

Научная статья

Original article

УДК631.1

DOI 10.55186/25876740_2022_6_5_20

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПОСТРОЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РИСОВЫХ
АГРОЛАНДШАФТОВ**

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO CONSTRUCTION
OF A MATHEMATICAL MODEL OF FUNCTIONING
RICE AGROLANDSCAPE



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. По сравнению с другими зерновыми культурами рис более требователен к теплу и влаге. Это обуславливает повышение требования к технологии его воздействия и мелиоративному состоянию земель. Эффективность производства на рисовой оросительной системе (РОС) зависит от множества факторов, среди которых немаловажным является режим орошения. Главной задачей сельскохозяйственной отрасли является возможность оценки принимаемых управленческих решений для получения оптимального комплекса мер по совершенствованию существующих технологий. Для обоснования управленческих решений следует применять современные информационные технологии. Авторы рассматривают характеристики затрат по эксплуатации РОС с вероятностной точки зрения и предлагают две математические модели. В первой модели стоимость затрат – непрерывная функция, во второй модели – ступенчатая. Приведены выражения средней стоимости состояния РОС и ее дисперсия (первая модель) и вычислена основная характеристика второй модели – распределение номера фазы, при котором будет достигнуто удовлетворительное состояние РОС, что позволит количественно оценивать управленческие решения для получения высоких урожаев риса и обеспечивать качественное состояние земель.

Использование предлагаемых математических моделей обеспечит учет стохастического характера воздействия природно-климатических факторов и даст количественное обоснование управленческим решениям и хозяйственным мероприятиям.

Annotation. Compared to other grain crops, rice is more demanding on heat and moisture. This determines an increase in the requirements for the technology of its impact and land reclamation. The efficiency of production on a rice orphaning system (Ros) depends on many factors, among which the irrigation regime is important. The main task of the agricultural industry is the ability to evaluate the management decisions taken to obtain the optimal complex of measures to improve existing technologies. To justify management solutions, modern information technologies should be applied. The authors consider the characteristics of operating costs from a probabilistic point of view and offer two mathematical models. In the first model, the cost of costs is a continuous function, in the second model - stepped. Expressions of the average value of the state of the state and its dispersion (the first model) are given and the main characteristic of the second model is calculated - the distribution of phase number, in which a satisfactory state will be achieved, which will quantify managerial decisions to obtain high rice crops and ensure a qualitative state of land. The use of the proposed mathematical models will ensure that the stochastic nature of the influence of natural-climatic factors will provide a quantitative justification of management decisions and business activities.

Ключевые слова:

Keywords:

Введение.

На всех этапах производства риса необходимо принимать обоснованные управленческие решения и оценивать их возможные последствия. Изучение функционирования РОС позволит выделить факторы управления и установить связи между ними.

Материал и методика исследования.

Учитывая вероятностный характер природно-климатических факторов, предлагаем решение с применением стохастических методов. Рассматриваем намечаемые мероприятия пуассоновским потоком интенсивности λ . Все исследования должны основываться на «комплексном подходе» с определением степени влияния каждого мероприятия на планируемый результат, должны отражать влияние различных технологических и природно-климатических факторов.

Рассмотрим характеристики затрат, связанных с подготовительными работами и эксплуатацией рисовой оросительной системы. Будем называть стоимость, по которой состояние будет достигнуто, стоимостью состояния объекта и обозначать ее S . Стоимость состояния учитывает затраты, необходимые для возделывания риса. В рамках предлагаемой модели эта величина будет случайной. Для ее описания в зависимости от используемых мероприятий будем рассматривать различные математические модели.

Результаты и обсуждение

Первая модель – стоимость затрачиваемых мероприятий $S(t)$ изменяется непрерывно со временем t . Для создания и поддержания слоя воды на поверхности рисового поля необходима непрерывная ее подача, которая обеспечила бы наращивание слоя воды в период первоначального и повторного затоплений до заданного, а также поддержание слоя расчетной оптимальной глубины. Этой моделью можно пользоваться при рассмотрении следующих мероприятий: при первом затоплении рисовых чеков для создания слоя воды, при соблюдении плана водопользования, когда в различное время вегетационного периода создается проточность для снижения температуры воды на чеке или для уменьшения ее минерализации. Например, в период формирования метелки слой воды доводят до 25 см для создания оптимальной температуры в зоне узла кущения; затем при 8-9 листьях слой воды снижают до 15 см.

Для 1-й модели, когда стоимость затрачиваемых мероприятий $S(t)$ –

непрерывная функция, нами получено выражение средней стоимости затрат [].

