

6. Borodychev, V.V. Water resources of the Republic of Kalmykia, and measures to improve water complex [Text]/ V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov // Reports of the RAAS. – 2015. – № 4. – P. 41-45.

7. Dedova, E.B. Problems of Water Resources of the Republic of Kalmykia in connection with the development of reclamation [Text]/ E.B. Dedova, M.A. Sazanov // Current state and prospects of development of water complex of the West Caspian Basin District: collection of articles All-Russian scientific-practical conference. – Makhachkala: ALEF, 2013. – P. 25-29.

8. Ivanova V.I. The current state of salty reservoirs of Kalmykia [Text]/ V.I. Ivanova // Current state and prospects of development of reclamation, agroforestry and water management complexes in the south of Russia (Shumakovskie reading): materials of All-Russia scientific-practical conference. – Novocherkassk: «Lik», 2012.

9. Ipatov, V.S. Description phytocenosis [Text]/ V.S. Ipatov, D.M. Mirin // Guidelines. – SPb.: SPbSU, 2008. – 71 p.

10. The concept of land reclamation of agricultural land for the period until 2020 [Text]/ B.M. Kizyaev, V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov and etc. – M.: Publishing House ARSIA, 2012. – 64 p.

11. Litvinenko, L.I. Quantitative development of the main shrimp starter feed for aquaculture - in the lakes of Western Siberia [Text]/ L.I. Litvinenko // Siberian Messenger of Agricultural Science. – 2008. – №10. – P. 74-81.

12. Monitoring of Water Resources of the Republic of Kalmykia and the problems of the ecosystem water use in the agricultural sector [Text]/ A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, E.B. Dedova, M.A. Sazanov // News Nizhnevolzhskiy agrouniversitetskogo kompleks: Science and Higher Vocational Education. – 2015. – №3 (39). – P. 9-19.

13. Field research methods [Text]/ Edit by A.S. Lupatin. – City of Saransk: Mordovian SU, 2005. – 160 p.

14. Shishkina, L.A. Hydrochemistry [Text]/ L.A. Shishkina. – City of Leningrad: Gidrometizdat, 1974. – 287 p.

E-mail: vcovniigim@yandex.ru

УДК 631.675: 631.671.1

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛИВАМИ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ

OPTIMUM CONTROL OF WATERINGS ON THE BASIS OF MODERN COMPUTING ALGORITHMS

В.В. Бородычев¹, член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

М.Н. Лытов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

А.С. Овчинников², член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.С. Бочарников², кандидат технических наук

V.V. Borodychev, M.N. Lytov, A.S. Ovchinnikov, V.S. Bocharnikov

²Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А.Н. Костякова (Волгоградский филиал)

²Волгоградский государственный аграрный университет

¹Volgograd branch of the All-Russian Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation.
Named after A.N. Kostyakov (Volgograd branch)

²Volgograd State Agrarian University

Цель исследований – повышение качества информационного обеспечения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур с возможностью использования современных решений в области автоматизированного мониторинга водного режима почвы орошаемых земель. В результате проведенных исследований предложена современная модель оптимального управления водным режимом почвы в условиях орошения, использование которой позволяет оценить необходимость проведения очередного вегетационного

полива, вероятную дату следующего полива, составить графики поливов и разработать план водопользования на кратко-, средне- и долгосрочный периоды. В отличие от известных решений, предложенная модель предусматривает возможность определения текущего состояния влажности почвы двумя способами: расчетным и с помощью аппаратно-измерительного комплекса. Особенностью предложенной модели является использование разных расчетных методов для определения эвапотранспирации при проведении прогнозных и ретроспективных расчетов. Повышение точности прогнозных и ретроспективных расчетов эвапотранспирации достигается за счет использования многопараметрических моделей при введении фактических метеорологических данных за истекший период (расчетный блок «ретроспектива») и простых, однопараметрических моделей определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур при использовании прогнозных метеоданных, в значительной мере неопределенного, вероятностного характера.

