

В. Н. Мельников, А. В. Мельников

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕОРИИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОЛОВСТВА, АКВАКУЛЬТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

Введение

В современной науке широкое распространение получили идеи и методы управления сложными системами, как правило, с биологическими объектами, которые являются предметом изучения кибернетики. К таким системам, в частности, относятся системы промышленного рыболовства, аквакультуры и экологии. При этом процессы управления в промышленном рыболовстве и аквакультуре изучают в рыбохозяйственной кибернетике, а процессы управления в экологии рассматривают в экологической кибернетике, где биологическими объектами могут быть любые живые объекты [1–9].

В свою очередь, в промышленном рыболовстве рассматривают отдельно или совместно управление ловом, промыслом и запасами промысловых рыб. В аквакультуре основными считают процессы искусственного воспроизводства и товарного выращивания рыб. В экологии выделяют большое количество направлений, связанных, например, с различными областями знаний и экономики [1–9].

Длительное время отдельные подсистемы и элементы подсистем изучали, как правило, специалисты различного профиля. Часто такое изучение проводили без взаимной увязки и обобщения полученных результатов. Раздельное изучение составляющих сложных систем управления в значительной степени препятствует анализу и совершенствованию таких систем.

Реализация системного кибернетического подхода при анализе и совершенствовании сложных процессов пока не всегда возможна, в том числе при управлении процессами в рыбном хозяйстве и экологии. Поэтому в настоящее время идет постепенный переход от традиционных методов управления процессами к кибернетическим методам. Такой переход сдерживают различные причины. Одна из важных причин обусловлена недостаточным знанием основных признаков системного изучения процессов и систем, требований к моделированию процессов и систем при системном подходе. Более того, часто исследования считают системными, когда на качественном уровне лишь упоминают о трех основных подсистемах (элементах) системы управления (биологическом объекте, внешней среде и средствах управления) без использования других признаков системного подхода и моделирования процессов.

Рассмотрим в самом общем виде особенности, признаки, методы и преимущества системного подхода, определение качества моделирования процессов и систем. Рассмотрим также в качестве примера оценку адекватности моделей систем управления запасами промысловых рыб и промыслово-экологических систем.

Особенности и признаки системного подхода

В общем случае системный подход предполагает:

- единый, комплексный характер изучения всех элементов систем управления;
- разработку этих систем в целом;
- одновременное их рассмотрение;
- информационный подход к процессам управления;
- широкое использование экономических, а иногда социальных подходов к решению задач;
- сочетание детерминированного и вероятностного подхода к изучению процессов и систем;
- количественное описание биологических объектов и сообществ;
- различные виды моделирования процессов и систем, особенно имитационное;
- использование идей и методов теории операций, в том числе принятие решений в условиях определенности, стохастической и нестохастической определенности;
- широкое применение принципов оптимальности, адаптации, саморегулирования, самообучения и самоорганизации;
- применение теории качества, надежности и эффективности процессов и систем;
- решение задач организации, регулирования, контроля и прогнозирования как основных функций управления такими системами;

- совместное использование организационных, информационных, программных, технических средств и приемов при разработке и функционировании систем и т. д.;
- единство информационного, математического и другого обеспечения в отдельных функциональных подсистемах;
- оптимальное распределение финансовых, временных, весовых, объемных и прочих ресурсов между отдельными частями технических средств системы (терминальных устройств, линий связи, внешних устройств ЭВМ, устройств воздействия на биологические сообщества и внешнюю среду, поисковые средства и т. д.);
- рациональное распределение функционального вклада в систему между математическими моделями, алгоритмическим, программным и техническим обеспечением;
- примерно одинаковые требования к точности оценки параметров и показателей в различных подсистемах, особенно если повышение точности в подсистемах связано с затратой дополнительных средств.

