

УДК 631.6: 626.86

**СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСУШИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ
МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
РЕКОНСТРУКЦИИ И СЕЛЬХОЗИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Н.К. Вахонин, кандидат технических наук

А.М. Павлов, аспирант

(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

Одной из важнейших составляющих при принятии решений по выбору варианта трансформации износившейся мелиоративной системы – из адаптивных стратегий, заключающихся в смене типа сельскохозяйственного использования, и активных, заключающихся в выборе варианта реконструкции системы, является модель формирования режима уровней грунтовых вод под действием осушительной сети [1-3]. Существующие методы расчета параметров мелиоративных систем при первоначальном проектировании осушения, основанные на равномерном стационарном режиме движения воды в грунте и осушителях, относящиеся к некоторому одному условному сечению [4], не позволяют осуществить расчеты осушительного действия мелиоративных систем с ухудшившимися в результате старения параметрами для эколого-экономической оценки необходимости реконструкции и их возможных вариантов.

Для этих целей необходима модель, позволяющая рассчитывать динамику водного режима мелиорированной территории под воздействием осушительной сети при различных альтернативных вариантах ее параметров. При этом исходным для анализа является вариант параметров действующей системы, сложившийся в результате деградации (уменьшения поперечного сечения из-за обрушения, заиления, снижения уровня полей в результате сработки торфа и т.п.), который должен моделироваться в первую очередь. Рассчитанные на модели при заданном сценарии погодно-климатических воздействий (в наиболее строгой постановке – с использованием датчиков случайных чисел, полученных на ос-

нове обработки предыдущих рядов наблюдений погодноклиматических воздействий) уровни грунтовых вод, формирующиеся при действующем варианте сети, необходимы для расчета соответствующей им продуктивности различных вариантов возможных севооборотов и интенсивности их выращивания (удобрения, средства защиты и т.п.). При этом должна быть оценена продуктивность в условиях севооборота, использовавшегося изначально при исправной мелиоративной системе, а также севооборотов, адаптивных к смоделированному режиму увлажненности. То есть в зависимости от характера деградации системы (износа осушительной или увлажнительной подсистем) должны быть рассмотрены более влаголюбивые севообороты, если смоделированные УГВ указывают на избыточное увлажнение, и наоборот, более засухоустойчивые при дефиците увлажненности.

Для оценки необходимости и выбора варианта реконструкции, помимо расчета УГВ при существующих параметрах системы, на модели должны быть проиграны УГВ и при других альтернативных вариантах параметров и рассчитаны соответствующие им урожайности культур.

Ограничением для бесконечно большого числа вариантов параметров системы являются диапазоны их значений, устойчивых к разрушению, а также требования, накладываемые из экологических соображений.

Среди всех рассчитанных вариантов должен быть определен вариант, наилучший по экономическим критериям: прибыли и производных от нее показателей, зависящих от доходов от урожаев и затрат на реализацию.

Следует отметить, что в силу того, что во многих случаях параметры открытых осушительных и проводящих каналов при первоначальном строительстве принимались с большим запасом (в том числе и в связи с приблизительностью использовавшихся методов расчета), расчет по строгим зависимостям уровня режима заиленных на 30-50 см водотоков и формируемых при этом УГВ может показать нецелесообразность их углубления, тем бо-

лее до исходных параметров, чрезмерная величина которых также провоцировала заилнение.

Моделирование формирования уровней грунтовых вод может осуществляться с использованием моделей различного класса и типа. Наиболее строгие модели соответствуют одновременному описанию динамики воды и воздуха, движущихся в частично насыщенном грунте с учетом взаимоперехода их в жидкую и газообразную формы [5]. Однако возможность информационного обеспечения, идентификации и реализации такого типа моделей нереальны в современных условиях.