The purpose of researches - improvement of quality of information support of problems of management by water mode of the soil at irrigation of crops with possibility of use of modern decisions in the field of the automated monitoring of water mode of the soil of irrigated lands. As a result of the carried-out researches the modern model of optimum control by water mode of the soil in the conditions of the irrigation which use allows to estimate need of carrying out the next vegetative watering, probable date of the following watering is offered, to make schedules of waterings and to develop the plan of water use on short, so-so and long-term the periods. Unlike known decisions the offered model provides possibility of determination of current state of humidity of the soil in two ways: settlement and by means of hardware and measuring complex. Feature of the offered model is use of different settlement methods for evapotranspiration definition at carrying out look-ahead and retrospective calculations. Increase of accuracy of look-ahead and retrospective calculations of evapotranspiration is reached at the expense of use of multiple parameter models at introduction of the actual meteorological data for expired period (the settlement retrospective block) and simple, one-parametrical models of definition of total water consumption of crops when using look-ahead meteo-data, considerably uncertain, likelihood character.

Ключевые слова: орошение, модель, оптимальное управление, водный режим почвы.

Keywords: irrigation, model, optimum control, water mode of the soil.

Введение. Современный уровень развития технических средств орошения и внедрение автоматизированных инструментально-измерительных комплексов с модулем телеметрии предполагает совершенствование системы водопользования в зонах регулярного орошения на основе непрерывного мониторинга и оперативного прогноза водного режима почвы. Актуальными остаются вопросы повышения точности прогноза, в том числе за счет внедрения системы наземных измерений и оперативного использования измеренных данных для анализа потребности в проведении очередного полива, а также для выработки качественного прогноза на кратко-, средне- и долгосрочный периоды. Вместе с тем, программная часть комплекса должна обеспечивать и возможность использования расчетных методов для оценки текущих запасов эффективной почвенной влаги. Таким образом, должно быть выработано универсальное решение, обеспечивающее непрерывный мониторинг и надежный прогноз водного режима почвы при использовании гидротехнических систем разного поколения.

Материалы и методы. Задача, на решение которой направлены исследования, состоит в повышении качества информационного обеспечения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур с возможностью использования современных решений в области автоматизированного мониторинга водного режима почвы орошаемых земель. Методологической основой исследований стали приемы эвристического анализа функций информационной системы современных объектов мелиоративного назначения, структурного моделирования процесса при-

нятия решений в системе планового водопользования для оптимального управления водным режимом почвы. Предмет моделирования – система программно-аппаратного обеспечения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур. Материалами, которые приняты за основу, являются известные алгоритмы, разработанные в разные годы учеными МГМИ, БСХА, ВНИИОЗ [9, 6, 7], новые решения в технике и технологии проведения поливов, включая капельное орошение [8], функциональные возможности современных систем непрерывного мониторинга и управления орошением [1, 2, 3]. Рабочая гипотеза исследований заключалась в предположении о возможности повышения качества информационного обеспечения задач управления водным режимом почвы за счет структурной оптимизации и совокупного использования расчетных и аппаратных ресурсов, обеспечивающих:

- расширение функциональности информационной системы;
- использование современных решений в области мониторинга водного режима почвы в границах орошаемого участка или его части с использованием автоматизированных инструментально-измерительных комплексов;
- повышение надежности прогнозов и точности ретроспективных расчетов.

Результаты и обсуждение. Схематично модель оптимального управления водным режимом почвы при орошении представлена на рисунке. Особенностью предложенной модели является одновременное использование нескольких расчетных схем для расчета текущего состояния влажности почвы и определения прогнозной даты полива. Расчет проводится на два периода, которые разделяются моментом проведения расчета (нулевая дата D_0).

Для прогноза даты проведения очередного полива нулевая дата (D_0) является началом расчетного периода. Исходными данными являются сведения о водно-физических свойствах почвы, текущем состоянии влажности, прогнозные метеоданные. Расчеты проводятся с использованием унифицированной расчетной зависимости:

$$T_j^{pr} = \frac{W_a + P_{ef} + m(j-1)}{ET_{crop}^{сут.}(1-k_g)},$$

где T_j^{pr} – продолжительность периода до проведения j -го вегетационного полива, сут., j – номер очередного вегетационного полива, если за начало отсчета принять нулевую дату (дату проведения расчета), W_a – активные запасы почвенной влаги, которые могут быть использованы растениями по состоянию на дату проведения расчета (D_0), мм, P_{ef} – эффективные атмосферные осадки за расчетный период, мм, m – поливная норма, мм, k_g – коэффициент капиллярного подпитывания, в долях от $ET_{crop}^{сут.}$, $ET_{crop}^{сут.}$ – среднесуточное водопотребление культуры за расчетный период, мм в сут.

