

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ТРАЛ–ОБЪЕКТ ЛОВА»

В. В. Николаев (Калининград)

Под системой «трал–объект лова» будем понимать динамическую систему, состоящую из трала и скопления рыб в зоне его действия, в процессе лова.

Для системы «трал–объект лова» очевидны следующие особенности: сложность структуры и стохастичность связей между элементами, большое количество параметров, разнообразие и вероятностный характер воздействий внешней среды. В настоящее время все еще существует ограниченность возможностей экспериментального исследования процесса лова рыбы тралом, что позволяет говорить об актуальности разработки методов их моделирования. Такие модели путем аналитического или имитационного методов могут решать конкретные задачи проектирования тралов, то есть выбора оптимального по определенному критерию при заданных ограничениях варианта из множества допустимых. Ресурсы современной вычислительной техники позволяют решать задачи большого объема и сложности.

Приняв в математической модели процесса тралового лова М.М. Розенштейна параметры поведения и распределения объекта лова случайными величинами, мы перейдем от детерминированной модели к вероятностной. В такой модели критерий эффективности является случайной величиной, распределение которой при постоянных значениях проектных параметров трала определяется распределением случайных величин, характеризующих объект лова.

При проектировании тралов случайные параметры модели заменяются их средними значениями, то есть соответствующими математическими ожиданиями. В этом случае необходимо знать законы распределения случайных параметров, входящих в математическую модель. В качестве критерия эффективности эксплуатации трала в модели используется величина улова рыбы (q), доставляемого орудием в единицу времени. Для оценки значений улова необходимо располагать данными о плотности облавливаемых косяков рыб (p), скорости ухода рыб от трала (V_p) и дальности реакции рыб на орудие (r). Между тем, две первые поведенческие характеристики представляют собой случайные величины с неизвестными законами распределения.

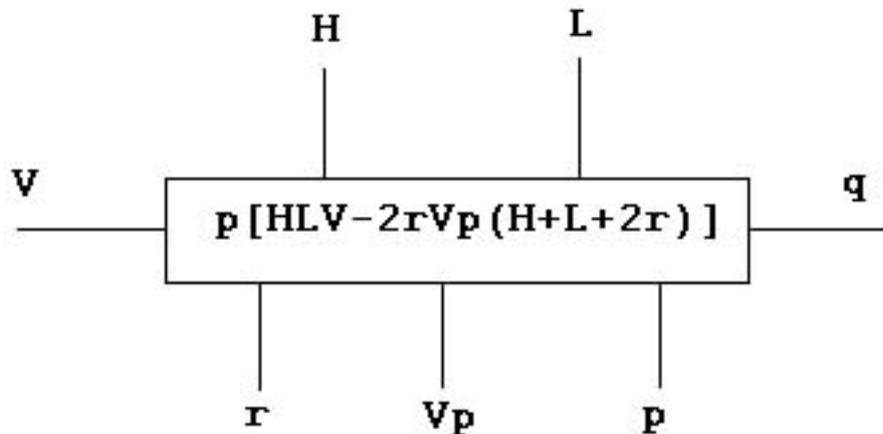
Следовательно, актуальной является задача определения вероятностных законов распределения таких поведенческих характеристик объекта лова, как плотность облавливаемых косяков рыб и скорость ухода рыб от трала.

Анализ характеристик системы «трал – объект лова» с помощью только аналитических методов исследования наталкивается на значительные трудности ввиду особенностей присущих данной системе. Поэтому наряду с построением аналитических моделей большое внимание необходимо уделить задачам оценки характеристик системы на основе имитационных моделей, реализованных на современных быстродействующих ЭВМ. Имитационная модель позволит достаточно просто учесть фактор случайных воздействий, которые создают трудности при аналитических исследованиях. Критерием целесообразности применения метода имитационного моделирования можно назвать необходимость проведения на базе аналитического метода решения очень большого количества вычислений, практически нереализуемых.

Имитационная модель, реализованная на основе аналитической модели, позволит в соответствующей форме представить процесс функционирования системы. Но адекватность имитационной модели будет обеспечена только в том случае, когда для описания поведенческих характеристик объекта лова будут использованы соответствующие им законы распределения.

Таким образом, задачу разработки имитационной модели можно сформулировать следующим образом. Зная закон распределения величины улова рыбы (q), доставляемого орудием в единицу времени, который функционально определяется через детерминированные параметры трала и вероятностные параметры объекта лова, разработать имитационную модель, допускающую варьирование законов распределения двух поведенческих характеристик объекта лова с неизвестными законами распределения. Методом статистического моделирования подобрать такие законы распределения, которые в своей комбинации с остальными параметрами системы дадут найденный ранее экспериментально закон распределения величины улова рыбы (q).

В нашем случае функциональная структура имитационной модели была определена на основании имеющейся аналитической модели следующим образом:



В нашей модели отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в модели, реальным процессам. Мы отображаем лишь некоторую функцию и рассматриваем реальный объект как «черный ящик», имеющий ряд входов и выход, и моделируем некоторые связи между входами и выходом. Таким образом, мы проводим анализ поведенческой стороны объекта. Для построения имитационной модели в этом случае мы выделяем исследуемую функцию реального объекта, формализуем эту функцию в виде оператора связи между входом и выходом, и воспроизводим на имитационной модели данную функцию, варьируя необходимые параметры. С этих позиций подобный подход можно назвать кибернетическим моделированием.

Целью моделирования является нахождение вероятностных законов распределения поведенческих характеристик объекта лова (V_p и p), таких, при которых закон распределения целевой функции (q) удовлетворяет заданному закону с необходимой точностью. Закон распределения траловых уловов (q), найденный путем статистических исследований экспериментальных выборок, является эталоном сравнения для количественной и качественной оценки модели.

После определения цели моделирования, построения концептуальной модели системы и ее формализации перейдем к этапу алгоритмизации модели системы и машинной реализации, основные задачи которого – минимизация времени получения конечных результатов и обеспечение их достоверности. На этом этапе необходимо выбрать метод оценки адекватности получаемых результатов и автоматизации процессов их получения и обработки в ходе машинного эксперимента. Существенное влияние на точность моделирования оказывает число реализаций, и в зависимости от требуемой достоверности нужно оценить необходимое число реализаций воспроизводимого случайного процесса.

На следующем этапе осуществляется работа с моделью, то есть получение и интерпретация результатов моделирования. Большое влияние на затраты машинного времени при проведении имитационного эксперимента оказывает рациональное планирование эксперимента, процедуры обработки результатов моделирования, форма их представления.

Процесс моделирования является итерационным. Варьирование параметров модели должно продолжаться пока не будет получена модель, которую можно считать адекватной в рамках решения поставленной задачи исследования системы.

В нашем случае имитационная модель для поиска неизвестных законов распределения поведенческих характеристик объекта лова была разработана в системе разработки программ Delphi 7. Для получения непрерывных случайных величин с заданным законом распределения был использован метод обратной функции.

Для параметров r , V_r и p были установлены интервалы, в которых они могут варьироваться в данном эксперименте. Помимо этого, для параметров V_r и p были определены четыре возможных закона распределения: равномерной плотности, нормальный, экспоненциальный и логнормальный, так как эти законы в подавляющем большинстве случаев описывают распределения вероятностей механизмов реальных процессов или систем.

Число экспериментов рассчитывалось как $M=x_1x_2\dots x_k$, где k – число факторов эксперимента, x_i – число уровней i -го фактора, $i=\{1..k\}$. При планировании эксперимента было определено, что для точного решения задачи методом полного перебора всех сочетаний (полный факторный эксперимент) переменных параметров практически невозможно, так как это потребует выполнения более 10^{12} - 10^{15} одиночных экспериментов, при этом одиночный эксперимент выполняется около 0,01-0,1 секунды.

Была предложена методика проведения эксперимента в два этапа. На первом этапе ищется приблизительное решение. Ключевым моментом является использование в качестве искомого распределений бета-распределения, которое имеет два параметра формы и определено на интервале (0,1). Экспериментально было установлено, что, варьируя параметры формы с определенным шагом и в определенных интервалах изменения, и масштабируя бета-распределение на интервал изменения случайных параметров модели, мы получим с некоторым приближением все варианты вышеуказанных распределений для исследуемых поведенческих характеристик объекта лова. На втором этапе среди отобранных приблизительных решений ищется точное решение, путем замены соответствующих решению бета-распределений на вышеуказанные распределения. Качественный вид распределений определяется визуально, из отображенных гистограмм, а количественные характеристики подбираются на основе текущих численных значений параметров модели.

Число уровней параметров было выбрано минимальным, но достаточным для достижения цели машинного эксперимента. В итоге, количество экспериментов на первом этапе удалось снизить до 13 440 000. Количество реализаций случайных величин в эксперименте (N) было выбрано равным 1000 исходя из двух соображений: затрат времени на машинный эксперимент и оценки точности и достоверности результатов эксперимента. Общее время машинного моделирования на ЭВМ с процессором частотой 1,33 ГГц составило более 60 часов.

Для вычисления статистических численных оценок в модели используются рекуррентные алгоритмы обработки, оценки вычисляются по ходу моделирования, большое количество реализаций случайных величин дает возможность пользоваться достаточно простыми для расчетов на ЭВМ асимптотическими формулами. По результатам каждого эксперимента находятся значения выборочного закона распределения и проверяется гипотеза, что полученное эмпирическое распределение согласуется с теоретиче-

ским распределением заданным для величины улова (q). Проверка осуществляется с помощью статистических критериев согласия Колмогорова и χ^2 . Представление результатов моделирования осуществляется посредством гистограмм для всех случайных параметров и большого количества чисел текущих статистических расчетов.

В заключение отметим, что решение сложной задачи поиска законов распределения поведенческих характеристик объекта лова можно осуществить на имитационной модели. При этом основными факторами, определяющими успех эксперимента с имитационной моделью, являются: адекватность исходной аналитической модели, грамотное построение имитационной модели и рациональное планирование эксперимента. Для решения проблемы существенного уменьшения количества точек факторного пространства (одиночных экспериментов) предлагается использование бета-распределения для поиска приближительных решений на первом этапе эксперимента с имитационной моделью.