Одной из основных особенностей системного подхода в системах с биологическими объектами является регулирование массы в системе, влияние на круговорот массы, продуцирование, естественная и иная смертность, разложение веществ, перераспределение веществ между биологической частью системы (биотой) и окружающей средой.

В некоторых системах, особенно экологических, не меньшее значение имеет регулирование потоков энергии Солнца, в трофических цепях различных уровней, в трофических сетях, образованных различными трофическими уровнями.

Важнейшей особенностью системного подхода можно считать информационный подход к процессам управления в системах. На основе информации о состоянии системы вырабатывают такие информационные свойства сигналов (воздействий на управляемые объекты), которые в некотором смысле оптимизируют процесс управления в системе. Для реализации информационного подхода к процессам управления в кибернетических системах создают информационное обеспечение в виде информационной модели системы и банка данных.

Информационная модель должна предусматривать накопление материалов, в которых отражена структура и динамика систем управления процессами. Банк данных предназначен для хранения всей информации нормативного, расчётного и другого характера.

Практически обязательной особенностью системного подхода является моделирование процессов управления, что равносильно сведению процессов управления в реальных системах к различным моделям.

Модели, в том числе кибернетические, должны соответствовать реальной системе управления и обладать некоторым уровнем абстракции без существенного искажения описания реальных процессов в системе. С учетом сложности процессов и систем аналитические исследования в кибернетике не всегда дают удовлетворительные результаты, и основными методами решения задач должны стать полуэмпирический (аналитико-экспериментальный) метод и метод имитационного моделирования, а при решении организационных вопросов управления – сетевые модели и другие модели.

Различные виды моделей (структурные, математические, сетевые, лингвистические и т. д.) позволяют получить неодинаковую степень адекватности реальным процессам в системах управления процессами. Но область их применения определяется не только степенью адекватности, но и назначением моделей, степенью детализации процессов, диапазоном применения и т. д.

Одной из важных особенностей системного подхода и кибернетики в целом можно считать необходимость вероятностного подхода к процессам управления. Это обусловлено, прежде всего, случайным характером состояния, поведения, распределения, величины, состояния и состава биологических объектов управления, а также показателей условий внешней среды.

Иногда для уменьшения необходимого объема детерминированной информации искусственно вводят случайность, сочетают детерминированные и вероятностные методы, оценивают поправку детерминированного значения величины с учетом ее фактически случайного характера.

Наконец, существенной особенностью системного подхода можно считать широкое применение принципов оптимальности и адаптации, саморегулирования, самообучения и самоорганизации. Использование этих принципов должно стать основным направлением в развитии промышленного рыболовства, аквакультуры и экологии.

Методы системного подхода

Методологическую базу системного подхода и кибернетики в основном формирует теоретическая кибернетика. С учетом этой общенаучной базы кибернетика должна привлекать различные методы, прежде всего, для описания, анализа и синтеза систем управления процессами.

Наиболее распространенной и общей является классификация методов с учетом особенностей описания сложных систем управления, которая в значительной степени совпадает с классификацией математических методов, применяемых в общей кибернетике [2, 3, 9]. По этому признаку различают методы:

- структурные (сетевые);
- дифференциальных уравнений;
- дискретной математики;
- вероятностные;
- моделирования процессов управления в системах с применением ЭВМ;
- методы оптимизации процессов управления;
- методы комплексного исследования процессов управления.

Структурные (сетевые) методы основаны на использовании сетевых моделей как информационных моделей комплекса взаимосвязанных процессов в рамках системы управления. Модель задают в форме сети, отражающей упорядоченность процессов во времени. При необходимости модель учитывает другие характеристики системы и ее составляющих: массу, стоимость, ресурсы, распределение биологических объектов в пространстве и т. д. Сетевая модель может охватывать всю систему или ее часть.

До недавнего времени метод дифференциальных уравнений был одним из наиболее распространенных методов расчета систем управления. И сейчас этот метод должен найти широкое распространение при системном подходе, т. к. многие процессы в системах при сведении их к неслучайным процессам хорошо описываются аппаратом дифференциальных уравнений.

Дискретная математика включает в себя теорию множеств и общую алгебру, математическую логику, теорию алгоритмов, теорию графов, комбинаторное исчисление, математическую лингвистику.

Необходимость применения методов дискретной математики при исследовании рассматриваемых процессов и систем управления обусловлена тем, что многие процессы управления в системах дискретны. Кроме того, часто массивы информации и программы, записанные на машинных носителях, дискретны по своей структуре.

Математические и другие модели обычно не отражают всех свойств и особенностей сложных систем. Это приводит к упрощению, искажению и ошибкам при решении задач. Кроме того, не все реальные системы управления поддаются аналитическому описанию, и тогда можно использовать метод моделирования на ЭВМ, или машинное моделирование. В основном этот метод применяют, если система описана большим числом уравнений и параметров, и ее исследование обычными математическими методами (аналитическое решение) невозможно или затруднено. ЭВМ за короткое время позволяет получить большое число вариантов решений системы при различных значениях параметров, строить таблицы и графики зависимостей свойств системы от ее параметров. Таким образом, машинный эксперимент служит для исследования системы с помощью ее описания без построения и исследования реальной модели этой системы.

Методы оптимизации процессов управления предназначены для поиска оптимальных законов управления. В зависимости от специфики системы управления применяют различные методы оптимизации, начиная от классических методов Эйлера – Лагранжа, принципа максимума и динамического программирования до методов математического программирования. При этом рассматривают непрерывные и дискретные, детерминированные и вероятностные варианты этих методов. Часто для отыскания оптимума процесса решают численными методами дифференциальные, интегральные или разностные уравнения.

В теории оптимального управления важное место занимают прямые методы поиска экстремума функции. Чтобы определить экстремум функции, применяют различные методы поиска экстремума. Сложность поиска и выбор метода поиска во многом зависят от числа переменных, влияющих на оптимизируемую величину.

Если математическое описание процесса отсутствует, но известно, что он характеризуется некоторой функцией качества, то для оптимизации управления в ряде случаев можно использовать экстремальные регуляторы, если они входят в систему управления. С помощью экстремального регулятора система так изменяет регулирующие воздействия, чтобы показатель качества стремился к экстремуму.

Методы комплексного исследования процессов управления составляют основу общей теории систем и исследования операций.

Общая теория систем направлена на решение совокупности философских, методологических, конкретно-научных и прикладных задач анализа и синтеза сложных систем произвольной природы с учетом аналогичности процессов в системах различного типа (биологических, экономических, технических, экологических и т. д.). Общая теория систем связана с научными методами, которые принято объединять под названием «исследование операций» и которые можно рассматривать как комплекс средств и методов для разработки математических моделей различных явлений и систем, для создания или изменения системы в необходимом направлении.

Кроме применения и классификации методов при системном подходе с учетом математических особенностей решения задач, используют также методы теории информации, общей теории управления, биологии, физики, биофизики, химии, биохимии, океанологии, океанографии, аквакультуры, промышленного рыболовства и т. д.

Основные свойства систем

Сложные системы управления характеризуются следующими основными свойствами:

- сложностью с учетом большого количества и разнообразием связей между элементами системы, а также между системой и окружающей средой;
- целостностью, т. к. система обладает свойствами, которые становятся явными только в результате взаимодействия ее отдельных элементов;
- многомерной устойчивостью, с учетом которой нелинейные и нестационарные системы могут иметь несколько устойчивых областей, число которых определяется количеством особых точек системы;
- управляемостью, в соответствии с которой система может переходить из одного состояния в другое в течение определенного промежутка времени;
- способностью к управлению, когда на систему можно оказывать целенаправленное воздействие;
- наблюдаемостью, в соответствии с которой информацию о предыдущем состоянии системы можно получить, зная ее текущее состояние;
- буферностью и способностью к сохранению, когда перевод системы из одного состояния к другому под действием внешних факторов не приводит к отказу системы, а характеризуется постепенным развитием;
- способностью к обработке, объединению и хранению информации с ее последующим преобразованием в соответствии со своей спецификой;
- качественным различием элементов системы.

Кроме того, сложные системы управления с биологическими объектами отличаются особенностями структуры, которые характеризуются следующими признаками:

- физическими условиями (например, делением пространства, действием световых, гидродинамических, электрических и других видов физических полей, особенностями обмена и распределения вещества и энергии);
- химическими условиями, которые складываются из количественного распределения органических и неорганических веществ;
- биологическими условиями (например, трофическими уровнями, разнообразием видов и сообществ и т. д.);
- временной структурой (например, эволюцией и последовательной сменой экологических систем (биологической сукцессией), которые обычно происходят под влиянием внутреннего развития сообществ, их взаимодействия с окружающей средой;
- функциональными особенностями системы, которые обусловлены характером циркуляции информации вещества и энергии; взаимодействием элементов, входящих в систему (между биоценозом системы и окружающей средой, между популяциями различных трофических уровней и т. д.);

– взаимосвязью между сложной системой и окружающей средой.

Важными свойствами сложных систем управления являются их разнообразие, разнокачественность связей, сложность, число степеней свободы и т. д.

Разнообразие системы обычно измеряют двоичным логарифмом числа различных состояний системы. Разнообразие системы зависит не только от свойств системы, но и от степени ее изученности, квалификации исследователей, характера и необходимой точности решения задач и т. д.

При оценке разнообразия учитывают, что в таких системах часто задают не одно, а множество соотношений между элементами системы, которые характеризуют различные стороны взаимосвязи свойств элементов. В этом случае система характеризуется неоднородностью, различным качеством элементов и связей, структурным разнообразием.

Чем больше разнообразие системы, тем сложнее управление системой, которое часто сводится к уменьшению разнообразия в поведении системы.

Очевидно, что система с большим разнообразием элементов и их связей требует для описания большего количества информации. В соответствии с принципом необходимого разнообразия для успешного управления собственное разнообразие управляющей подсистемы сложной системы управления должно быть не меньше разнообразия объекта управления, т. е. не меньше разнообразия решаемой задачи управления.

В сложных системах управления принцип необходимого разнообразия часто не выполняется. Чтобы решать задачи в этом случае, используют различные способы упрощения модели управления путем агрегатирования объекта управления (например, отказа от учета возрастной и половой структуры популяции животных), линеаризации связей, замены вероятностных зависимостей детерминированными зависимостями и применения других видов аппроксимации.

Часто воздействия неучтенных в уравнениях модели связей вводят с помощью внешнего дополнения к модели в виде «черного ящика», датчика случайных чисел. Внешним дополнением к модели объекта управления может выступать также блок неформализуемых решений, который на основе дополнительных сведений, знаний, опыта корректирует модельные расчеты.

Одной из характеристик сложной системы управления является число степеней свободы как разность между общим числом переменных и числом уравнений связей между ними.

Важно учитывать, что при системном подходе происходит не простое объединение элементов системы, а установление возможно большего числа внутренних связей в системе, объединение элементов и подсистем на основе построения единой модели системы.

Системный подход, однако, означает не только совместное изучение элементов системы. Он указывает на необходимость комплексного, полного и широкого охвата при анализе, разработке и эксплуатации систем различных прикладных наук и научных направлений – биологии, математики, физики, химии, теории автоматического управления, теории информации, экологии, дисциплин, связанных с той или иной областью хозяйственной и другой деятельности человека, и т. д.

В соответствии с системным подходом изучаемую систему часто рассматривают не как самостоятельную единицу, а как подсистему большей системы с необходимостью изучения не только внутренних связей в системе, но и внешних. Примером может служить объединение экологических систем управления в некоторых районах как части биосферы.

