

Научная статья

Original article

УДК 631.6

DOI 10.55186/25876740_2022_6_3_6

**К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ
НА РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

**TO THE QUESTION OF MANAGEMENT OF ECONOMIC ACTIVITIES
ON RICE IRRIGATION SYSTEM**



Приходько Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по учебной работе факультета «Гидромелиорации», доцент кафедры Строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», (350011, Краснодар, ул. Димитрова 3/1, кв. 248) тел. +7(909)4525133, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru

Степанова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», ИПУ РАН, лаборатория № 17 автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов (656015, Барнаул, ул. С. Республик 44, кв. 56) тел. +7 (903) 947-60-26, <http://orcid.org/0000-0001-5920-1358>, natalia0410@rambler.ru.

Prihodko Igor Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean for Academic Affairs of the Faculty of Hydromelioration,

Associate Professor of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina», (350011, Krasnodar, 3/1 Dimitrov st., Apt. 248) tel. +7 (909) 4525133, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru

Stepanova Natalya Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, FSBEI «Institute of Management Problems named after A. V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences», Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, laboratory No. 17 of automated queuing and signal processing systems (656015, Barnaul, S. Respublik st. 44, apt. 56) tel. +7 (903) 947-60-26, <http://orcid.org/0000-0001-5920-1358>, natalia0410@rambler.ru.

Аннотация. В статье рассматриваются технологические процессы, происходящие в рисовой оросительной системе, зависящие от множества факторов. Проектирование и оптимизация процессов усложняется взаимосвязанностью различных процессов и изменчивостью во времени. Исследование таких процессов является сложной задачей, так как требует учета большого числа факторов. Выбор конструктивно-технологических параметров эксплуатационных мероприятий с учетом фактических природно-климатических факторов заключается в формировании новой производственно-хозяйственной методологии, которая позволит на базе составленной оптимизационной математической модели получить конкретные управленческие варианты. В основе составленной имитационно-оптимизационной модели лежат количественно оцененные связи факторов антропогенного и природного характера. В статье авторы дополнительно учитывают предотвращенный эколого-мелиоративно-экономический ущерб с учетом неопределенности. Ущерб может быть причинен рисовой оросительной системе в результате проведения не соответствующих технико-технологическим, климатическим и почвенным условиям севооборотов, не соблюдения технологии производства риса, в том числе, пропуск

технологических агроприемов или их несвоевременное выполнение. В статье авторы предлагают когнитивную модель, в которой связь между факторами оценивается не только влиянием одного фактора на другой, но и временем достижения определенного состояния рисовой оросительной системой. Приведены выражения для среднего значения состояния РОС (при оценке вершин орграфа) и средней длительности наступления определенного состояния РОС (для характеристики связей между факторами).

Summary. The article discusses the technological processes occurring in the rice irrigation system, depending on many factors. The design and optimization of processes is complicated by the interconnectedness of various processes and variability over time. The study of such processes is a difficult task, since it requires taking into account a large number of factors. The choice of design and technological parameters of operational measures, taking into account the actual natural and climatic factors, consists in the formation of a new production and economic methodology, which will allow on the basis of the compiled optimization mathematical model to obtain specific management options. The compiled simulation and optimization model is based on quantified relationships between anthropogenic and natural factors. In the article, the authors additionally take into account the prevented ecological, reclamation and economic damage, taking into account uncertainty. Damage may be caused to the rice irrigation system as a result of carrying out crop rotations that do not correspond to technical and technological, climatic and soil conditions, non-compliance with rice production technology, including skipping technological agro techniques or their untimely implementation. In the article, the authors propose a cognitive model in which the relationship between factors is assessed not only by the influence of one factor on another, but also by the time the rice irrigation system reaches a certain state. Expressions are given for the average value of the state of ROS (when evaluating the vertices of the digraph) and using the average duration of the onset of a certain state of ROS (to characterize the relationships between factors).

