Научная статья

Original article

УДК631.1

DOI 10.55186/25876740_2022_6_4_19

ПОСТРОЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

BUILDING A COGNITIVE MAP OF FUNCTIONING 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.

Комсюкова Яна Алексеевна, обучающаяся 4-го курса факультета «Гидромелиорации» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», (350062 ул. Им. Яна Полуяна 28, кв. 65) тел. +7(953)0980313, http://orcid.org/0000-0002-8774-7216, komsyukovay@mail.ru

Prikhodko 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.

Komsyukova Yana Alekseevna, 4th year student of the Faculty of Hydromelio-radiation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", (350062 St. Yana Poluyan 28, apt. 65) tel. +7(953)0980313, http://orcid.org/0000-0002-8774-7216, komsyukovay@mail.ru

Аннотация. Так как поверхность рисовых чеков на длительное время заливается водой, в почве развиваются восстановительные процессы, понижается окислительно-восстановительный потенциал. В результате чего создается новая экологическая обстановка на рисовом поле. При этом теряются запасы кислорода, нитратного азота, оксида железа, сульфатов, гумуса, общего азота. В почве накапливается закисное железо, а иногда и сероводород. При плохой работе дренажа сероводород не полностью связывается закисными соединениями железа и его избыток вызывает гибель посевов риса. Функционирование рисовой оросительной системы и ее взаимодействие с окружающей средой невозможно представить в виде традиционных аналитических моделей. Задача усложняется необходимостью учитывать вероятностный характер происходящих процессов. Натурные эксперименты над

рисовой оросительной системой опасны и недопустимы. Потому необходима разработка модели для рассмотрения поведения системы при изменении внешних и внутренних условий с учетом вероятностного характера происходящих процессов, для выполнения имитационного моделирования. Такие задачи легче решать на основе теории орграфов, которая отображает в формируемых моделях систем обратные связи, что невозможно с использованием математического аппарата. В статье рассматривается построение когнитивной карты функционирования рисовой оросительной системы, разработан подход составления функциональной зависимости между параметрами, характеризующими вершины орграфа, что позволит количественно оценивать силу влияния одного фактора на другой. Приведено выражение для длительности наступления определенного состояния рисовой оросительной системы. С помощью составленной модели можно сформировать количественный прогноз изменения показателей системы, а также найти различные варианты воздействия на изучаемую систему с целью получения лучшего варианта управления функционированием рисовой оросительной системой.

Summary. Since the surface of rice checks is flooded with water for a long time, reducing processes develop in the soil, the redox potential decreases. As a result, a new ecological situation is created in the rice field. At the same time, reserves of oxygen, nitrate nitrogen, iron oxide, sulfates, humus, and total nitrogen are lost. Nitrous iron accumulates in the soil, and sometimes hydrogen sulfide. With poor drainage, hydrogen sulfide is not fully bound by iron oxide compounds and its excess causes the death of rice crops. The functioning of the rice irrigation system and its interaction with the environment cannot be represented in the form of traditional analytical models. The task is complicated by the need to take into account the probabilistic nature of the processes taking place. Field experiments on the rice irrigation system are dangerous and unacceptable. Therefore, it is necessary to develop a model to consider the behavior of the system when external and internal conditions change, taking into account the probabilistic nature of the processes taking place, to perform simulation modeling. Such problems are easier to solve on the basis of the theory of digraphs, which displays feedback in the generated models

of systems, which is impossible with the use of mathematical apparatus. The article discusses the construction of a cognitive map of the functioning of the rice irrigation system, an approach has been developed to compile a functional relationship between the parameters characterizing the vertices of the digraph, which will allow quantifying the strength of the influence of one factor on another. An expression is given for the duration of the onset of a certain state of the rice irrigation system. With the help of the compiled model, it is possible to form a quantitative forecast of changes in the indicators of the system, as well as to find various options for influencing the system under study in order to obtain the best option for controlling the functioning of the rice irrigation system.

Ключевые слова: когнитивная модель, управление, рисовая оросительная система, мелиоративные мероприятия

Keywords: cognitive model, management, rice irrigation system, reclamation measures

Введение.

В 2020 году площадь сева риса в РФ составила – 197,2 тыс. га, из них 73,6 % расположены в Краснодарском крае.