Приведенная зависимость получена в результате минимальной модернизации известной расчетной формулы [5], что позволило ее использовать для прогноза продолжительности периода до проведения очередного вегетационного полива с любой произвольной даты проведения расчетов, а также для составления графика поливов на весь оставшийся период вегетации культуры.

Определенная сложность использования приведенной зависимости состоит в том, что эффективные осадки, P_{ef} должны быть представлены за некоторый расчетный период, T_r . За этот же расчетный период T_r определяется значение среднесуточного водопотребления: $ET_{crop}^{сут.} = \frac{ET_{crop}}{T_r}$, где ET_{crop} – суммарное водопотребление культуры за расчетный период T_r , причем: $T_r \rightarrow T_j^{pr}$. Поэтому для прогноза продолжительности периода до проведения очередного полива целесообразно проводить итерационные расчеты с шагом T_r в одни сутки до достижения минимальных различий между T_r и T_j^{pr} : $(T_r - T_j^{pr}) = F \rightarrow 0$ (рисунок).

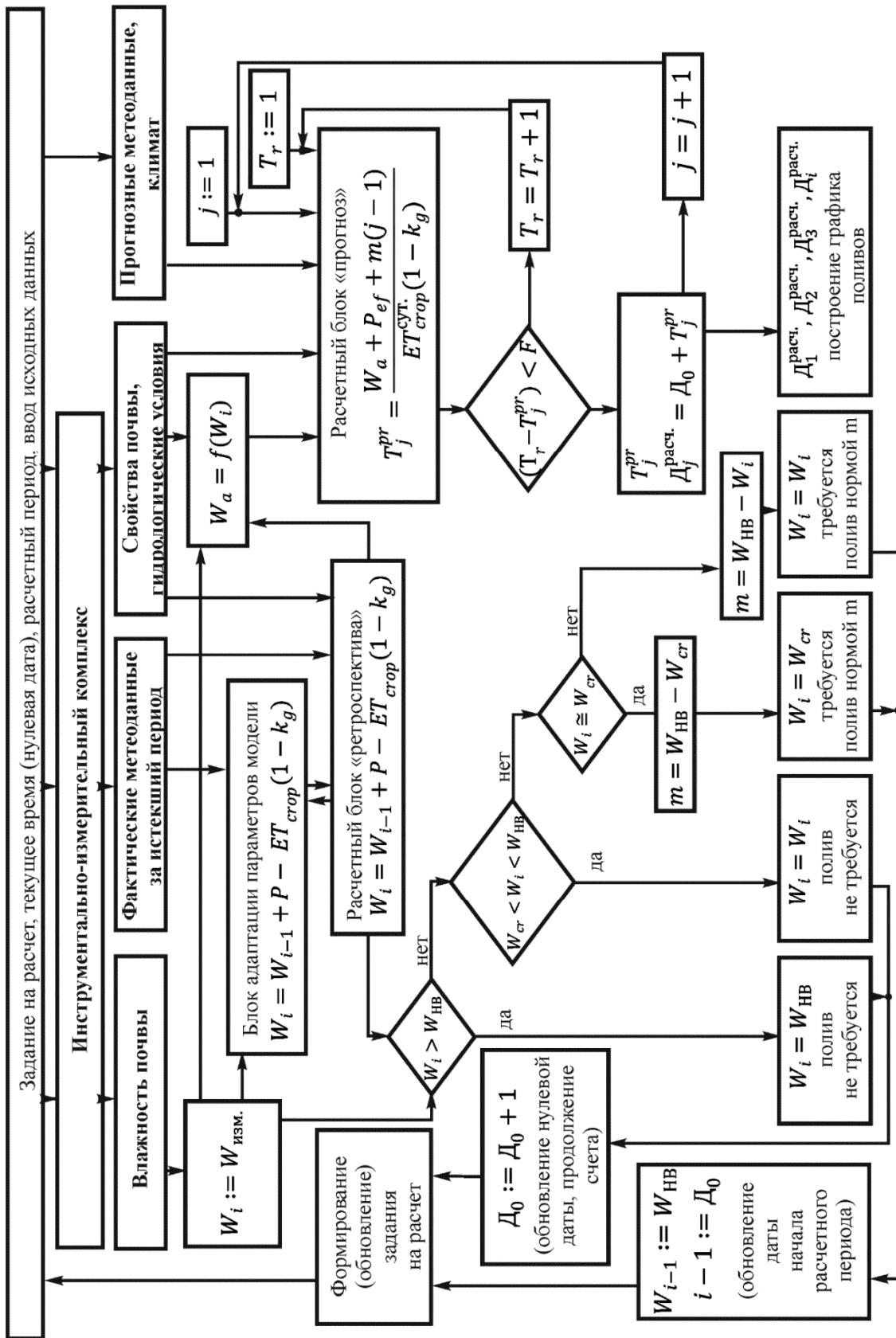


Рисунок – Структурная модель решения задач управления водным режимом почвы при орошении

Критерий F задается экспертно и позволяет закончить итерации при достижении заданной точности расчетов. Выходными данными являются дата проведения очередного вегетационного полива, примерные даты проведения последующих поливов или, в самом общем случае, климатически обоснованный график поливов на весь вегетационный период. Соответственно, для расчетов используется и разная исходная информация, – метеорологический прогноз на кратко-, средне- и долгосрочный периоды, а также климатическая характеристика региона.

Значения активных запасов почвенной влаги, которые могут быть использованы растениями (W_a), согласно предложенной модели, определяется исходя из объема текущих почвенных влагозапасов (W_i), полученных расчетом или в результате физического контроля влажности почвы. При отсутствии развернутой системы физического мониторинга водного режима почвы в качестве исходных данных для определения активных почвенных влагозапасов (W_a) используется расчетное значение W_i на нулевую дату (D_0).

Для определения текущих влагозапасов (W_i) проводится ретроспективный расчет и в этом случае нулевой датой (D_0) завершается расчетный период. Расчеты проводятся по фактическим метеоданным за истекший период с использованием формулы [7, 5]:

$$W_i = W_{i-1} + P - ET_{crop}(1 - k_g),$$

где W_i – запасы почвенной влаги на момент проведения расчетов (конец расчетного периода), м³/га W_{i-1} – почвенные влагозапасы на начало расчетного периода, м³/га, P – объем атмосферных осадков за расчетный период, м³/га.

Началом расчетного периода при этом является дата последнего физического измерения влажности почвы или дата проведения полива. Выходными данными являются информация о текущем состоянии влажности почвы, потребности в проведении очередного вегетационного полива и поливной норме.

Ключевым показателем в расчетных блоках предложенной модели, является значение суммарного водопотребления (ET_{crop}). Следует признать, что по поводу использования расчетной модели для определения суммарного водопотребления в научной общественности сегодня нет единого мнения. Наибольшее признание получили модели, опирающиеся на значения эталонной эвапотранспирации (модель Пенмана-Монтейта [10]):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

где ET_0 – эталонная эвапотранспирация, мм/сут., R_n – чистая радиация на поверхности растений, мДж/м² в сут., G – плотность теплового потока почвы, мДж/м² в сут., t – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, U_2 – скорость ветра на высоте 2 м, м/с, e_s – давление пара насыщения, кПа, e_a – фактическое давление пара, кПа, $e_s - e_a$ – дефицит давления пара насыщения, кПа, Δ уклон кривой давления пара, кПа/°С, γ – психрометрическая постоянная, кПа/°С.

В действительности использование подобных моделей эффективно только при использовании фактической (ретроспективной) метеорологической информации. Последнее подтверждается результатами исследования корреляций расчетных и фактических значений суммарного водопотребления при использовании прогнозируемых гидрометеорологических показателей (таблица).

Как видно из представленных в таблице данных, наиболее сильные корреляционные связи были получены по однопараметрическим расчетным моделям, в частности – по связи суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур с суммой

накопленных среднесуточных температур воздуха. Снижение надежности многопараметрических моделей определения суммарного водопотребления (в данном случае – модели определения потенциальной эвапотранспирации) объясняется использованием большого числа трудно-прогнозируемых метеорологических показателей.

