

## КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ

В.И. Крюков

// «Эколого-технологические и генетические аспекты разведения сельскохозяйственных животных». Материалы научно-практической конференции, 20-22 сент. 2006 г. –Орёл: Изд-во ОрёлГАУ, 2006. –С. 19-24.

В условиях всё более возрастающего воздействия человека на биосферу в основу рационального природопользования должно быть положено оптимальное управление производственными и природными процессами. Законы управления являются предметом исследования кибернетики – науки о способах восприятия, передачи, хранения, переработки и использования информации в целях оптимизации процессов и систем автоматического управления. Кибернетика изучает процессы управления с информационной стороны, независимо от структурных или энергетических характеристик реальных систем.

Биологическая кибернетика является одним из разделов прикладной кибернетики. Изучаемые ею проблемы можно разделить на следующие три группы: 1) кибернетические проблемы строения биологических систем; 2) кибернетические проблемы функционирования и саморегулирования биосистем; 3) кибернетические проблемы экспертизы и прогноза состояния биологических систем.

Ключевым в кибернетике и, в частности, в теории управления является понятие системы. Системой в теории управления принято называть относительно обособленную и упорядоченную совокупность элементов, обладающих особой связанностью, целенаправленно взаимодействующих и способных реализовывать определённые функции. Каждая система может быть рассмотрена как подсистема, входящая в более крупную систему. Любая система обладает определёнными свойствами. Основными из них являются целостность, связанность, сложность, организованность. Проявление системой качественно новых свойств, которыми не обладают составляющие её элементы называется эмерджентностью системы. По характеру взаимодействия со средой разделяют системы открытые и замкнутые. В открытой системе происходит непрерывный обмен с внешней средой энергией, веществом и информацией. Биологические системы нужно рассматривать как ограниченно открытые. Выходы и входы биологических систем контролируются самой системой в зависимости от её состояния.

По характеру причинной обусловленности событий в процессе взаимодействия элементов системы разделяют на детерминированные и вероятностные. Биосистемы являются вероятностными. Поведение вероятностных систем строго не определено, и точно предсказать его невозможно. Вместе с тем, при многократном проведении экспериментов можно установить вероятность перехода системы в определённое состояние и с соответствующей степенью точности его предсказать.

В кибернетике системы разделяют на простые, сложные и очень сложные. Очень сложными принято называть такие системы, сущность взаимосвязей в которых не вполне понятна. Большинство биологических систем должно быть отнесено к очень сложным. Биосфера в целом рассматривается биологическими

науками как саморегулируемая очень сложная система, в которой живое вещество с высокой точностью обеспечивает узкие физические и химические условия своего существования. Поэтому центральным звеном экологических исследований являются биологические системы разного уровня организации.

Приложение понятий кибернетики к биологии имеет конечной целью возможность активного воздействия на живые управляющие системы, поддержание их работы на высоком уровне или коррекцию в желаемом направлении. Математика является основным средством исследования систем управления и связи. Кибернетический подход в биологии, и в экологии в частности, включает в себя три этапа:

1) Выяснение аналогий между биологическими и инженерными понятиями. Создание принципиальных схем процессов управления в живом организме. Качественное описание этих схем в терминах кибернетики.

2) Использование математического аппарата кибернетики для количественного описания отдельных управляющих систем, количественная оценка реакций биосистемы.

3) Синтез математических описаний отдельных управляющих систем и количественная оценка реакций биосистемы.

В настоящее время биологическая кибернетика занимается в основном проблемами первого и второго типов.

Природная среда или условия эксперимента оказывают воздействие на биосистему через соответствующие её элементы, которые называются входами системы, а факторы внешней среды, осуществляющие эти воздействия, называются входными величинами. Глубина исследования биосистемы зависит от степени детализации переменных на входе и выходе. Эту степень детализации импульсов и реакций называют разрешающим уровнем исследования системы. Минимальным является тот уровень разрешения, когда исследователь различает лишь один вход и один выход, хотя предполагается, что в данной системе имеют место и другие разнообразные импульсы и реакции. Система в свою очередь оказывает влияние на среду через определённые элементы, образующие выход системы. Воздействие системы на окружающую среду характеризуются значениями её выходных величин. Совокупность входных и выходных величин и их динамика определяют поведение биосистемы.

Для природы живой организм является "чёрным ящиком"; на его входе множество потоков информации, часть которой приводит к снижению адаптивных свойств организма. Путём многочисленных испытаний многообразие реакций организма в результате эволюции было ограничено до пределов, необходимых для выживания. Изучая биологические объекты, мы моделируем воздействия природы и стремимся уменьшить разнообразие выходов изучаемой системы. Для этого мы, ограничивая свои интересы определённым кругом вопросов, разбиваем большой "чёрный ящик" на множество малых "чёрных ящиков" и стараемся познать их содержание. Кибернетический подход к изучению сложных систем на основе макроподхода вносит новые принципы в исследовательскую работу и в практику управляемых воздействий. Можно указать на следующие 4 задачи, решаемые в процессе изучения "чёрного ящика": 1) определение входов и выходов системы (гомоморфный подход) (задаю воздействия – анализирую результат); 2)

выявление потоков информации (последовательные испытания с целью ограничения разнообразия ответов системы); 3) раскрытие кода информации (установление необходимых дихотомических выборов, правил, по которым состояния входов изменяют выходы); 4) построение модели гомоморфной исследуемому «чёрному ящику» (установление алгоритма).

