

УДК 639.2.001.5

О НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЯХ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЫБОЛОВСТВОМ

И. Б. Буханевич, М. Я. Драпацкий

Изучение естественных процессов в виде сложных систем эффективно в том случае, когда количество взаимосвязей между составными элементами системы очень велико. К сложным системам относятся в частности экологические, в которых необходимо проследивать взаимодействие всех звеньев, чтобы выяснить их возможное влияние друг на друга. Делается это на основе методологии системного анализа, оформившегося недавно как самостоятельное направление в науке, перспективное на наш взгляд, для рыбохозяйственных исследований. В предлагаемой работе сделана попытка обобщить и проанализировать некоторые исследования, проведенные в рамках Международного института прикладного системного анализа (ИИСА).

Одним из основных приемов системного анализа является метод так называемого «имитационного моделирования», под которым понимаются численные эксперименты с математическими моделями, описывающими поведение сложных систем в условиях, когда для описания связей между отдельными параметрами недостает исходной информации. Реализуются такие модели с помощью замены части реальных данных на гипотетические, что позволяет имитировать динамические процессы реальной системы и получать количественные характеристики поведения системы при заданных условиях.

Промышленное рыболовство — сложный динамический процесс взаимодействия многих факторов. Поэтому промысел необходимо рассматривать не как внешний фактор, время от времени влияющий на динамику численности эксплуатируемых биологических объектов, а как постоянно действующую часть общей динамической системы с обратной связью. Наиболее важные факторы этой системы обобщенно можно представить в виде пяти крупных блоков:

- 1) относящиеся к рыболовству (количество и типы орудий лова, районы и продолжительность рыболовства и т.п.);
- 2) относящиеся к биологии эксплуатируемых популяций (особенности роста, поведения, размножения и т.д.);
- 3) окружающей среды, которые могут влиять как на саму эксплуатируемую популяцию, так и на процессы рыболовства;
- 4) экономические, определяющие организацию рыболовства (эти факторы должны быть сопоставлены с историческими, политическими, социологическими, психологическими и прочими аспектами организации рыболовства);
- 5) управления, рассматриваемые как регуляторный процесс принятия решения (планирование, контроль, оперативное регулирование промысла).

Взаимодействию различных факторов внутри блоков и между блоками посвящены исследования, проведенные ИИСА, в основном на примере популяций лососевых р. Скина (Канада). Примененная в них методика может быть использована при оптимизации рыболовства других промысловых объектов. К. Уолтерсом и С. Букингом предлагается

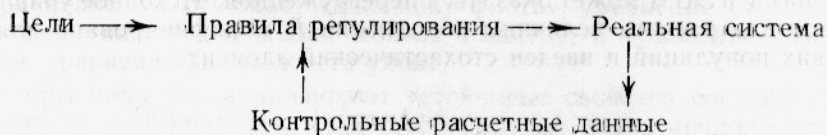
метод оперативного регулирования промысла на основе учета еженедельных уловов и числа производителей, пропускаемых на нерест [4].

Предварительно определяется оптимальное количество дней, открытых для промысла, как функция запланированного недельного темпа вылова, прогноза промыслового усилия и ожидаемого коэффициента уловистости. Достоверность расчетных оценок, получаемых в процессе реализации модели, проверяется с помощью дисперсионного анализа.

Расчеты относительно просты, если в промысле используется один вид рыб, и значительно усложняются, если речь идет о двух и более видах. При этом чаще всего приходится заботиться не только о рентабельности промысла, но и о сохранении различных генотипов. Использование рассматриваемой модели дает возможность разработать расчетную кривую интенсивности промысла на каждую неделю, в которой предусмотрено переключение промысла в требуемый момент с одного вида на другой. Ограничениями в рассматриваемой модели являются максимальное промысловое усилие, средние коэффициенты уловистости и так называемая «контрольная стратегическая кривая», получаемая в результате расчета оптимального количества промысловых дней в течение недели.

Таким образом, представляется возможность более равномерного распределения промыслового усилия в течение сезона.

Предлагаемая система контроля очень проста и состоит из следующих функциональных элементов:



Очевидно, что для данной системы может существовать бесконечное множество входных ситуаций, поэтому входные параметры выбираются по вероятностным картинам их распределения за большой статистический промежуток времени.

Например, для нерки и горбуши рассматриваемая система реализуется следующим образом.

1. Используется оценка общей величины запаса смешанной популяции, полученная ранее с помощью зависимости между запасами и пополнением для каждого вида.

2. Вводятся предсезонные прогнозы, равные величине общего запаса плюс произвольный член, учитывающий ошибки распределения с соответствующей дисперсией.

3. Задается картина распределения по времени нерестового хода, выбранная произвольно с помощью анализа возможных вариантов.

4. Задается серия произвольных значений параметров, характеризующих вариабельность величины промыслового усилия и коэффициентов уловистости.

При реализации модели путем перебора произвольных значений рассчитывают оптимальные значения этих гипотетических параметров по формуле (1), причем ограничением служит уже упомянутая кривая зависимости темпа вылова от численности популяций. Модель отлаживается на ретроспективных данных за большой промежуток времени и затем может быть использована для прогнозирования

$$u = (1 - e^{-qFT}), \quad (1)$$

где u — реальный темп эксплуатации;

q — коэффициент уловистости;

F — усилие за день промысла;

T — число дней промысла.

Модификации модели Риккера «запас — пополнение» для случая, когда эксплуатируются две популяции, участвующие в нерестовых миграциях, посвящена работа Рея Хилборна [3]. Оптимальные темпы эксплуатации для смешанных запасов рассчитаны при помощи метода стохастического динамического программирования как функция величины каждого запаса для серии вероятностных величин исходных параметров модели.

Наиболее часто употребляемая стратегия промысла построена на предположении, что уловы должны увеличиваться, если растет общий запас и наоборот. Но эту стратегию очень трудно оптимизировать, если запас одной из эксплуатируемых популяций значительно больше другой. Интенсивность промысла в таких случаях должна рассчитываться как функция двух переменных, характеризующих смешанный запас.

Если использовать тривиальный метод перебора на ЭВМ всех возможных сочетаний численности популяций, участвующих в промысле, для определения оптимальной интенсивности, то количество расчетных операций в большинстве случаев превышает объем памяти современных ЭВМ.

Применяемый авторами метод стохастического динамического программирования позволяет преодолеть эти трудности. При этом некоторые параметры модели могут быть стохастическими и количество параметров может быть увеличено, однако число рассматриваемых популяций смешанного запаса, по мнению автора, не должно превышать пяти, иначе память ЭВМ может оказаться перегруженной. Исходное уравнение Риккера для расчета величины пополнения R модифицировано для нескольких популяций и введен стохастический элемент:

$$R_i = N_i e^{z_i \left(1 - \frac{N_i}{P_i}\right)} e^{\varepsilon}, \quad (2)$$

где N — общее количество производителей;

ε — поправка на дисперсию;

i — индекс вида.

Автор приводит пример расчета для двух популяций при 20-ти дискретных значениях запаса каждой популяции, 18-ти дискретных значениях интенсивности промысла и 10-ти стохастических значениях пополнения.

Перебирая возможные сочетания исходных параметров, можно разработать и предложить своего рода стратегическую концепцию для следующих сочетаний коэффициентов α (степень продуктивности) и P (количество производителей, при котором среднее число возвращающейся рыбы на одного производителя равно единице) в модели Риккера:

1) α — одинаковы и P — одинаковы для обоих запасов ($\alpha_1 = \alpha_2$, $P_1 = P_2$);

2) α — для первого запаса больше, а P — одинаковы ($\alpha_1 > \alpha_2$, $P_1 = P_2$);

3) α — для первого запаса меньше, а P — для второго запаса меньше ($\alpha_1 < \alpha_2$, $P_1 > P_2$);

4) α — для первого запаса меньше, а P — для второго запаса больше ($\alpha_1 < \alpha_2$, $P_1 > P_2$);

5) α — одинаковы, а P — для одного из запасов меньше ($\alpha_1 = \alpha_2$, $P_1 < P_2$, $P_1 > P_2$).

Расчеты показывают, что политика регулирования рыболовства с помощью фиксированного пропуска производителей может быть оптимальной только, когда величины α и P одинаковы для обеих популяций смешанного стада, т. е. редко. В остальных случаях можно оценить урон либо с точки зрения сокращения общего улова, либо — нарушая генофонд одной из популяций.

Взаимосвязи трех блоков общей модели — факторов, относящихся к рыболовству (первый блок), к биологии эксплуатируемых популяций (второй) и экономических (третий) — посвящена работа М. Гатто, С. Ринальди и С. Уолтерса [2].

В данной модели, где промысел рассматривается в качестве хищника, используются следующие зависимости:

$$S_{t+1} = \mu S_t + \beta \frac{C_t}{S_t}, \quad (3)$$

где μ — коэффициент, характеризующий изменение количества судов из-за амортизации флота;

β — коэффициент, характеризующий изменение затрат на строительство и содержание флота.

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) \exp \left[\alpha \left(1 - \frac{N_t - C_t}{P} \right) \right], \quad (4)$$

где $N_t - C_t$ — количество производителей.

$$C_t = N_t [1 - \exp(-qS_tT)], \quad (5)$$

где S — количество судов на промысле;

N — численность рыб;

C — уловы;

t — промысловые сезоны;

T — продолжительность промыслового сезона.

Уравнение (3) отражает «динамику флота», уравнение (4) — это хорошо известная модификация модели Риккера, а уравнение (5) — известное уравнение для подсчета улова.

Авторы подробно анализируют устойчивые свойства системы по отношению к коэффициенту уловистости орудий лова, продолжительности промыслового сезона и коэффициентам, характеризующим динамике затрат на эксплуатацию изменяющегося количества судов на промысле. Реализация указанной модели позволяет выработать стратегию управления рыболовством, которая учитывала зависимость динамики промысла от динамики численности рыб.

В традиционных моделях динамики численности рыб промысловое усилие рассматривается обычно как постоянный параметр. Однако в реальных условиях существует обратная связь между промысловым усилием и динамикой численности. Поэтому лучше рассматривать промысловое усилие как переменную величину, а математический аппарат, применяемый в рассматриваемой работе, позволяет вводить эти переменные в аналитические зависимости, которые характерны для классических моделей динамики численности.

При этом авторы делят факторы, которые влияют на динамику численности, на две группы: определяющие «естественную эволюцию» рыболовства (абиотические и биотические факторы) и «контролируемую эволюцию» (количество производителей, выпускаемых нерестово-выростными хозяйствами, продолжительность промыслового сезона, квоты и т. д.).

Для реализации системной модели необходимо иметь описание естественной эволюции и знать, на какие базовые свойства этой модели влияют величины управляемых параметров. Цель работы Гатто, Ринальди и Уолтерса — представить очень простую дискретную модель рыболовства, а затем доказать наличие асимптотически устойчивого равновесия для «естественной эволюции» и проанализировать чувствительность этого равновесия к таким параметрам, которые являются потенциальными движущими переменными «контролируемой эволюции».

Модели непрерывного времени привлекательны, но требуют от руководства промыслом большой оперативности. В большинстве же видов промысла действия промыслового усилия носят пульсирующий характер и исходные данные также дискретны.

В настоящее время хорошо исследованы пределы достоверности модели Риккера, лежащей в основе данной работы. Из наиболее важных элементов в этой модели отсутствуют учет влияния возрастной структуры популяции на численность, учет запаздывания по времени в функции «запас — пополнение» и стохастичности, вызываемой производными колебаниями качества ареала обитания. Первые две проблемы решаются с помощью уравнений более высокого порядка, третья, более сложная, решается приближенно с помощью умножения функции «запас — пополнение» на гипотетический коэффициент, который можно интерпретировать как степень вероятности выживания в расчетный промежуток времени (год, сезон и т. д.). Поскольку естественных причин смертности очень много и каждую из них можно рассматривать как независимую от других, закон распределения указанного коэффициента можно принять логнормальным. Однако анализируемая работа не дает возможности учесть изменяющиеся районы промысла и наличие нескольких видов рыб в промысловом стаде. Результаты расчетов носят приближенный характер и могут быть использованы в сочетании с другими моделями, о которых говорилось ранее.

И, наконец, в оригинальной работе Р. Питермана [5] рассматривался способ реализации сложной имитационной модели, который позволяет сопоставить многие факторы различных блоков общей системы, не прибегая к помощи ЭВМ. Суть способа сводится к построению изоплетных диаграмм, содержащих графические изображения поверхностей некоторых параметров состояния популяции в виде функции двух переменных.

Оси координат всех изоплетных диаграмм идентичны, так как на них откладывают в одном и том же масштабе значения параметров. Изображения наносят на прозрачные пластмассовые пластинки: области, где характеристики процессов различны, окрашивают в различные цвета и затем пластинки совмещают. В результате руководитель промысла получает графическую систему информации и возможность оценить, какие действия приведут к достижению оптимального решения (оптимальных точек на поверхности совмещенной диаграммы). Этот метод назван авторами «настольным оптимизатором».

Принципы построения изоплетных диаграмм и раньше широко использовались в теории рыболовства. Например, диаграмма Бивертон и Холта [1] характеризует взаимозависимость двух управляющих параметров: величины промысловой смертности и минимального возраста вылавливаемой рыбы. У Питермана построены такого рода диаграммы для лосося р. Скина и, кроме того, диаграммы взаимозависимости количества производителей горбуши, пропускаемых на нерест, и производительности рыбоводных хозяйств для увеличения запасов нерки. Им представлены изоплеты не только средних значений управляющих параметров (например, среднего улова), но и их статистических вариантов (например, минимального улова и его изменчивости во времени, а также его распределения между различными группами промысловиков). Причем, величины, наносимые на диаграммы, могут относиться к разным видам рыб и характеризовать промысел смешанных запасов, если диаграммы совмещены во времени.

Таким образом, диаграммы показывают контурные поверхности индикаторов воздействия на динамику численности популяций. Руководитель промысла стремится выбрать индикаторы, которые помогут принять оптимальное решение. В данном случае — это нахождение оптимальных областей или оптимальных точек на объединенной поверхно-

сти индикаторов воздействия. В работе следует руководствоваться следующими правилами:

- а) предварительно решить, какой из индикаторов необходимо довести до максимума, а какой — до минимума;
- б) масштаб, единый для всех графиков, выбирать исходя из того, насколько близки искомые точки к максимуму или минимуму;
- в) индикаторам придавать соответствующие относительные веса значимости, исходя из представления руководства промыслом.

Этого можно добиться с помощью варьирования интенсивности раскраски участков графика.

Автор применил этот метод для регулирования промысла лосося. В результате довольно сложный анализ, предворяющий принятие того или иного решения, может быть осуществлен самим руководителем довольно простым и наглядным способом. Питерман полагает, что визуальные методы анализа не исключают более сложных, связанных с обработкой данных на ЭВМ.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные примеры применения системного анализа для регулирования рыболовства показали следующее.

1. Необходимо учитывать возможно большее количество факторов, воздействующих на процессы управления рыболовством.
2. Связи между параметрами модели далеко не всегда могут быть обеспечены промыслово-биологической информацией.
3. Для оперативного руководства промыслом удобнее использовать наиболее простой математический аппарат, который можно легко применить и проанализировать руководителям промысла.
4. Рассмотренные модели следует рекомендовать для использования при промыслово-биологических расчетах, проводимых при обосновании соответствующих режимов регулирования промысла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beverton, R., Holt, S. On the dynamics of exploited fish populations. London, 1957, pp. 533.
2. Gatto, M., Rinaldi, S., Walters, C. A predator—prey model for discrete—time commercial fisheries, 1975, Research report of IISA, pp. 1—38.
3. Hilborn, R. Optimal exploitation of multiple stocks by a common fishery, a new methodology. Res. Rep. of IISA (International Institute for Applied Systems Analysis), 1975, p. 1—14.
4. Walters, C., Buckingham, S. A control system for intraseason salmon management. Res. Rep. of IISA, 1975, p. 1—18.
5. Peterman, R. New techniques for managing complex systems: a case study of Pacific salmon fisheries. Res. Rep. of Institute of Animal Resource ecology, Univ. of B. C., 1975, p. 1—35.

On some models of the systems analysis used in the management of fisheries

Bukhanevich I. B., Drapatsky M. Ya.

SUMMARY

Several cases of application of the systems analysis to the management of fisheries are discussed. It is shown that a great deal of factors affecting the management should be taken into consideration. It is stressed that the relations among the parameters of the model are not always substantiated by fishing biological data. For efficient management most simple mathematical models are recommended to be used so that fisheries officials could construct and analyse them easily.

The models discussed are recommended for biological and fishery estimations needed to substantiate appropriate management measures.