Таблица – Осредненные результаты корреляционного анализа взаимосвязи суммарного водопотребления с гидрометеорологическими факторами при использовании прогнозной информации [4]

Показатели	Дисперсия	R^2	R
Сумма температур	56,8	0,505	0,711
Сумма дефицитов влажности воздуха	69,6	0,257	0,507
Потенциальная эвапотранспирация	71,5	0,214	0,462
Скорость ветра	66,9	0,313	0,560
Радиационный баланс	74,7	0,144	0,379

Поэтому в представленной модели программно-аппаратного обеспечения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур предлагается:

- для расчета текущих запасов почвенной влаги (W_i) использовать значения суммарного водопотребления, определенные по уровню эталонной эвапотранспирации с вводом фактической гидрометеорологической информации. Этот же метод определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур предлагается использовать для составления климатически обоснованных графиков полива на вегетационный период. В качестве исходных данных в этом случае используется агроклиматическая характеристика региона;

- для расчета прогнозной даты очередного вегетационного полива ($D_{расч.}$) использовать значения суммарного водопотребления, определенные по простым, однопараметрическим моделям с вводом прогнозной гидрометеорологической информации. Эти же модели определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур предлагается использовать при составлении графиков полива на кратко- и среднесрочный периоды.

В совокупности использование разных расчетных зависимостей для решения прогнозных задач и определения текущих запасов влаги в почве позволяет повысить эффективность управления водным режимом почвы и планирования водопользования при орошении сельскохозяйственных культур.

Предложенная модель также предусматривает возможность использования данных физического мониторинга водного режима почвы. В этом случае расчетная информация блокируется, а для анализа и принятия решения используются результаты измерений, проведенных непосредственно на орошаемом участке. Введение аппаратно-измерительного блока в предложенную модель позволяет использовать технические и технологические преимущества гидромелиоративных систем нового поколения, органично совмещая возможности аппаратного и вычислительного комплекса для решения задач оптимального управления водным режимом почвы. Кроме того, результаты физического измерения водного состояния почвы в разные периоды роста и развития сельскохозяйственных культур предлагается использовать для идентификации региональных параметров связи эталонной эвапотранспирации и водопотребления сельскохозяйственных культур. В этом смысле предложенная модель обладает исследовательским и адаптационным потенциалом.

Выводы. В результате исследований проведено теоретическое обоснование и предложена модель оптимального управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур, характеризующаяся:

- компактным решением с возможностью осуществления всего комплекса функций по планированию поливного режима, включая разработку прогностической программы, формирование корректирующего прогноза потребности в поливах на любой срок с оценкой вероятности осуществления прогноза, составление оперативно-текущих планов, анализ необходимости проведения очередного полива с использованием ретроспективной информации;

- возможностью использования современных решений в области мониторинга водного режима почвы в границах орошаемого участка или его части с использованием автоматизированных инструментально-измерительных комплексов в качестве альтернативы расчетному методу с использованием ретроспективной агрометеорологической информации;

- возможностью использования измеренных данных для адаптации расчетных моделей прогнозирования водного режима почвы с учетом природных особенностей региона и орошаемых агроландшафтов;

- повышением точности прогнозных и ретроспективных расчетов за счет использования многопараметрических моделей определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур при использовании фактических метеорологических данных за истекший период (расчетный блок «ретроспектива») и простых, однопараметрических моделей определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур при использовании прогнозных метеоданных, в значительной мере неопределенного, вероятностного характера.