Преимущества системного подхода

Основные преимущества системного подхода при исследовании сложных систем управления:

– возможность изучения во взаимосвязи таких различных элементов, как биологические объекты, окружающая среда, разнообразные технические и другие средства управляющих элементов систем, т. к. именно такая взаимосвязь во многом определяет эффективность управления системами;

– возможность применения при исследовании систем большего числа методов исследований, в частности кибернетических;

– относительная простота разработки математических моделей системы, а не только ее отдельных элементов;

– меньшие сложности обоснования и проектирования элементов системы, свойственные комплексному подходу к проблеме.

Преимущества системного подхода особенно заметны при рациональном использовании кибернетических методов исследований сложных систем, идей и методов теории информации. В частности, при информационном подходе вход и выход систем можно рассматривать в связи со свойствами передавать, воспринимать, преобразовывать информацию и реагировать на нее, что позволяет использовать информационные подходы для совершенствования процессов управления.

Особенности математического описания систем

Как показано выше, описание сложных систем управления в значительной степени связано с классификацией математических методов, применяемых в общей кибернетике, приведена классификация таких методов.

Не меньший практический интерес при изучении сложных систем и при несистемном подходе представляет классификация прикладных математических и других методов и моделей. Наибольшее значение из таких моделей и методов имеют [3, 9]:

- функциональные модели, описывающие функции средств управления системой, в том числе вычислительной машины в общем виде;
- модели биологических, физических, технических и других процессов в системе, определяющих математические зависимости между переменными процесса; практически наиболее важными и сложными часто являются модели биологических процессов, протекающих в системе управления;
- экономические, модели, определяющие экономические показатели процесса и экономические цели управления процессом;
- методы имитационного моделирования;
- процедурные, описывающие порядок (процедуру) работы по реализации различных операций биологических, физических, технических и других процессов, обработки экспериментального и статистического материала, деятельности обслуживающего персонала, особенностей использования информации и т. д.;
- методы физического моделирования физических, технических, биологических процессов;
- методы формализации процессов управления системами;
- методы выбора основных показателей процессов при использовании теоретических и формальных методов разработки математических моделей процессов и систем;
- общие методы разработки математических моделей процессов и систем;
- теоретические методы разработки математических моделей статических процессов;
- теоретические методы разработки математических моделей динамических процессов;
- формальные методы разработки математических моделей статических процессов;
- формальные методы разработки математических моделей динамических процессов;
- математические модели биологических процессов с применением теории распознавания образов;
- математические методы совершенствования и оптимизации процессов и систем;
- методы оценки состояния и свойств процесса по математической модели;
- методы машинного моделирования процессов и систем;
- методы моделирования системы человек-машина;
- графические и другие методы представления моделей процессов и систем (словесные описания, чертежи и блок-схемы, логические блок-схемы и таблицы решений с описанием порядка действий в тех или иных ситуациях, графики, таблицы и номограммы, качественные описания и т. д.).

При выборе языка описаний учитывают их описательную способность, однозначность описания, пригодность к манипулированию, употребляемость, назначение. Ни один из языков описаний не обладает всеми необходимыми достоинствами. Например, математическое описание при его точности, однозначности и эффективности для решения многих задач управления не считают достаточно описательным для инженера и биолога. Словесное описание обладает хорошей описательной способностью и доступно для понимания, но неоднозначно и трудно для манипулирования при сложной зависимости между переменными процесса. Графические описания наглядны и доступны для понимания, но не обладают достаточной общностью. Вот почему при описании процессов управления, особенно с применением ЭВМ, часто используют комбинации различных языков, удовлетворяющих конкретным требованиям.

Оценка качества моделирования процессов и систем

Оценка качества является завершающим этапом работ по созданию математических моделей процессов и систем [3, 9].