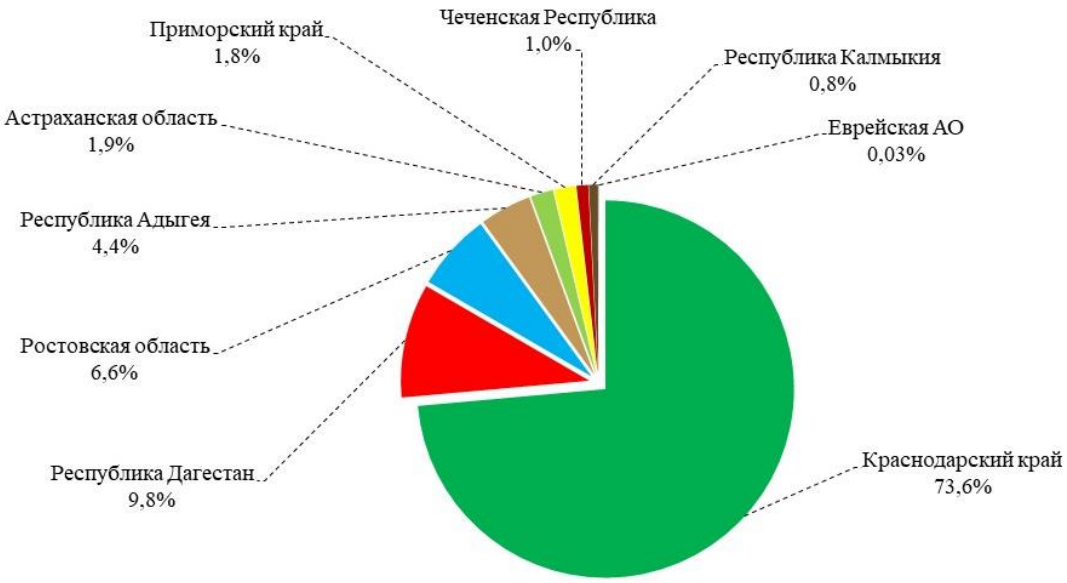

Рисунок 1 – Доля регионов России по валовым сборам риса в 2020 году, % от общего объема урожая риса – 1141,8 тыс. тонн

Производство риса – одно из основных направлений сельского хозяйства на Кубани. Для разработки и апробации математической модели выбран Краснодарский край, который по праву называется аграрной столицей России. В Краснодарском крае 4724,5 га сельскохозяйственных угодий. Почвенный покров края представлен 108 наименованиями почв, преобладающий тип – черноземы, мощность гумусового слоя часто превышает 1,2 м. Площадь орошаемых земель составляет 453,4 тыс. га. Краснодарский край является уникальным объектом исследований с высокоразвитой и многовековой историей земледелия, к основным климатическим факторам которого следует отнести: неустойчивое, а в северной части региона, недостаточное увлажнение, предрасположенность почвенного покрова к осолонцеванию, засолению и эрозии, на обширных территориях наблюдается переувлажнение, повышенная кислотность и заболачивание.

Ключевыми проблемами рисоводов являются: неупорядоченное использование земель рисового фонда, отсутствие локальной системы мониторинга мелиоративного состояния рисовых почв и как следствие, неоптимизированное выполнение комплекса технологических операций на рисовых чеках, а также отсутствие высокоэффективного комплекса машин, необходимого для работы в условиях тяжелых почв.

Следует отметить: в ряду антропогенных нагрузок на природную среду существенное значение имеет водохозяйственная деятельность и мелиорация; при возделывании риса затопление почв водой резко меняет протекание химических и биохимических реакций, претерпевают изменения такие показатели, как величина pH почвы, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), емкость поглощения, качественный состав катионов, количество закисных и окисных форм железа. Преобразуется минеральный состав, микро-морфологическое строение, физические и агрохимические свойства почвы; при длительном переувлажнении почв РОС в них всегда имеются признаки протекания процессов оглеения и слитизации; при плохо работающей дренажно-сбросной сети каналов в периоды между затоп-

лениями рисового поля может идти миграция солей к поверхности почвы с капиллярно-восходящим потоком воды. При этом развивается процесс вторичного засоления почв.

Материалы и методы.

Решаемая задача повышения продуктивности производства рису путем управления рисовой оросительной системой с помощью построения когнитивной карты функционирования рисовой оросительной системой является актуальнейшей для всех сельскохозяйственных наук, но, прежде всего – мелиорации. Это связано как со значительными финансовыми затратами, так и с масштабным воздействием мелиоративного земледелия на компоненты окружающей природной среды, почему и управлять рисовой оросительной системой необходимо с учетом природных условий конкретного региона и свойств оросительной системы.

Перечислим основные технологические операции возделывания и уборки риса. Технология возделывания и уборки риса включает в себя следующие технологические операции: основную и предпосевную обработки почвы, мелиоративные работы, внесение удобрений, посев, поддержание водного режима, уход за посевами и уборку урожая [1].

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. Межвегетационный период.