Библиографический список

1. Бородычев, В.В. Комплексы показателей мониторинга работы дождевальной техники в режиме реального времени [Текст]/ В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, Е.Э. Головинов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – №3(39). – С. 33-37.
2. Бородычев, В.В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур [Текст]/ В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8-11.
3. Бородычев, В.В. К вопросу об организации комплексного мониторинга работы дождевальной техники в режиме реального времени [Текст]/ В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Проблемы управления водными и земельными ресурсами: материалы Международного научного форума. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – С. 287-295.
4. Ильинская, И.Н. Нормирование водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе [Текст]/ И.Н. Ильинская. – Новочеркасск: РОСНИИПМ, 2001. – 163 с.
5. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение [Текст] : справочник / Под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.
6. Методические рекомендации по оперативному планированию режимов дождевания сельскохозяйственных культур на минеральных почвах Белорусской ССР [Текст]/ Под ред. М.Г. Голченко. – Горки: БСХА, 1986. – 44 с.
7. Методические указания и нормативы разработки систем управления экологической устойчивостью орошаемых агроландшафтов [Текст]/ И.П. Кружилин, В.Ф. Мамин, А.Г. Болотин и др. – М.: Россельхозакадемия, 2007. – 105 с.
8. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур [Текст]/ Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, О.А. Белик // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 22-24.
9. Шабанов, В.В. Оптимальное управление поливами при эксплуатации оросительных систем (рекомендации) [Текст]/ В.В. Шабанов, Ю.М. Землянов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 56 с.

10. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage [Text]/ Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. – 326 с.

Literature list:

1. Borodychev, V.V. A set of indicators for monitoring operation of a sprinkler technology in real time [Text]/ V.V. Borodychev, M.N. Lytov, E.E. Golovinov // News Nizhnevolzhskiy agricultural university complex: Science and Higher Vocational Education. – 2015. – №3(39). – P. 33-37.

2. Borodychev, V.V. An algorithm for solving problems of management of soil water regime for irrigation of crops [Text]/ V.V. Borodychev, M.N. Lytov // Irrigation and Water Management. – 2015. – № 1. – P. 8-11.

3. Borodychev, V.V. On the question of the organization of complex monitoring of sprinkler equipment in real time [Text]/ V.V. Borodychev, M.N. Lytov // Proceedings of the International Scientific Forum: Problems of water and land resources. – M.: RSAU-MACA, 2015 – P. 287-295.

4. Ilinskaya, I.N. Rationing water demand for irrigation of crops in the North Caucasus [Text]/ I.N. Ilinskaya. – City of Novocherkassk: ROSNIIPM, 2001. – 163 p.

5. Irrigation and Water Management. Irrigation [Text] : a handbook /Ed. B.B. Shumakova. – M.: Kolos, 1999. – 432 p.

6. Guidelines for operational planning of crop irrigation regimes on mineral soils of Belarusian SSR [Text]/ Ed. M.G. Golchenko. – Gorki: BAA, 1986. –44 p.

7. Guidelines and standards for the development of control systems of environmental sustainability of irrigated agricultural landscapes [Text]/ I.P. Kruzhilin, V.F. Mamin, A.G. Bolotin and etc. – M.: Rosselkhozakademiya, 2007. – 105 p.

8. Features of the water regime of the soil under drip irrigation of crops [Text]/ N.N. Dubenok, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, O.A. Belik // Scientific and technological agribusiness. –2009. – № 4. – P. 22-24.

9. Shabanov V.V. Optimal control of watering in the operation of irrigation systems (recommendation) [Text]/ V.V. Shabanov, Y.M. Zemlyanov. – M.: Agropromizdat, 1990. – 56 p.

10. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage [Text] / Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. – 326 с.

E-mail: vkoniigim@yandex.ru

УДК 631.674:635.25

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ РЕПЧАТОГО ЛУКА ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОСЕВА

THE EFFICIENCY OF DRIP IRRIGATION OF ONIONS UNDER DIFFERENT METHODS OF SOWING

С.М. Григоров¹, доктор технических наук, профессор

Д.С. Винников¹, аспирант

Ю.Н. Черкашин², кандидат технических наук, доцент

S.M. Grigorov, D.S. Vinnikov, J.N. Cherkashin

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет

¹Volgograd State Agrarian University

²Belgorod National Research University

Актуальность разработок, обсуждению которых посвящена настоящая работа, определяется растущим дефицитом потребления репчатого лука в России, при сохраняющейся доле импортного лука на уровне 20 % от общего объема производства. В работе исследованы возможности повышения эффективности капельного орошения репчатого лука, в том числе, за счет оптимизации агротехнических приемов возделывания в сочетании с обоснованием мощности увлажняемого горизонта почвы. Получены данные, подтверждающие возможность получе-