Адекватной обычно имеющемуся информационному обеспечению моделью является система уравнений, включающая уравнения Буссинеска для описания динамики воды в грунте на осушаемой площади и уравнения Сен-Венана для описания динамики воды в осушителях (каналах, дренах), играющих одновременно и проводящую роль. В силу неразрывности грунтовых и русловых вод на линии контакта осушителя с грунтом используется внутреннее граничное условие, отражающее баланс расходов и согласование уровней, в результате чего уравнения решаются совместно [3, 6].

Решение данной системы может быть осуществлено только численно с использованием для дискретизации задачи либо метода конечных элементов, либо различных конечно-разностных схем. Использование неявной разностной схемы Васильева для уравнения Сен-Венана и шеститочечной неявной схемы для уравнения Буссинеска представляет эффективный алгоритм для моделирования мелиоративных систем [3].

Потребность ввода множества различных исходных характеристик для осуществления серий численных экспериментов, а также анализа их результатов при расчете ряда альтернативных вариантов мелиоративной системы при реконструкции обусловила необходимость создания удобного пользовательского интерфейса.

Соответствующее программное обеспечение было реализовано на C++ в среде Visual Studio. Основное окно программы представлено на рис. 1. Из основного меню задаются все показатели,

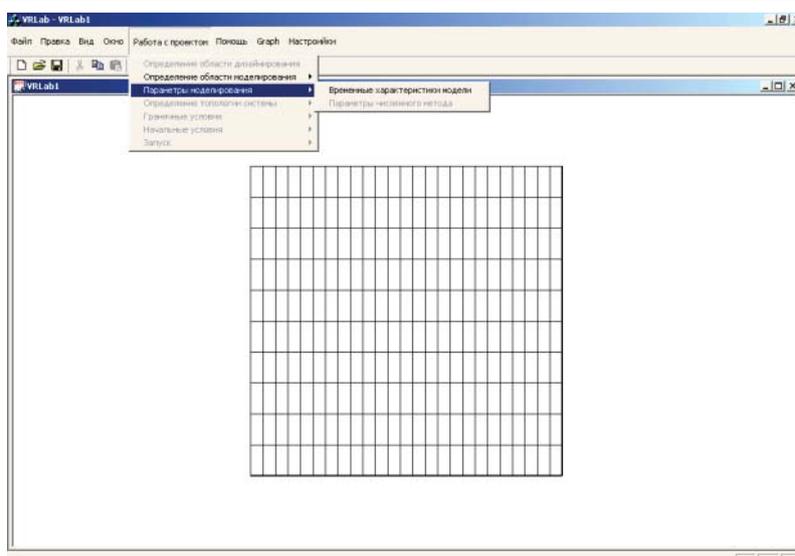


Рис. 1. Основное окно программы моделирования осушительного действия мелиоративной сети

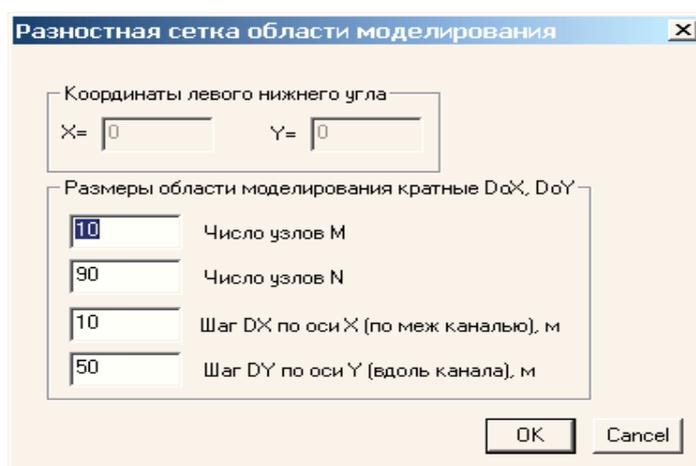


Рис. 2. Задание параметров разностной сетки области моделирования

необходимые для осуществления численных экспериментов: тип и параметры дискретизации области моделирования по пространству и времени, продолжительность моделируемого периода, параметры рассчитываемых подсистем (грунтов и водотоков), начальные и граничные условия, а также варианты представления результатов расчета.