Анализ хозяйственной деятельности на РОС будем проводить с помощью теории ориентированных графов для оценки эффективности внедрения новых проектов, обеспечивающих максимальную урожайность на РОС.

В работе рассматривается построение когнитивной карты функционирования рисовой оросительной системы. При когнитивном подходе используются знания о процессах, происходящих в реальной системе, а также информация о показателях функционирования системы. В орграфе факторы объединены причинно-следственными связями.

Когнитивное моделирование основывается на сравнении свойств модели со свойствами реальной системы. Так как при когнитивном моделировании производится имитация реальных процессов, то возможно получение новых знаний о процессах и отказ от эксперимента над реальной системой, что особенно важно при недопустимости эксперимента над реальной системой.

Результаты.

При рассмотрении функционирования РОС мы ограничивались учетом так называемых «жестких» факторов, которые можно характеризовать количественно. «Мягкие» факторы (например, уровень развития социальной среды рассматриваемой системы) количественно трудноизмеримы.

Нами выделены элементы РОС, характеризующие ее в рамках поставленной задачи (получение максимального урожая) – так называемые факторы. Вершины орграфа соответствуют выделенным факторам [2]. 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 межвегетационный период.

Комплекс технологических агромелиоративных мероприятий в предпосевной период включает: вспашку зяби, рыхление чизелями, нивелирование чеков.

Посев риса производят с 25 апреля по 5 мая. Затопление чеков и первую подкормку делают после посева (7-8 мая), затем следуют вторая (в фазе двух - трех

листьев) и следующие подкормки.

В период предуборочной подготовки слой воды снижают на 1 см в сутки. Валки высушивают и проводят обмолот.

Изложенная технология разработана ВНИИ риса и позволяет получать до 50-60 ц/га.

На начальном этапе когнитивного моделирования разрабатывается когнитивная карта G = {V, E}, где V = {V_i} i = 1, 2, …k – множество вершин и E = {e_{ij}} i,j = 1,2,…k – множество связей между вершинами (множество связей характеризует причинно-следственные связи между вершинами). С помощью орграфа можно объединить в модели системы различные показатели.

Количественные оценки вершин и связей орграфа стохастичны, так как существенно зависят от климатических характеристик и почвенных условий. Потому используем вероятностный подход решения задачи, рассматривая намечаемые мероприятия пуассоновским потоком определенной интенсивности λ.

В работе приняты следующие обозначения:

λ – интенсивность потока Пуассона, интенсивность последовательности мелиоративных мероприятий, S – стоимость мероприятий,

R(S) – вероятность доведения системы до определенного состояния.

Интерпретация параметра λ зависит от рассматриваемой задачи. Например, в период эксплуатации – учитывается распределение и учет воды ($м^3$), при организации и производстве работ по ремонту сети учитываются затраты на модернизацию коллекторно-дренажной сети, реконструкцию насосных станций, оборудования (руб.), при рассмотрении агротехнологических операций – требуемые сроки в соответствии с биологическими фазами развития растений (дн.), при внесении мелиорантов в почву (т/га).

Так ка важно в какие сроки система достигает определенного состояния, нами получено выражение для среднего значения времени наступления удовлетворительного мелиоративного состояния

$$\bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \psi_1(\lambda R_n T_n) \cdot exp(-\sum_{k=1}^{n-1} \lambda R_k T_k). \quad (1)$$

В выражении (1) введена функция $\psi_1(x)$,

$$\psi_1(x) = e^{-x} + \phi_1(x) = \frac{1-e^{-x}}{x}, \quad (2)$$

график которой изображен на рисунке 2.

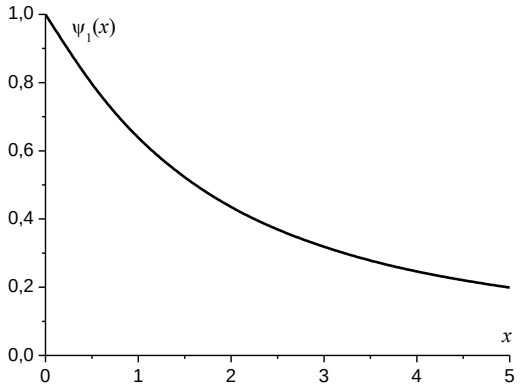

Рисунок 2 – график функции $\psi_1(x)$ для нахождения $\bar{\tau}$

Полученная формула (1) позволяет количественно характеризовать комплекс технологических мероприятий в предпосевной период, эксплуатационные мероприятия в вегетационный период, в период предуборочной подготовки и в межвегетационный период и установить функциональную связь между вершинами 2 и 3; 1 и 6.