Ключевые слова: рисовая оросительная система, мелиорация, водный,

солевой режим орошаемых земель.

Keywords: rice irrigation system, land reclamation, water, salt regime of irrigated lands.

Введение.

Выбор способа орошения (укороченным, прерывистым и прерывисто-импульсным затоплением, дождеванием, капельным поливом) на рисовой оросительной системе (РОС) имеет первостепенное значение и должен быть принят в соответствии с морфологическими признаками почвы и гидрогеологическими условиями рисовой системы [1]. Если этот выбор был не обоснован или выполнен не с должным вниманием, произойдет полная деградация рисовых почв или вывод земель из сельскохозяйственного назначения, что приведет к потере урожая и серьезным убыткам или банкротству предприятия. Также к высоким ущербам может привести недобросовестное отношение при составлении дефектной ведомости и/или выполнение по ней работ, что приведет к существенному снижению производительности производства риса и повлечет за собой убытки предприятия [2].

Безусловно, спрогнозировать или повлиять на природно-климатические условия крайне сложно, однако зная оценку их силы связи с другими факторами можно снизить риски, тем самым предотвратить или снизить предполагаемый ущерб. Также имитационно-оптимизационная модель включает в себя различные блоки: управление поливом, управление почвой, машинно-тракторным парком, видовым ассортиментом риса, энерго-обеспеченностью хозяйства, материальными и трудовыми ресурсами. Все это позволяет с высокой точностью оптимизировать имеющиеся в хозяйстве ресурсы, заносить в модель данные по воде (способ полива, нормы орошения, химический состав воды) и почве (по 20 мелиоративным показателям). Все это позволяет, управляя целевыми функциями модели (например, урожайностью и мелиоративным состоянием почв), оптимизировать имеющиеся в хозяйстве ресурсы для достижения заданных значений целевых функций. Такой подход дает

предпосылки к разработке информационно-советующих систем типа «цифровой двойник» рисовой оросительной системы и с высокой долей вероятности принимать эффективные управленческие решения в границах отдельно взятого хозяйства. При этом управленческие решения формируются в доступной для работников агропромышленного комплекса форме в виде технологических карт, а также прогнозов изменения контролируемых программой факторов.

Материалы и методы.

Как решить задачу оптимизации имеющихся в хозяйстве ресурсов? Имея, к примеру, карту мелиоративного состояния почв участка, составив модель хозяйственной деятельности, в соответствии с ее целевой функцией – получение максимальных урожаев без снижения плодородия почвы и с минимальными итоговыми затратами, как выполнить анализ, чтобы учесть перераспределение имеющихся ресурсов (энергетических, трудовых, экономических, технико-технологических) с целью получения запрограммированных урожаев. Следует отметить факторы, которые являются слабо контролируемыми и которые приводят к серьезным ущербам. К ним можно отнести климатические явления: град, маловодный год (не хватает воды на орошение) или многоводный год (болезни растений, затруднение в сборе урожая из-за высокой влажности почвы), сильный ветер в период созревания риса выбивает зерно из метелки или колоса и осыпает его на землю.

При управлении технологическим процессом необходимо учитывать динамику погодных условий и неопределенные реакции растений на внешние воздействия.

Почва, являясь для питательных веществ и влаги большой емкостью, обладающей инерционностью, и как открытая динамическая система подвержена воздействию случайных возмущений. Следовательно, систему, представляющую почву, можно характеризовать как слабоструктурированную.

Такие системы исследовать с помощью аналитических методов

затруднительно или невозможно. Задача принятия решения о наиболее эффективном управляющем воздействии актуальна и является многокомпонентной [3]. Одним из вариантов исследования может быть построение когнитивной модели. Когнитивная модель будет формально представлять конкретные связи между факторами, характеризующими рисовую оросительную систему (РОС). В результате РОС представляется когнитивной картой $G = (E, W)$, где $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – множество факторов, W – связи между факторами. Связь между двумя факторами положительна, если при увеличении одного фактора другой тоже увеличивается. Если при увеличении одного фактора происходит уменьшение второго – связь отрицательная.