Цель оценки качества модели состоит не только в получении численных значений некоторых показателей, но и в установлении недостатков разработанной модели. Соответственно, оценка качества модели должна служить для определения направлений и способов их совершенствования, планирования испытаний модели, оценки возможности применения в различных условиях.

Модель системы состоит из математического описания исследуемой системы, алгоритма моделирования, программы для ЭВМ. При этом необходимо учитывать качество каждой из перечисленных компонент.

Часто качество модели оценивают только погрешностью результата. Однако в теории качества моделирования качество моделирования характеризуют по трем группам свойств – целевым, эксплуатационным и модификационным.

Целевыми называют свойства моделей для характеристики степени ее соответствия целям и задачам конкретного исследования. Наиболее важными целевыми свойствами моделей являются адекватность модели исследуемому процессу, устойчивость, точность оценки результата и результативность. При этом важно различать адекватность и точность модели как ее целевые свойства.

Эксплуатационные свойства моделей определяют удобство и эффективность эксплуатации модели пользователем. К таким свойствам относятся производительность, надежность, защищенность, эргономичность, завершенность. Эксплуатационные свойства делят на относительные, т. е. зависящие от конкретной задачи (производительность, надежность), и абсолютные, не зависящие от конкретной задачи (защищенность, эргономичность, завершенность).

К модификационным относят свойства моделей, определяющие удобство и простоту внесения в модель изменений (например, для устранения ошибок), простоту модификации модели при развитии и совершенствовании исследуемой системы или переходе на другой уровень исследований (например, при повышении степени детализации математического описания). Основными модификационными свойствами моделей лова являются понятность, структурированность, расширяемость, доступность.

Все перечисленные свойства определяют с помощью специальных известных методик [10].

Наиболее важные из этих свойств – адекватность и точность.

Под адекватностью понимают степень соответствия модели реальному процессу или явлению, для описания которых строится модель. Модель считают адекватной, если она с достаточной степенью приближения на уровне понимания моделируемой операции исследователем отражает функционирование системы или процесса в некоторых условиях работы системы и в рамках поставленной задачи.

Для отдельных видов моделей известны признаки адекватности. В частности, основные признаки адекватности моделей и состояния систем управления рыболовством и приведены ниже.

В процессе формализации модели определяют степень достаточности исходных данных для построения адекватной модели. Если таких данных недостаточно, то необходимо разработать процедуры получения дополнительной информации. При получении новой информации из внешних источников или из результатов моделирования модель пересматривают и уточняют. В общем случае уточнение модели является итерационным и продолжается до тех пор, пока, по мнению исследователя, модель можно считать адекватной реальной операции.

При анализе многих процессов математические модели строят по блочному принципу. Одним из важных принципов разработки моделей таких операций является адекватное отображение в моделях всей совокупности соотношений, описывающих уровень качества и структуры рассматриваемой системы, ее поведение, взаимодействие с другими объектами и со средой, а также позволяющих изучать ее в динамике функционирования и развития.

В качестве критерия адекватности можно использовать, например, допустимое расхождение экспериментальных данных и данных, полученных с помощью математической модели с учетом критерия Фишера F_β при доверительной вероятности β :

$$F_\beta = \frac{\sigma_{\text{адв}}}{\sigma_{\text{восп}}},$$

где $\sigma_{\text{адв}}$ – дисперсия адекватности; $\sigma_{\text{восп}}$ – дисперсия воспроизводимости.

Дисперсия адекватности характеризует рассеяние результатов экспериментов относительно значений, полученных с применением математической модели. Дисперсия воспроизводимости характеризует разброс значений, обусловленных действием неуправляемых и неконтролируемых факторов, а также погрешностями измерений.

Расчетное значение критерия Фишера сравнивается с табличным значением, и если первое значение больше второго при одинаковых объемах выборки и числе степеней свободы, то можно принять гипотезу, что обе приведенные выборки принадлежат к одной генеральной совокупности и различия объясняются только случайными факторами. В этом случае разработанная математическая модель адекватна изучаемому процессу, и ее можно использовать для оценки влияния различных факторов и решения задач оптимизации.

Известны схемы, где приведены этапы калибровки и проверки адекватности математических моделей.

Точность математических моделей определяется погрешностью результата расчетов.

В практике применяют оценки абсолютной и относительной погрешности, которые определяют, сравнивая вычисленную математическую величину с ее истинным значением.

При случайном характере факторов, влияющих на величину погрешности, используют понятия предельной абсолютной и относительной погрешности как максимальные значения погрешностей.

Полную погрешность можно представить в виде суммы составляющих погрешностей:

- методической, которая зависит в первую очередь от объема и степени достоверности информации о моделировании операции, условиях ее определения и возможности лишь приближенного решения, например, численными методами;
- наследственной, обусловленной случайными первичными погрешностями измеряемых величин;
- приборной (инструментальной, вычислительной).

Одними из основных характеристик точности моделей со случайными факторами обычно являются среднеквадратичная погрешность и коэффициент вариации.

Имеет значение оценка точности имитационной модели, включающей в себя случайные факторы. Обычно такой оценкой является дисперсия переменной, наблюдаемой в процессе машинного эксперимента (дисперсия воспроизводимости эксперимента). Точность оценки, например среднего результата, можно повысить увеличением объема испытаний (увеличением числа прогонов имитационной модели) при фиксированном значении дисперсии воспроизводимости. Другим путем повышения точности машинного моделирования является понижение дисперсии воспроизводимости.

Оценка адекватности моделей систем управления запасами промысловых рыб и промыслово-экологических систем

Для адекватности модели и состояния систем в этом частном случае математическая модель должна отвечать следующим требованиям.

1. Включать все объекты сообщества, влияющие на состояние запасов промысловых объектов. Особое значение имеет взаимоотношение тех объектов сообщества, которые влияют на питание и рост на всех трофических уровнях. Модель должна учитывать также и другие факторы и взаимоотношения, влияющие на экосистему и динамику ее состояния.

2. Давать представление об исходных условиях и прогноз необходимых показателей за соответствующие интервалы времени.

3. Давать решение не только во времени, но и в пространстве в пределах заданного промыслового района.

4. Воспроизводить известные процессы и распределение объектов, т. е. моделировать следует в достаточной степени подтвержденное и известное. Соответственно, модель должна быть детерминированной, основанной на доступных данных.

5. Не содержать теоретические рассуждения и сложные математические выражения, выходящие за рамки известных данных и опирающиеся на нормальную логику.

6. Учитывать, что определение уравновешенной биомассы и трофических связей следует начинать с высших хищников и учета промысла.

7. Способствовать определению зависимости промысловой и естественной смертности от возраста, особенно с учетом хищничества и влияния нереста (нерестового стресса).

8. В заданных условиях давать единственное решение, например, при оценке биомассы.

9. Описывать не только стабильное состояние системы (за исключением частных решений), т. к. фактически промысловая экосистема нестабильна.

10. Обеспечивать проверку отдельных переменных, характеризующих состояние системы, процессы в системе, скорости протекания процессов и т. д. на любой стадии и в любом месте акватории.

11. Учитывать миграции по различным причинам и случайные перемещения, если они влияют на состояние биомассы, в том числе путем изменения в пространстве и времени в системе «хищник-жертва».

12. Учитывать изменение продукции планктона во времени и на рассматриваемой акватории.

13. Учитывать изменения основных факторов внешней среды (температура, течения, световой режим и т. д.).

14. Результаты вычислений должны давать удовлетворительное пространственно-временное разрешение.

15. Соответствовать исходным данным и процессам, характерным для заданного региона.

Чтобы модель соответствовала перечисленным требованиям, необходимо обладать обширной и подробной информацией по всем элементам системы, экологии и внешней среды, иметь доступ ко всей необходимой информации.

Для разработки и успешной работы с моделью необходимо иметь достаточно крупные компьютеры, знания в области прикладной математики, опыт работы с большими моделями.

Целесообразность использования экосистемного подхода для управления запасами промысловых рыб во многом зависит от качества теоретических и экспериментальных исследований. Как обычно при системном подходе, цели и задачи исследования промыслово-экологических систем, особенно при математическом моделировании процессов, сводятся к анализу и оптимизации работы систем. Анализ включает в себя экологические исследования для количественной оценки состояния системы, изучение другой информации, установление очередности будущих исследований. Обычно в результате анализа оценивают целесообразность или нецелесообразность создания в той или иной форме модели, обобщающей всю известную информацию о системе. Такая модель обычно служит не только для оптимизации работы системы, но и последующего изучения и количественной оценки внутривидовых и межвидовых взаимоотношений, определения воздействия среды на состояние запасов. Оптимизация работы систем возможна управлением рыболовством. Разработанная в результате анализа модель должна давать количественную оценку динамики запасов и всей экосистемы на колебания интенсивности и селективности промысла и условий внешней среды.

При постепенном накоплении данных и разработке детерминированных моделей необходимо все шире использовать вероятностно-статистические методы для описания частных процессов и явлений. Сочетание детерминированных и стохастических моделей значительно расширяет представления о работе систем и способствует совершенствованию их работы.

Важно понимать также ограниченные возможности математики при моделировании сложных систем.

Очевидно, что многие требования к моделям и их успешное использование характерны для одновидового и, особенно, многовидового подхода к управлению запасами и промыслово-экологическими системами.

Заключение

Рассмотренные в общем виде особенности, признаки и методы системного подхода, его преимущества, оценка качества моделирования процессов и систем, определение адекватности моделей промыслово-экологических систем позволяют более обоснованно подходить к развитию теории и практики промышленного рыболовства, аквакультуры, экологии и управлению сложными системами в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В. Н. О биотехническом (кибернетическом) направлении промышленного рыболовства // Рыбное хозяйство. – 1976. – № 9. – С. 50–53.
2. Мельников А. В. Оптимизация регулирования рыболовства как кибернетическая проблема. – Астрахань, Астрыбвтуз. – Деп. в ЦНИИТЭИРХ. – 1988, рх.-936. – 42 с.
3. Мельников В. Н., Мельников А. В. Рыбохозяйственная кибернетика. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 1998. – 310 с.
4. Мельников В. Н. Об общей теории промышленного рыболовства // Сб. науч. тр. ВНИРО. – 1993. – С. 4–11.
5. Мельников В. Н. Качество, надежность и работоспособность орудий промышленного рыболовства. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. – 264 с.
6. Мельников В. Н. Биотехнические основы промышленного рыболовства. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. – 216 с.
7. Мельников А. В., Мельников В. Н., Овчинников С. А. Экономические показатели промышленного рыболовства // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 3 (44). – Рыбное хозяйство. – С. 86–89.
8. Мельников А. В., Мельников В. Н. Селективность рыболовства. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2005. – 376 с.
9. Мельников А. В., Мельников В. Н. Управление запасами промысловых рыб и охрана природы. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. – 544 с.
10. Бозм Б., Браун Д., Каспар Х. Характеристика качества программного обеспечения. – М.: Мир, 1981. – 208 с.

Статья поступила в редакцию 3.03.2010

**SYSTEMS RESEARCH
IN THE THEORY OF INDUSTRIAL FISHING,
AQUACULTURE AND ECOLOGY**

V. N. Melnikov, A. V. Melnikov

The features and characteristics of system approach, its methods and its benefits, the qualitative assessment of process and system modeling, the determination of adequacy of fishing-ecological system models are generally considered. The derived results allow more reasonable approach to the development of the theory and practice of industrial fishing, aquaculture, ecology and management of complex systems in general.

Key words: industrial fishery, aquaculture, ecology, theory, system research.