Для рассматриваемого случая осушения мелиорируемого поля расположенными по периметру каналами задание геометрии моделируемой области осуществляется в диалоге (рис. 2).

Ввод параметров осушающего водотока предполагает задание вида водотока, параметров продольного и поперечного сечений вдоль его трассы.

В общем случае вид водотока-осушителя может быть разнообразным: река, канал, дрена, коллектор, что определяет соответствующие необходимые виды показателей поперечного сечения (глубина, диаметр и т.п.). Параметры канала вдоль трассы определяют характеристики его поперечного сечения, а также в продольном направлении. Для случая канала-осушителя форма поперечного сечения может быть одно-, двух- либо трехзвенной, komponуемой из различных видов вставок: трапециевидных, параболических, произвольной формы. Изменение параметров канала по длине может иметь постоянный, кусочно-постоянный и произвольно меняющийся характер. В рассматриваемой задаче параметры канала-осушителя наиболее распространенного трапециевидного поперечного сечения вводятся в диалоговом окне (рис. 3). Шероховатость, уклон и отметка дна в

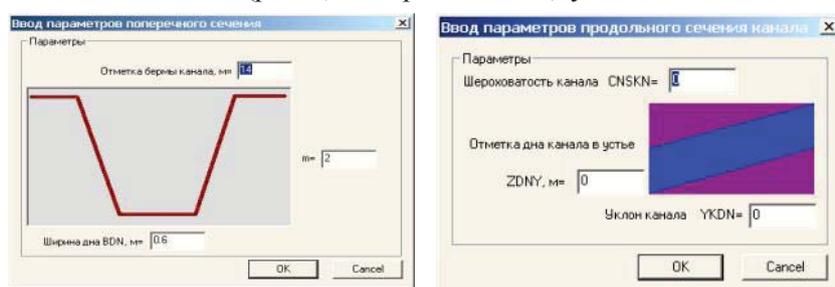


Рис. 3. Задание параметров осушительного канала

устье задаются неизменными по длине. Исходные данные для принимающего водотока определяются аналогично.

В отдельном диалоге осуществляется ввод необходимой информации по характеристикам осушаемой области (количество пластов, их мощность, коэффициенты фильтрации и водоотдачи грунта). Для каждого из пластов возможно горизонтальное их залегание, либо кусочно-линейное или произвольно изменяющееся. Возможны варианты, когда для всей площади все параметры неизменны, либо могут быть определены для кусочно-площадных участков. Наиболее общий вариант – точечное задание параметров – целесообразно осуществлять из ГИС.

Для осуществления численного расчета необходимо задание граничных условий для осушаемой области и водотоков. Осушаемая область имеет граничные условия с боковыми, верхней и нижней границами, которые могут быть однотипными для всей границы или кусочными. В текущей версии программы предусмотрен однотипный характер определения граничных условий, которые задаются в грунте вдоль истока канала-осушителя, на середине между каналами-осушителями, на линии канала осушителя и на линии принимающего канала (рис. 4). Указывается род граничного условия, и определяется, какими будут эти условия – стационарными или изменяющимися во времени. Граничные условия с верхней границы могут быть промоделированы или определены явно в виде инфильтрации на УГВ. При явном

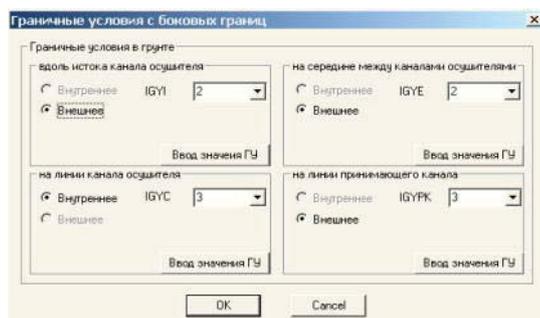


Рис. 4. Задание граничных условий с боковых границ осушения

определении их можно задать для всей площади, для кусочно-площадных участков – определить с помощью зависимости или задать в узлах сетки моделируемой площади.