Эффективное решение задачи можно получить с помощью теории орграфов. В статье факторы рассматриваются в различных временных периодах.

Урожай риса формируется при выполнении мероприятий, разделенных на 6 этапов: 1. Предпосевная обработка почвы, 2. Посев риса, 3. Затопление чеков и первая подкормка, 4. Вторая и следующие подкормки, 5. Предуборочная подготовка и обмолот, 6. Меж вегетационный период.

Нами выделены элементы РОС, характеризующие ее в рамках поставленной задачи (получение максимального урожая) – так называемые факторы. Вершины орграфа соответствуют выделенным факторам. В качестве результатов влияния этих факторов рассматриваются параметры: максимальная, минимальная температура, средняя температура, атмосферное давление и другие.

Вершина 1. Урожайность.

Вершина 2. Комплекс технологических агромелиоративных мероприятий в предпосевной период.

Вершина 3. Почвенные условия. Обработка почвы.

Вершина 4. Бюджет хозяйства (тыс. рублей).

Вершина 5. Подготовка семян. Посев риса.

Вершина 6. Эксплуатационные мероприятия в вегетационный период.

Вершина 7. Эксплуатационные мероприятия в период предуборочной подготовки.

Вершина 8. Эксплуатационные мероприятия в меж вегетационный период.

При моделировании можно рассматривать следующие задачи:

1. Выявлять факторы, эффективно влияющие на цели моделирования, а также решать обратные задачи.
2. Выполнять прогноз состояния РОС при различных управляющих воздействиях.

Проведенные расчеты позволяют сформировать количественные оценки вершин орграфа и начальные изменения в вершинах. Исследователь задает какой-либо вершине определенное изменение. Эта вершина актуализирует всю систему показателей, что позволяет далее анализировать импульсный процесс.

Для количественной характеристики вершин орграфа введем стоимость затрачиваемых мероприятий $S(t)$ и рассмотрим $S(t)$ непрерывно изменяющейся функцией времени t . Предполагаем, $S(t)$ убывает от некоторой цены $S_0 = S(0)$, так что уравнение $S(t) = S$ можно однозначно разрешить относительно аргумента t , то есть получить соотношение $t = t(S)$. Введем функцию

$$a(S) = - \left. \frac{dS}{dt} \right|_{t=t(S)}. \quad (1)$$

В силу сделанных предположений $a(S) > 0$.

Будем считать, что затрачиваемые мероприятия образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности λ , т.е. λ – интенсивность последовательности мелиоративных мероприятий. Выполненное мероприятие доводит систему до определенного состояния с вероятностью $R(S)$, зависящей от цены $S(t)$. Будем

считать далее, что $R(S)$ есть монотонно убывающая функция, так что с уменьшением цены мероприятий вероятность достижения ущерба возрастает. Кроме этого, будем считать, что существует некоторая минимальная цена S_m – такая что $R(S_m)=1$, то есть по этой цене отмечается наступление ущерба окружающей среде всегда.

Будем называть стоимость, при которой состояние будет достигнуто, стоимостью состояния объекта.

В расходы входят также стоимость реконструкции и капитальной планировки рисовых оросительных систем, улучшения их мелиоративного и технического состояния.

В рамках предлагаемой модели эта стоимость будет случайной величиной (с учетом неопределенности климатических факторов).

Нами получено выражение для математического ожидания стоимости состояния объекта. При этом использовано обозначение $g(S) = \lambda R(S)/a(S)$.

$$m_{1S}(S) = S - \int_{S_m}^S \exp\left(-\int_y^S g(x)dx\right) dy. \quad (2)$$

Чтобы воспользоваться формулой (2) для конкретных вычислений, рассмотрим следующую зависимость от времени стоимости состояния РОС [4]

$$S(t) = S = S_m + (S_0 - S_m)e^{-\alpha t}. \quad (3)$$

Тогда

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha(S_0 - S_m)e^{-\alpha t} = -\alpha(S - S_m),$$

так что $a(S) = \alpha(S - S_m)$.

Будем рассматривать выражение для вероятности состояния РОС $R(S)$ в

$$\text{виде } R(S) = \frac{S_M - S}{S_M - S_m}, \quad (4)$$

так что $R(S_M)=0$ и $R(S_m)=1$. Величина S_M – максимальная стоимость

мероприятий, при которой хозяйство не получает прибыли.

В этом случае

$$g(S) = \frac{\lambda}{\alpha} \cdot \frac{S_M - S}{(S_M - S_m)(S - S_m)}.$$

Отношение λ / α будем обозначать ρ .

Интеграл в формуле (2) найден численно [5].

Для вычислений введена безразмерная величина $\xi = (S - S_m) / (S_0 - S_m)$, которая меняется в пределах $0 \leq \xi \leq 1$ и безразмерный параметр $\Delta = \frac{S_0 - S_m}{S_M - S_m}$. Для среднего значения величины ξ получено выражение

$$M\{\xi\} = \rho \int_0^1 (1 - \Delta x) \exp(\rho \ln x + \rho \Delta(1 - x)) dx.$$

График зависимости $M\{\xi\}$ от ρ при различных Δ приведен на рисунке 1.

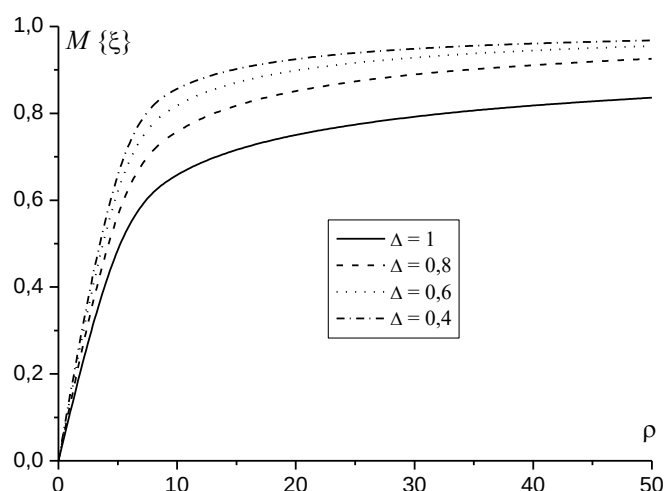


Рисунок 1 - графики зависимости среднего значения стоимости мероприятия от параметра ρ при различных Δ

Для оценки связей между вершинами оргграфа будем учитывать оценку трудности достижения требуемого качества d_j , которая характеризует степень выполнения определенных требований, разработанную Рексом Л. М. Оценка трудности достижения требуемого качества использована автором при разработке вопросов управления мелиоративным состоянием почв для экологической безопасности рисовой оросительной системы [6].

Часто важен вопрос, в какие сроки РОС достигнет определенного состояния. Чтобы получить ответ на этот вопрос, надо каждую дугу характеризовать не только показателем влияния одного фактора на другой, но и временем достижения этого состояния. Рассуждениями, аналогичными проведенным при выводе формулы (2), нами определена средняя длительность наступления определенного состояния системы (формула (5)).

$$m_t(S) = \frac{1}{\lambda} \cdot \exp\left(-\int_{s_m}^S g(x)dx\right) + \int_{s_m}^S \frac{1}{a(y)} \exp\left(-\int_y^S g(x)dx\right) dy. \quad (5)$$

Предложенный подход позволяет производить анализ и много вариантные расчеты, исследовать режим функционирования РОС в разных ситуациях, связанных с изменением условий окружающей среды, что делает управленческие решения обоснованными.

Выводы.