В теории управления различают процессы управления простые и сложные. Простым называется процесс управления, который осуществляется в условиях контроля системы по одному какому-либо фактору, сложным – процесс, который осуществляется в условиях контролирования нескольких показателей. Исследование биосистем целесообразно начинать, моделируя простые процессы управления и, установив основные закономерности управляемого процесса, переходить к моделированию сложных процессов управления.

При изменении внешних условий происходят изменения стационарных концентраций компонентов биосистемы, что означает перекодировку информации, получаемой из внешней среды, в новый набор стационарных концентраций.

Появление на входе биосистемы любого нового, неизвестного ранее сигнала (например, ионизирующей радиации) значительно увеличивает энтропию сообщения, что равносильно резкому увеличению объема информации, передаваемой по каналу связи. Это влечёт за собой необходимость расширения пропускной способности канала, что в свою очередь снижает помехоустойчивость системы. Появление шума – это также одна из причин вмешательства высших уровней в работу низших. Взаимные помехи элементов живой системы в условиях нормальной жизнедеятельности минимальны. Шум создается в основном за счёт деятельности соседних элементов системы, поскольку каждый из них, обладая собственными алгоритмами, стремится выполнить свою задачу, независимо от работы других элементов. Это создаёт взаимные помехи, которые, однако, благодаря корреляции, установленной вмешательством высших уровней (регуляция) или установившейся в процессе организации системы (эволюция), находятся ниже некоторого порога.

Для исследования биорегуляции, по аналогии с техническими системами, может быть использован метод внесения определённых возмущений. Наблюдая при этом процесс регулирования, можно сделать выводы о качестве и возможностях этого регулирования. Перед внесением возмущений необходимо узнать нормальные параметры основных систем живого организма в виде количественно выраженных математических закономерностей, характеризующих нормальные стационарные и переходные процессы. Проявление нарушений в биосистеме характеризуется иными стационарными и переходными режимами и, следовательно, иными моделями. Хроническое воздействие каких-либо факторов на биосистемы приводит к организации в процессе приспособления новых взаимоотношений между биологическими системами, обеспечивающий новый и достаточно устойчивый уровень функционирования. Модель такого уровня должна иметь математическое выражение стационарного процесса. В случае острых воздействий вредных факторов процесс реагирования биосистемы должен характеризоваться моделями, имеющими вид переходных процессов. Следовательно, знание моделей различных стационарных и переходных режимов биологических систем позволило бы осуществить быструю и точную экспертную оценку их со-

стояния.

Математические зависимости между отдельными параметрами биосистем называют переходными функциями. Сравнение технических и биологических систем привело к развитию новых методов анализа переходных характеристик в биологии. Все изменения состояния биологических систем могут классифицироваться как компенсаторные изменения или изменения, связанные с расстройством регуляции, обусловленные повреждающим воздействием. Гибкость биосистем и их высокая надёжность, даже в случае повреждающих воздействий, могут обеспечить нужный уровень регулирования за счёт дублирующих контуров управления или путём включения новых систем управления.

Построение математической модели биологических процессов включает несколько этапов:

- 1) изучение биологического процесса по литературным данным и в непосредственных экспериментах;
- 2) постановку задачи (описание её содержания) и выяснение возможностей её формализованного представления;
- 3) анализ количественных зависимостей между параметрами задачи;
- 4) определение целей, ограничений, критериев;
- 5) построение операторной модели, проработка вопросов функционирования системы, оформление блок-схем;
- 6) построение математической модели, символическое и численное представление связей, получение, обработка и установление достоверности необходимой информации, алгоритмов исследования модели;
- 7) проверка адекватности модели, статистическая проверка функционирования объекта и модели и при необходимости доведение её до нужного подобия;
- 8) "проигрывание" (решение) задачи по созданной математической модели на ЭВМ, анализ результатов решения;
- 9) упрощение модели до достаточной степени подобия;
- 10) решение задачи на ЭВМ по скорректированной модели, анализ возможных (допустимых) вариантов развития системы и принятие наиболее целесообразного (управленческого) решения по избранному направлению развития исследуемого процесса.

Нормы допустимого поступления вредных веществ к человеку разрабатывают токсикологи и гигиенисты. Ими же контролируется выполнение установленных норм. Охрана всех других компонентов биосферы фактически становится прерогативой экологов. Им предстоит определять пределы возможного поступления ксенобиотиков в природную среду, не нарушающего функционирование биосистем на любом из уровней организации живого – от молекулярного до биогеоценотического. К сожалению, нормативы предельно допустимых экологических нагрузок всё ещё недостаточно разработаны, и это препятствует эффективной работе по предотвращению экологических нарушений. В связи с этим одной из актуальных задач экологов и токсикологов является разработка основ экологического нормирования токсичных, мутагенных и канцерогенных веществ.