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

В формуле (1) использованы следующие обозначения:

$$g(S) = \lambda R(S)/a(S); a(S) = -\frac{dS}{dt}\Big|_{t=t(S)}; \quad (2)$$

где λ – интенсивность потока Пуассона, интенсивность последовательности мелиоративных мероприятий,

$R(S)$ – вероятность доведения системы до определенного состояния, зависящая от стоимости мероприятий $S(t)$

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

Далее подготовили выражение для второго начального момента стоимости состояния объекта $m_{2S}(S) = M\{S^2\}$ в виде

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

С помощью $m_{2S}(S)$ можно найти дисперсию стоимости состояния объекта $D\{S_e | S(t) = S\} = m_{2S}(S) - m_{1S}^2(S)$, характеризующую разброс значений вокруг среднего.

Предложенная вероятностная модель может быть использована при выборе конструктивно-технологических параметров РОС в зависимости от эксплуатационных мероприятий с учетом фактических природно-климатических факторов.

Пусть S_M – максимальная цена, при которой не отмечается ущерб ($R(S_M) = 0$). Выполним расчет потерь от неблагоприятного состояния системы при конкретном выражении стоимости от времени

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

так что $S(0) = S_0$. Тогда

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

так что $\alpha(S) = \alpha(S - S_m)$. Функция $\alpha(S)$ была введена формулой (2).

Далее предположим, что если удовлетворительное состояние системы наступит в момент времени τ , то системе будет нанесен ущерб, равный $K(\tau)$ и рассматриваем зависимость ущерба от временного интервала до выполнения намеченной цели в виде $K(\tau) = K_0\tau$. Зависимость вероятности состояния РОС от стоимости мероприятий $R(S)$ имеет вид

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

и окончательно получаем выражение для K_0 .

$$K_0 = \lambda \frac{(S_M - S_0)^2}{S_M - S_m} \quad (5)$$

и для оптимальной стоимости мероприятий, назначаемых в момент $t = 0$

$$S_0 = S_M - \sqrt{\frac{K_0(S_M - S_m)}{\lambda}}. \quad (6)$$

Вторая модель. Теперь рассмотрим случай ступенчатого изменения стоимости мероприятий, иллюстрированный рисунком 1. Изменение расхода воды в чеке на испарение, фильтрацию, транспирацию можно компенсировать лишь прерывисто. Каждый отрезок времени будем называть фазой. На n -ой фазе устанавливается цена S_n , длительность фазы - T_n . На n -й фазе удовлетворительное мелиоративное состояние будет достигнуто с вероятностью $R_n = R(S_n)$.

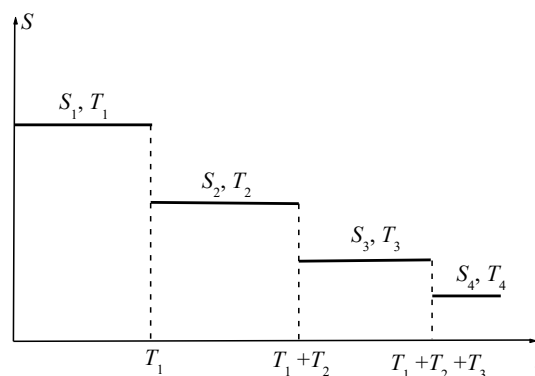


Рисунок 1 – Модель выбора намечаемых мероприятий с понижением стоимости

Второй моделью можно пользоваться, рассматривая следующие мероприятия: предпосевное протравление семян риса, предпосевное внесение минеральных удобрений, первая подкормка (8 мг азота на 1 растение), вторая подкормка в фазе двух – трех листьев (10 мг азота на 1 растение), третья подкормка в фазе четырех – пяти листьев (12 мг азота на 1 растение), в фазе семи листьев обработка против болотной растительности.

Пусть в начальный момент установлена цена S_1 . Мелиоративные мероприятия вводятся в эксплуатацию, m_1 - число возможных мероприятий. Если удовлетворительное состояние будет достигнуто – процесс закончен. Если выбранные m_1 мероприятий не приводят к удовлетворительному состоянию, то намечаются m_2 возможных мероприятия, цена которых S_2 . Если намеченные мероприятия приводят систему к приемлемому состоянию – процесс закончен, если нет – выбираются другие m_3 возможных мероприятия, оцениваемых ценой S_3 , и т.д.

Если последовательность мелиоративных мероприятий – пуассоновский поток интенсивности λ , на n -й фазе удовлетворительное мелиоративное состояние будет достигнуто с вероятностью $R_n = R(S_n)$. Будем иметь ввиду, что вероятность $R(S)$ зависит от цены намечаемого мелиоративного мероприятия и функция $R(S)$ монотонно убывает.

Нами вычислена основная характеристика этой модели - распределение

номера фазы, при котором удовлетворительное состояние мелиоративной системы достигнуто.

Если T_i – длительность функционирования мероприятия, то

$$Q_n = \exp\left(-\sum_{i=1}^{n-1} \lambda T_i R_i\right) \cdot (1 - \exp(-\lambda T_n R_n)). \quad (7)$$

Вероятность Q_n определяет распределение вероятностей для номера фазы, на которой будет достигнуто удовлетворительное состояние агро ландшафта рисовой оросительной системы.

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

$$\bar{t} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \psi_1(\lambda R_n T_n) \cdot \exp(-\sum_{k=1}^{n-1} \lambda R_k T_k), \quad (8)$$

где $\psi_1(x)$ - функция, определяемая выражением

$$\psi_1(x) = e^{-x} + \phi_1(x) = \frac{1-e^{-x}}{x}. \quad (9)$$

В современном мире рыночных отношений все настойчивее подчеркивается необходимость стоимостной оценки негативных последствий, рисков и ущербов, тем более это касается таких сложных технологических и, как следствие, дорогостоящих в эксплуатации, систем как РОС, зависящих от множества разнородных факторов, каждый из которых существенен для принятия решения. Приведенные рассуждения позволят теоретически количественно оценить ущерб, то есть представляется возможность путем анализа оценить влияние того или иного фактора на развитие ситуации в целом и, тем самым, избежать принятия негативных решений. В свою очередь, теоретическая оценка ущерба, реализованная на основе именно вероятностного подхода, позволяет по-другому подойти к вопросу эксплуатации РОС, выбирая алгоритм предотвращения рисков и ущербов.

Заключение. В статье рассмотрен процесс установления стоимости

мелиоративных мероприятий по двум схемам – для непрерывного изменения стоимости и ступенчатого. Считается, что мелиоративные мероприятия образуют пуассоновский поток интенсивности λ . Для непрерывного изменения стоимости приведены выражения средней стоимости и дисперсии. При рассмотрении второй схемы (ступенчатое изменение стоимости) получено распределение вероятностей номера фазы, на которой удовлетворительное состояние будет достигнуто.

Изложенный методический подход к построению математической модели функционирования РОС может быть использован при разработке мероприятий по снижению неопределенностей управленческих решений и обоснованному выбору наиболее подходящих.

Литература

1. Сафронова Т.И., Приходько И.А. Математическая модель режима функционирования рисовой оросительной системы на примере рисовых полей Кубани International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 2. С. 30.
2. Рекс Л.М., Умывакин В.М., Сафронова Т.И., Приходько И.А. Математическая модель экологической ситуации на рисовой оросительной системе. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2008. [№ 44](#). С. 191-208.
3. Сафронова Т.И., Приходько И.А. Математическая модель выбора эколого-адаптивных мелиоративных мероприятий Фундаментальные исследования. 2019. № 9. С. 64-68.
4. Владимиров С.А., Сафронова Т.И., Приходько И.А. Вероятностная модель процесса управления мелиоративными мероприятиями International Agricultural Journal. 2019. Т. 62. № 4. С. 18.
5. 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.

References

1. Safronova T.I., Prihodko I.A. Matematicheskaya model' rezhima funktsionirovaniya risovoy orositel'noy sistemy na primere risovykh poley Kubani [Mathematical model of the mode of functioning of the rice irrigation system on the example of the rice fields of the Kuban] International Agricultural Journal. 2020. Vol. 63. No. 2. P. 30.

2. Rex L.M., Umyvakin V.M., Safronova T.I., Prihodko I.A. Matematicheskaya model' ekologicheskoy situatsii na risovoy orositel'noy sisteme [Mathematical model of the ecological situation in the rice irrigation system] Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2008. No. 44. S. 191-208.

3. Safronova T.I., Prihodko I.A. Matematicheskaya model' vybora ekologo-adaptivnykh meliorativnykh meropriyatiy [Mathematical model of the choice of ecological-adaptive reclamation measures] Fundamental research. 2019. No. 9. P. 64-68.

4. Vladimirov S.A., Safronova T.I., Prihodko I.A. Veroyatnostnaya model' protsessa upravleniya meliorativnymi meropriyatiyami [Probabilistic model of the process of management of reclamation activities] International Agricultural Journal. 2019. Vol. 62. No. 4. P. 18.

5. Chebotarev M.I., Prihodko I.A. Sposob melioratsii pochvy risovoy orositel'noy sistemy k posevu risa [A method of soil reclamation of the rice irrigation system for sowing rice] Invention Patent RU 2482663 C2, 05/27/2013. Application No. 2011123829/13 dated 10.06.2011.

© Терновых К.С., Запорожцева Л.А., Леонова Н.В., Маркова А.Л., Панкратова Л.Д., 2022. International agricultural journal, 2022, № 5, 336-345.

Для цитирования: Терновых К.С., Запорожцева Л.А., Леонова Н.В., Маркова А.Л., Панкратова Л.Д. РОЛЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО САДОВОДСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПЛОДОВО-ЯГОДНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ НАСЕЛЕНИЯ / International agricultural journal. 2022. № 5, 336-345.