Задаются также начальные условия для осушаемого грунта и водотоков. После введения всех необходимых исходных данных численный эксперимент запускается на выполнение.

В программе предусмотрены различные варианты табличного и графического вывода результатов расчетов: в площадном, линейном и точечном представлении. При этом необходимо задать временные моменты, на которые должны быть сохранены промежуточные результаты расчета. Они обязательно должны попадать в моделируемый период, определяемый заданным временем осушения, и быть кратными временному шагу расчета. Результаты на эти моменты могут быть отображены по окончании расчета или в его ходе.

Полные результаты счета по грунту и каналам выводятся в текстовый файл. Для визуализации в виде площадного зонирования рассчитанных на различные моменты времени уровней залегания грунтовых вод либо в форме отметок (матрица отметок УГВ), либо в форме глубин их залегания (разница матрицы рельефа и матрицы УГВ), а также построения гидроизогипс или трехмерной поверхности формируются файлы для создания соответствующих слоев геоинформационных систем. В программе предусмотрена возможность подготовки файлов для программы построения поверхностей Surfer и программы ArcView (рис. 5), по которым средствами ГИС осуществляется отображение и зонирование УГВ (рис. 6).

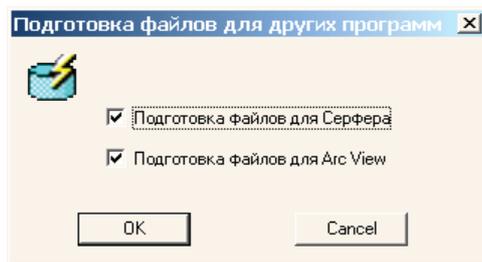


Рис. 5. Выбор варианта подготовки файлов результатов счета для визуализации

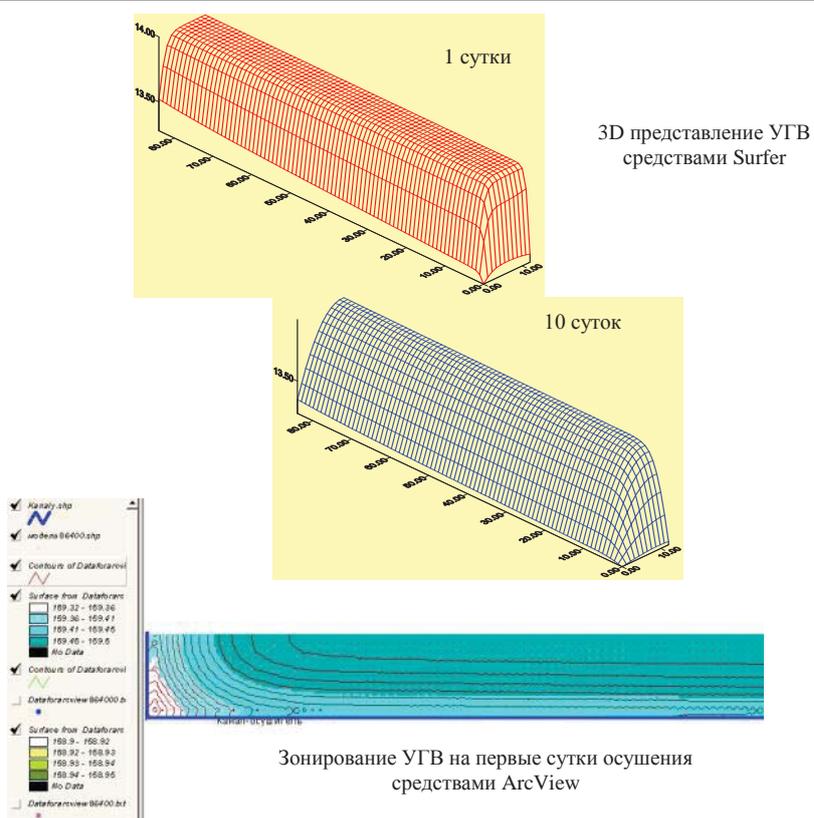


Рис. 6. Визуализация уровней грунтовых вод на межканальном пространстве по результатам моделирования

Помимо внешних программ, используемых для площадной визуализации, реализована возможность визуализации депрессионных кривых в указанных сечениях области осушения, а также уровней, расходов и приточностей вдоль трассы осушающего и проводящего каналов, выбираемых в диалоговом окне (рис. 7). Кривые, соответствующие результатам одного из численных экспериментов, представлены на рис. 8.

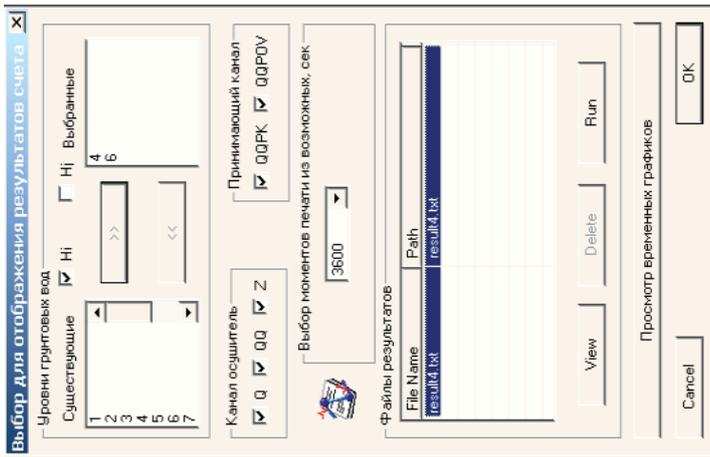


Рис. 7. Выбор варианта отображения результатов моделирования

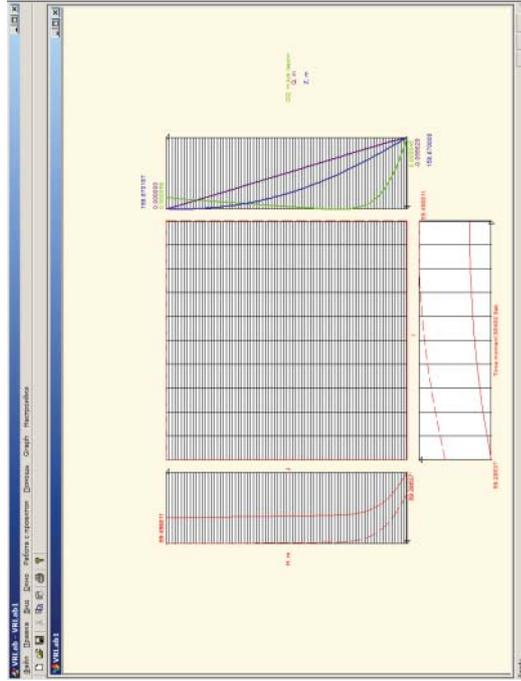


Рис. 8. Отображение смоделированных депрессионных кривых на осушаемом поле (слева, снизу), расходы, уровни