В работе предлагается адаптивный подход к проблеме оптимизации хозяйственной деятельности на рисовых оросительных системах на основе теории графов, заключающийся во внедрении управленческой методологии производственно-хозяйственной деятельности на мелиорируемых землях и осуществляемый в хозяйствах через выполнение эколого-адаптивных технологических карт, разработанных с помощью математической модели хозяйственной деятельности на рисовой оросительной системе в условиях неопределенности, реализованной в виде программного продукта "цифровой двойник рисовой оросительной системы". Такой подход позволит снизить риски и ущербы в процессе производства риса и выведет рисосеющую отрасль России на новый высокий уровень, что обеспечит укрепление продовольственной безопасности России.

Литература

1. Чеботарев М.И., Приходько И.А. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса. Патент на изобретение RU 2482663 С2, 27.05.2013. Заявка № 2011123829/13 от 10.06.2011.

2. Приходько И. А. Способ определения агресурсного состояния почв по мелиоративной шкале рисовой оросительной системы / И. А. Приходько // Патент на изобретение 2729369 С1, 06.08.2020. Заявка № 2019143539 от 20.12.2019.

3. Ефросинин Д., Штрик Дж., Фархадов М., Степанова Н. Анализ надежности двух серверной гетерогенной ненадежной системы массового обслуживания с политикой порогового управления. Коммуникации в компьютерных и информационных науках (см. в книгах). 2017. Т. 800. С. 13-27.

4. Китаева А.В., Степанова Н.В. Управление опционными ресурсами // Вестник Томского политехнического университета. 2013. Т. 322. № 5. С. 23-28.

5. Ефросинин Д.В., Фархадов М.П., Степанова Н.В. Исследование управляемой системы массового обслуживания с ненадежными гетерогенными серверами. Автоматизация и дистанционное управление. 2018. № 79. № 2. С. 265-285.

6. Приходько И.А. Управление мелиоративным состоянием почв для экологической безопасности рисовой оросительной системы: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кубанский государственный аграрный университет. Краснодар, 20085.

Literatura

1. Chebotarev M.I., Prihod'ko I.A. Sposob melioratsii pochvy risovoi orositel'noi sistemy k posevu risa. Patent na izobretenie RU 2482663 C2, 27.05.2013. Zayavka № 2011123829/13 ot 10.06.2011.

2. Prihod'ko I. A. Sposob opredeleniya agroresursnogo sostoyaniya pochv po meliorativnoi shkale risovoi orositel'noi sistemy / I. A. Prihod'ko // Patent na izobretenie 2729369 C1, 06.08.2020. Zayavka № 2019143539 ot 20.12.2019.

3. Efrosinin D., Shtrik Dzh., Farkhadov M., Stepanova N. Analiz nadezhnosti dvukh servernoi geterogennoi nenadezhnoi sistemy massovogo obsluzhivaniya s politikoi porogovogo upravleniya. Kommunikatsii v komp'yuternykh i informatsionnykh naukakh (sm. v knigakh). 2017. T. 800. S. 13-27.

4. Kitaeva A.V., Stepanova N.V. Upravlenie optsionnymi resursami // Vestnik Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2013. T. 322. № 5. S. 23-28.
5. Efrosinin D.V., Farkhadov M.P., Stepanova N.V. Issledovanie upravlyaemoi sistemy massovogo obsluzhivaniya s nenadezhnymi geterogennymi serverami. Avtomatizatsiya i distantsionnoe upravlenie. 2018. № 79. № 2. S. 265-285.
6. Prihod'ko I.A. Upravlenie meliorativnym sostoyaniem pochv dlya ehkologicheskoi bezopasnosti risovoi orositel'noi sistemy: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. Krasnodar, 20085.

© Приходько И. А., Степанова Н. В., 2022. *International agricultural journal*, 2022, № 3, 1060-1071.

Для цитирования: Приходько И. А., Степанова Н. В. К вопросу управления хозяйственной деятельностью на рисовой оросительной системе // *International agricultural journal*. 2022. № 3, 1060-1071.