

Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 65, № 3. С. 40–45.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2023. Vol. 65, no 3. P. 40–45.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 639.2.052.3

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-65-06>

О математическом инструментарии, используемом для решения практико-ориентированных задач организационно-управленческой направленности

Нина Сергеевна Иванко¹, Светлана Владимировна Лисиенко²

^{1,2} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ivns@mail.ru

²lisienkosv@mail.ru

Аннотация. При моделировании рыбодобывающей деятельности чаще все возникают проблемы, связанные с неопределенностью и стохастичностью промысловой системы. Влияние этих факторов является достаточно сильным и не может быть проигнорировано. В связи с этим возникают сложности разного уровня при использовании математического моделирования. Одним из вариантов решения этих проблем является использование математических методов теории принятия решений, таких как динамическое и линейное программирование и теория игр.

Ключевые слова: добывающий флот, ресурсный потенциал, водные биологические ресурсы, оптимизация, динамическое программирование, линейное программирование, теория игр

Для цитирования: Иванко Н.С., Лисиенко С.В. О математическом инструментарии, используемом для решения практико-ориентированных задач организационно-управленческой направленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 65, № 3. С. 40–45.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-65-06>

About mathematical tools used to solve practice-oriented tasks of organizational and managerial orientation

Nina S. Ivanko¹, Svetlana V. Lisienko²

^{1,2} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ivns@mail.ru

²lisienkosv@mail.ru

Abstract. When modeling fishing activities, problems related to the uncertainty and stochasticity of the fishing system are more often encountered. The influence of these factors is quite strong and cannot be ignored. In this regard, difficulties of different levels arise when using mathematical modeling. One of the solutions to these problems is the use of mathematical methods of decision theory, such as dynamic and linear programming and game theory.

Keywords: mining fleet, resource potential, aquatic biological resources, optimization, dynamic programming, linear programming, game theory

For citation: Ivanko N.S., Lisienko S.V. About mathematical tools used to solve practice-oriented tasks of organizational and managerial orientation. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023;65(3):40–45. (in Russ.).

Традиционно при построении моделей управления промыслом использовались различные методы математического аппарата, в частности методы оптимизации и исследований операций. А тот факт, что промысловые объекты мигрируют, приводит к различным трудностям в управлении ими и, как следствие, использованию вероятностного подхода при моделировании.

Еще одной трудностью является неопределенность. Общее количество запасов промысловых ресурсов можно определить приближенно, также с определенной вероятностью можно предсказать данные о росте, миграции, пополнении запасов и естественной смертности промысловых объектов.

Количество математических моделей в области управления промышленным рыболовством достаточно велико благодаря использованию компьютеров, которые в значительной мере упростили использование математических методов.

Математическое программирование, дифференциальные уравнения, оптимальное управление, теория принятия решений, нейронные сети, теория вероятностей, статистическая обработка данных – это неполный перечень дисциплин, которые используются для совершенствования управления рыбным промыслом. В работе [1] рассмотрены различные математические методы в приложении к задачам промышленного рыболовства.

В силу того, что промысловые ресурсы являются возобновляемыми, воспользоваться ими необходимо так, чтобы не нанести ущерба их запасам в долгосрочной перспективе. Для этого устанавливаются определенные правила и предписания для рыбодобывающих судов, указывающие, где, как и сколько можно добывать эти самые ресурсы. Таким образом, эффективное управление должно начинаться с полного соблюдения правил рыболовства. Оценку успешности управления рыболовством можно выполнить только в том случае, если четко сформулировать и определить цель, которую необходимо достичь с помощью управления.

В качестве целей управления могут выступать максимизация дохода при заданных ограничениях на промысел, минимизация издержек, сохранение промысловых запасов и окружающей среды и др.

Динамическое программирование

Одним из способов управления является выбор одного или нескольких решений из некоторого количества альтернативных решений, каждое из которых удовлетворяет поставленным целям. В этом случае решения разбивается на два этапа: определение возможных результатов и их оценка, в том числе и вероятностная, и выбор наилучших из них с точки зрения поставленных целей и с учетом интересов сторонних лиц. Это задача динамического программирования.

Динамическое программирование, впервые как термин введенное в 40-х гг. прошлого века Р.Э. Беллманом, используется для описания процесса, в котором необходимо найти последовательность оптимальных по заданным критериям решений. В терминах задач управ-

ления динамическое программирование означает поиск оптимальных решений из множества альтернативных путей, чтобы перейти из некоторого начального состояния в желаемое, которое удовлетворяет поставленным целям.

Динамическое программирование используется для решения задачи многоступенчатой оптимизации. Основная идея состоит в том, чтобы разделить задачу на этапы и найти оптимальное решение на каждом этапе [2].

Классически динамическое программирование используется в сложных задачах, в которых описать аналитически зависимость параметров либо очень сложно, либо вообще невозможно. Также данный метод применяется в условиях неопределенности, например, неопределенность поведения рыбы при миграциях.

Преимущество использования данного метода для процессов управления промыслом – это последовательное принятие решений. Возможность выбора наилучшего решения на каждом этапе из ряда существующих альтернатив способствует достижению оптимальной политики принятия решений. На каждом этапе решение зависит от ряда параметров (переменных), от которых зависит состояние процесса решения. Чем больше таких параметров, тем сложнее процесс принятия решений, поэтому для описания модели управления необходимо минимизировать количество параметров, оставив только те, что оказывают наибольшее влияние на результат.

Согласно принципу оптимальности Беллмана оптимальная последовательность решений на каждом этапе не зависит от того, в каком начальном состоянии находилась система, для которой определяется оптимальное решение, а зависит только от выбора оптимального управления на предыдущем шаге.

Очевидный минус использования динамического программирования – это необходимость использования перебора всех возможных решений на каждом этапе и выбор оптимального исходя из определенных критериев. В силу ограниченности компьютерных ресурсов метод перебора может быть использован только на небольшом количестве параметров, так как в противном случае задача может легко превышать вычислительные возможности большинства современных компьютеров. Но, с другой стороны, при сравнительно небольшом количестве изменяемых параметров и ограниченности на значения этих параметров метод динамического программирования имеет огромное преимущество перед прочими методами в силу того, что является простым методом [3].

Рассматривая добычу водных биологических ресурсов как некоторый процесс, в ходе которого необходимо распределять ресурсы, можно сформировать задачу динамического программирования. Процесс добычи обладает признаками стохастичности, т.е. на основании прошедших периодов времени есть возможности предсказать поведение системы в текущий период только с определенной вероятностью. И как раз именно такие задачи могут быть решены с использованием динамического программирования. В качестве ресурсов могут выступать рыбодобывающие суда, которые требуется распределить по районам промысла, время выполнения определенных операций на судне и т.д.

Рассмотрим рыбодобывающую систему, которую можно рассматривать как некоторую дискретную систему. Пусть $\Xi = \{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n\}$ – множество возможных состояний системы. На систему оказывают управляющие воздействия, пусть $u = \{u_0, u_1, \dots, u_m\}$ – некоторые управленческие решения, заданные на конечном временном интервале. Управленческие воздействия зависят от того, в каком состоянии находится систему, т.е. в общем виде управляющее воздействие – это $u(\xi)$. Так как рыбодобывающая система является стохастической, для нее определена вероятность $p(\xi_i \xi_j, u)$ перехода системы из состояния ξ_i в состояние ξ_j под действием управляющего воздействия $u(\xi_i)$.

В [4] был использован метод динамического программирования для получения максимального объема вылова судна при оптимизации времени работы судна, так чтобы минимизировать потери времени. В результате был получен оптимальный по времени план рейсооборота судна.

Линейное программирование

Альтернативным подходом к решению задач стохастического управления является линейное программирование. В линейном программировании целевая функция представляет собой единственную функцию, которая может достигнуть максимального или минимального значения в зависимости от формулировки задачи [5]. Таким образом, задача линейного программирования – это оптимизация системы с единственной целью, например, максимизацией прибыли.

В отличие от задач динамического программирования целевая функция и ограничения на используемые ресурсы в задаче легко описать алгебраически, и для получения решения используется хорошо известный симплекс-метод.

Простота формирования задачи линейного программирования не является каким-то минусом для использования данного метода при решении задач оптимизации управления промыслом.

В общем случае целевая функция представляет собой функцию максимизации дохода [6] или минимизацию издержек [7].

Особенностью полученного решения задачи линейного программирования является его устойчивость к незначительным вариациям исходных данных, это говорит о том, что при некоторых корректировках распределения ресурса уже после получения оптимального решения нет необходимости искать новое решение.

Еще одной задачей, в решении которой может быть использовано линейное программирование, является задача оптимизации эксплуатации производительных мощностей судна [8]. Производительная мощность судна – это количество продукции, которое может быть произведено в течение заданного времени, например, в течение суток, с существующими установками и оборудованием.

Учет стохастичности исходных данных ведет к усложнению задачи, а наличие параметров, значения которых может быть оценено только с определенной вероятностью, требует использования уже других методов решения. В тех случаях, когда система представляет собой стохастический процесс, развитие которого может рассматриваться как серия переходов между определенными состояниями, каждое из которых описывается вероятностным законом, применяются дискретные цепи Маркова, и тогда основной метод изучения сложных стохастических систем, не поддающихся обработке в аналитической манере, состоит в том, чтобы смоделировать их на компьютере методом Монте-Карло [3].

Теория игр

Управление промыслом можно также рассмотреть с точки зрения теории игр. Если в качестве конкурирующих сторон рассмотреть промысловые запасы и рыбодобывающие организации, получим так называемую эволюционную игру, в которой каждый из игроков (природа и человек) стремятся получить свой «выигрыш». При этом человек стремится добыть как можно больше ресурсов, а природа – их сохранить. Конечно, нельзя считать, что «природа» целенаправленно пытается помешать добыче ресурсов, но в качестве «помех» можно рассматривать недостаточную осведомленность о поведении рыбного стада при миграции или гидрометеороусловия в районе добычи.

Теория игр изучает сложное стратегическое взаимодействие нескольких игроков. Одной из предпосылок данного математического метода является то, что каждый игрок преследует свои рациональные индивидуальные интересы, предполагая, что другие будут действовать аналогично. Моделирование с помощью теории игр промысла чилийского камчатского краба и влияние взаимодействия нелегальных и легальных рыбаков на промысел рассмотрено в работе [9].

Заключение

Простота динамического программирования делает его отличным методом для оптимизации процесса принятия решений. Возможность включения в задачу, которая будет решена

с помощью динамического программирования различных возможно даже несвязанных между собой процессов, которые влияют на итоговое решение, делает этот метод весьма привлекательным для использования. Еще одним преимуществом использования динамического программирования для управления рыболовством является возможность адаптации модели к изменившимся данным без внесения корректировки в саму модель.

Линейное программирование имеет классический алгоритм решения, который с легкостью может быть реализован с помощью вычислительных систем, в том числе в некоторых алгоритмических языках программирования имеется встроенный симплекс-метод для решения задачи, что значительно облегчает построение и реализацию систем принятия решений. Модели, построенные с помощью линейного программирования, могут быть использованы, например, для оценки производительности рыболовного флота при многовидовом промысле.

Рассматривая управления с точки зрения различных субъектов, в том числе и промысловых объектов, видно, что проблемы управления ресурсами, хоть и сильно различаются, но и все они имеют одну общую черту: они обязательно предполагают взаимозависимость между желаемыми результатами сторон и принятием стратегических решений в зависимости от действий других сторон. Таким образом, теория игр может помочь в принятии управленческих решений на промысле в зависимости от того, как решения каждой стороны влияют на прибыли и убытки.

Список источников

1. Андреев М.Н., Студенецкий С.А. Оптимальное управление на промысле. М.: Пищевая промышленность, 1975. 288 с.
2. Babcock, Elizabeth & Pikitch, Ellen. A dynamic programming model of fishing strategy choice in a multispecies trawl fishery with trip limits // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2011. 57. P. 357–370. 10.1139/cjfas-57-2-357.
3. Forootan A., Iervolino R., Tiplaldi M, and Neilson J. Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems, in IEEE/CAA // Journal of Automatica Sinica. Vol. 7, no. 4. P. 975–990, July 2020, doi: 10.1109/JAS.2020.1003231.
4. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Планирование рейсообразота добывающих судов // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 2(53). С. 200–208. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.028.
5. Perez-Lechuga, G. & Álvarez-Suárez, M. & Gonzalez, Jaime & Niccolas Morales, Heriberto & Venegas-Martínez, Francisco. Stochastic linear programming to optimize some stochastic systems. WSEAS Transactions on Systems. 2006. 5. P. 315–320.
6. Лисиенко С.В., Вальков В.Е., Иванко Н.С., Бойцов А.Н. Разработка математической модели и оптимизационной задачи по организации и управлению промысловым флотом при ведении добычи водных биологических ресурсов на примере промысла дальневосточной сардины (иваси) и скумбрии в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4. С. 147–153.
7. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Формирование и оптимизация издержек производственной рыбодобывающей деятельности судов // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4–1(54). С. 227–231. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.056.
8. Иванко Н.С. Моделирование распределения сырца по видам обработки на добывающем судне с законченным производственным циклом // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58, № 4. С. 16–24.
9. Zambrano A, Laguna MF, Kuperman MN, Laterra P, Monjeau JA, Nahuelhual L. A tragedy of the commons case study: modeling the fishers king crab system in Southern Chile. 2023. PeerJ 11:e14906 <https://doi.org/10.7717/peerj.14906>.

References

1. Andreev M.N., Studenetsky S.A. Optimal management in the field. M.: Food industry, 1975. 288 p.
2. Babcock, Elizabeth and Pikich, Ellen. (2011). Dynamic software model for choosing a fishing strategy for multi-species trawling with voyage restrictions. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 57. P. 357–370. 10.1139/cjfas-57-2-357.
3. Forutan A., Iervolino R., Tipaldi M. and Nilson J. Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems, in IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. Vol. 7, No. 4. P. 975–990, July 2020, doi: 10.1109 /JAS.2020.1003231.
4. Lisienko S.V., Ivanko N.S. Planning of voyage turnover of mining vessels//Marine intelligent technologies. 2021. Vol. 1, No. 2(53). P. 200–208. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.028.
5. Perez-Lechuga, G. and Alvarez-Suarez, M. and Gonzalez, Jaime and Niccol Morales, Heriberto and Venegas-Martinez, Francisco. Stochastic linear programming for optimization of some stochastic systems. WSEAS transactions in systems. 2006. 5. P. 315–320.
6. Lisienko S.V., Valkov V.E., Ivanko N.S., Boitsov A.N. Development of a mathematical model and optimization problem for the organization and management of a fishing fleet when conducting the extraction of aquatic biological resources on the example of fishing for Far Eastern sardine (ivasi) and mackerel in the Far Eastern fisheries basin // Marine intelligent technologies. 2019. No. 4. P. 147–153.
7. Lisienko S.V., Ivanko N.S. Formation and optimization of costs of production fishing activity of vessels // Marine intelligent technologies. 2021. No. 4–1(54). P. 227–231. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.056.
8. Ivanko N.S. Modeling of raw material distribution by types of processing on a mining vessel with a completed production cycle // Scientific works of Dalrybvtuz. 2021. Vol. 58, No. 4. P. 16–24.
9. Zambrano A, Laguna M.F., Kuperman M.N., Laterra P., Monjo Ya.A., Nauelhual L. Case study "The Tragedy of the Common Domain": modeling of the Kamchatka crab fishing system by fishermen in southern Chile. 2023. PeerJ 11:e14906 <https://doi.org/10.7717/peerj.14906>.

Информация об авторах

Н.С. Иванко – старший преподаватель кафедры прикладной математики и информатики, SPIN-код: 6882-7377, AuthorID: 814886;

С.В. Лисиенко – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой промышленного рыболовства, SPIN-код: 6437-6364, AuthorID: 371990.

Information about the authors

N.S. Ivanko – Senior Lecturer of the Department of Applied Mathematics and Informatics, SPIN-code: 6882-7377, AuthorID: 814886;

S.V. Lisienko – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Fisheries, SPIN-code: 6437-6364, AuthorID: 371990.

Статья поступила в редакцию 22.09.2023; одобрена после рецензирования 25.09.2023; принята к публикации 28.09.2023.

The article was submitted 22.09.2023; approved after reviewing 25.09.2023; accepted for publication 28.09.2023.