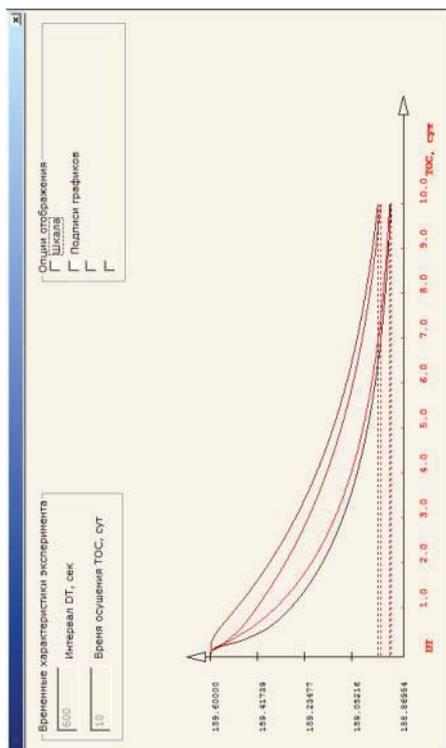


Рис. 10. Динамика УГВ во времени в выбранной точке межканальной полосы

Задавание точек для отображения во времени

Выбранные точки

| Id | Уровень воды | Значение | [i] | [j] |
|----|-------------------|----------|-----|-----|
| 0 | Грунт | H | 1 | 1 |
| 1 | Осушающий канал | Z | 1 | 4 |
| 2 | Принимающий канал | ZPK | 5 | 1 |

Buttons: Add, Edit, Delete, View

Временная характеристика для точки

Заполнить результат на все временные моменты
 Заполнить результат с момента на выбранные моменты

Временные характеристики численного эксперимента

Время осушения Шаг DT Количество шагов
 TOS = 3 сут DT = 600 сек 432

Buttons: Cancel, OK

Рис. 9. Задание параметров для построения графика изменения расчетных значений во времени

Значения изменения уровней, расходов, приточностей в выбранных отдельных точках (рис. 9) могут быть дополнительно сохранены и отображены на все расчетные моменты времени на период моделирования (рис. 10).

Разработанная программа позволяет эффективно осуществлять многовариантные расчеты формирования водного режима при различных параметрах систем и анализ результатов для выбора оптимального варианта реконструкции и сельскохозяйственного использования.

Литература

1. Вахонин Н.К. Мелиоративное проектирование с позиций системного анализа.// Прогнозы водного режима при мелиорации земель. – Мн.: БелНИИМиВХ, 1988. – С. 47-61.
2. Вахонин Н.К. Методологические основы моделирования и создания систем принятия решений в мелиоративном растениеводстве.// Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов – основа проектирования технологий и машин XXI века: Матер. межд. науч. конф. УП БелНИИМСХ, Минск, 2001. – Мн., 2001. – С. 215-224.
3. Вахонин Н.К. Математическое моделирование формирования половодья в мелиоративных каналах и на осушаемой территории с учетом стеснения русла снегом.// Управление водным режимом мелиорированных земель. Сб. науч. тр. БелНИИМиВХ. – Мн., 1987. – С. 73-86.
4. Технические условия и нормы проектирования осушительных систем в Белорусской ССР. – Мн.: Белгипроводхоз, 1970. – 330 с.
5. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. – М.: Гостехиздат, 1953. – 292 с.
6. Закржевский П.И., Афанасик Г.И., Армоник О.Р., Холодок Н.Г., Вахонин Н.К. Решение задачи о распределении напоров по длине дрены и в междренном пространстве в условиях неустановившейся фильтрации.// Водное хозяйство Белоруссии. Вып. 7. – Мн., 1977. – С. 131-136.

Резюме

Представлена концептуальная постановка задачи регулирования водного режима для целей оптимизации параметров мелиоративных систем и сельскохозяйственного использования на этапе реконструкции, описан алгоритм ее формализации, численной реализации и программирования,

рассмотрена структура пользовательского интерфейса, обеспечен ввод в модель необходимых для расчета данных, даны результаты численных экспериментов.

Ключевые слова: моделирование водного режима; грунтовые воды; осушительная сеть; численные расчеты; интерфейс пользователя; информационное обеспечение.

Summary

Vakhonin N., Pavlov A. The simulation system of draining operation of reclamative systems for optimization of up-dating and agricultural using.

The conceptual definition of a problem of water control for the purposes of optimization of parameters of reclamative systems and agricultural usage at a stage of up-dating is represented, the algorithm of formalizing, numerical realization and programming is described, the frame of user interface is considered, entry into model of data necessary for calculations is provided, the results of numerical experiments are given.

Key words: water regime simulation, groundwater; draining network; numerical calculations; user interface; data support.