Нами рассмотрен вопрос об оптимальном законе изменения стоимости мероприятий [3,4]. Если удовлетворительное состояние системы наступит в момент времени τ, то общий доход Q предприятия от проведенных мероприятий можно записать в виде

$$Q = \int_0^{\infty} (S(\tau) - K(\tau))\, \lambda R(S(\tau))\, exp\Big(-\int_0^{\tau} \lambda R(S(t))\, dt\Big)\, d\tau\,, \quad (3)$$

и потребовать $Q \Rightarrow \max_{S(\tau)}$.

В выражении (3) функция $S(\tau)$ – стоимость мероприятий, осуществленных до момента времени τ, функция $K(\tau)$, характеризует экологический ущерб, который будет нанесен оросительной системе, если удовлетворительное состояние системы наступит в момент времени τ. Нами рассмотрен частный случай выражения ущерба $K(\tau) = K_0\tau$.

Используя методы вариационного исчисления, получили формулу для коэффициента K_0.

$$K_0 = \lambda \frac{(S_M - S_0)^2}{S_M - S_m},$$

где S_m – минимальная стоимость мероприятий, при которой неудовлетворительное состояние системы наступит обязательно, $R(S_m) = 1$,

S_M – максимальная стоимость мероприятий, при которой не будет ущерба природной среде, $R(S_M) = 0$.

Из выражения (7) получаем оптимальную стоимость мероприятий

$$S_0 = S_M - \sqrt{\frac{K_0(S_M - S_m)}{\lambda}} \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показал, что предложенная модель допускает прогноз влияния изменений условий эксплуатации оросительного объекта на количественном уровне и может быть использована для своевременной разработки мероприятий по недопустимому ухудшению почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель, для повышения экологической надежности их функционирования.

Модель дает возможность исследовать особенности функционирования системы в любых реальных ситуациях, прогнозировать поведение системы при изменении условий окружающей среды и снизить риски неопределенностей при принятии управленческих решений и обоснованному выбору мероприятий.

Заключение.

Задача принятия решения о наиболее эффективном управляющем воздействии актуальна. 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. Перечисленные вопросы можно решить, проводя имитационные расчеты с использованием модели орграфа. Следующий этап исследований – разработка информационно-советующей системы

на базе имитационных моделей для обеспечения максимально-эффективного использования ресурсов хозяйства и решения главной задачи получение гарантированных урожаев высококачественного зерна риса.

Представляется перспективным намеченный подход к решению вопросов управления рисовой оросительной системой. Полученные результаты могут быть использованы при формировании практических механизмов, цель которых оценка основных рисков и принятие эколого-адаптивного и экономически обоснованного решения для получения гарантировано высокого урожая риса с минимальной себестоимостью продукции и минимальной степенью вредного воздействия на экосистему района.

Литература

1. Приходько И.А., Степанова Н.В. К вопросу управления хозяйственной деятельностью на рисовой оросительной системе // International agricultural journal. 2022. № 3, 1-11.

2. Safronova T., Vladimirov S., Prikhodko I., Sergeyev A. Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems. // В сборнике: E3S Web of Conferences. 8. Сер. «Innovative Technologies in Science and Education, ITSE 2020» 2020. С. 05014.

3. 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, 2008.

4. Чеботарев М.И., Приходько И.А. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса. Патент на изобретение RU 2482663 C2, 27.05.2013. Заявка № 2011123829/13 от 10.06.2011.

References

1. Safronova T., Vladimirov S., Prikhodko I., Sergeyev A. Optimization problem in mathematical modeling of technological processes of economic activity on rice irrigation systems. // В сборнике: E3S Web of Conferences. 8. Сер. «Innovative Technologies

in Science and Education, ITSE 2020» 2020. С. 05014.

2. Prikhodko I.A., Stepanova N.V. On the issue of management of economic activity in the rice irrigation system // International agricultural journal. 2022. No. 3, 1-11.

3. Prikhodko I.A. Management of the reclamation state of soils for the ecological safety of the rice irrigation system: abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Kuban State Agrarian University. Krasnodar, 2008.

4. Chebotarev M.I., Prikhodko I.A. Method for soil reclamation of rice irrigation system for rice sowing. Patent for invention RU 2482663 C2, May 27, 2013. Application No. 2011123829/13 dated 06/10/2011.

© Приходько И. А., Степанова Н. В., 2022. International agricultural journal, 2022, № 4, 1665-1676.

Для цитирования: Приходько И. А., Степанова Н. В., Комсюкова Я.А. Построение когнитивной карты функционирования рисовой оросительной системы // International agricultural journal. 2022. № 4, 1665-1676.