей, непосредственно определяющих процессы регулирования водоподдачи на участке, результатами моделирования являются:

а) графики работы дождевальных машин в течение определенного интервала (рисунок 4):



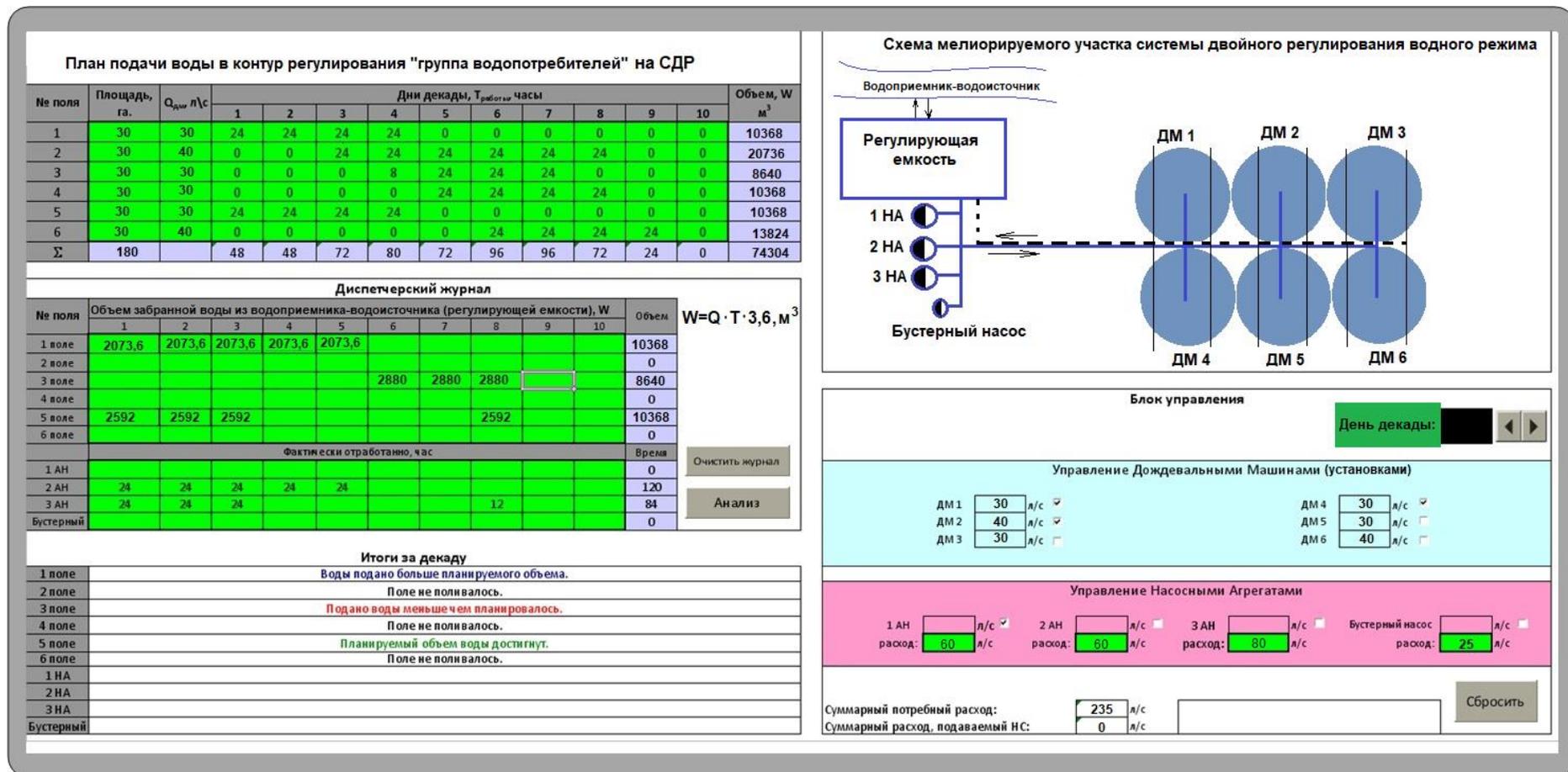
**Рисунок 4 – Пример графиков работы дождевальных машин в течение интервала регулирования, полученных по результатам моделирования**

б) графики работы насосно-силового оборудования насосной станции, обеспечивающего подачу воды к этим дождевальным машинам (рисунок 5):



**Рисунок 5 – Пример графиков работы насосных агрегатов насосной станции, полученных по результатам моделирования**

Разработанный вариант главной экранной формы программы моделирования водоподдачи на мелиорируемый участок СДР водного режима представлен на рисунке 6.



**Рисунок 6 – Вариант главной экранной формы программы моделирования водоподачи в контуре регулирования «Группа водопотребителей» на СДР**

В предложенном варианте экранной формы программа моделирования водоподдачи на СДР в контуре регулирования «Группа водопотребителей» сконфигурирована на мелиорируемый участок, включающий в себя:

- 6 полей севооборотного участка;
- 6 дождевальных машины кругового действия, установленных на каждом из мелиорируемых полей;
- насосную станцию с тремя основными и одним бустерным насосными агрегатами.

**Выводы.** Одной из основных проблем при выращивании сельскохозяйственных культур на осушенных землях является поддержание оптимальной влажности почвы не только за счет регулирования нормы осушения, но и за счет проведения поливов. На современном этапе развития компьютерных технологий необходима разработка программ, а также моделирование режимов водопотребления как на мелиорируемом поле, так и в типовом контуре регулирования «Группа водопотребитель», в качестве которого принимается севооборотный участок в целом. В данный контур регулирования включает в себя несколько контуров регулирования «Водопотребитель».

Задача моделирования в данном контуре регулирования состоит в определении режимов подачи воды из источника (регулирующей емкости, водоприемника-водоисточника) насосной станцией путем управления включениями и отключениями имеющихся на ней насосных агрегатов разной производительности в условиях оперативно изменяющихся режимов забора воды в контурах регулирования «Водопотребители».

Разработанный алгоритм моделирования водных режимов в контуре регулирования «Группа водопотребителей» (севооборотный участок) в мелиоративной СДР включает в себя три стадии: подготовка – ввод исходных данных о планах водопотребления в контурах регулирования «Водопотребитель» и анализ готовности оборудования к работе; моделирование – рас-

чет расходов по каждому водопотребителю и по участку в целом, расчет расходов насосных станций, оценка возможности обеспечения режима регулирования; результаты моделирования – суммарные объемы воды для подачи на участок, суммарные объемы воды из регулирующей емкости или водоприемника-водоисточника, время работы каждой дождевальная машины и насосно-силового оборудования, а также формируются исходные данные для работы вышестоящего контура регулирования СДР.

### **Заключение.**

Разработанный алгоритм моделирования режимов водоподдачи в контуре регулирования «Группа водопотребителей» позволяет оперативно проводить регулирование режимов подачи воды из регулирующей емкости или водоприемника-водоисточника насосными станциями за счет управления насосно-силовыми агрегатами в условиях оперативно меняющихся режимов забора воды в контурах регулирования «Водопотребитель». Что в свою очередь позволяет экономить водные ресурсы и рационально их распределять на системах двойного регулирования водного режима. На основе разработанного алгоритма имеется возможность разработки программы для ЭВМ, которая будет востребована различными специалистами при эксплуатации осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем.