

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИПАРАДИГМЕННОГО ПОДХОДА СРЕДЫ «ANYLOGIC» В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ГРИБОВ

В. А. Вигонт¹, Е. С. Миронычева², А. Г. Тонаж¹

¹Агрофизический НИИ Россельхозакадемии, Санкт-Петербург, Россия

²Государственный Таврический Агротехнологический Университет,
Мелитополь, Украина

Классический бизнес-процесс создания имитационной модели как готового инструмента исследования любого процесса или явления состоит из трех последовательных этапов. Во-первых, это создание математической модели как таковой – формализация определяющих причинно-следственных связей и взаимодействий в изучаемой системе на языке математических соотношений, то есть с использованием стандартной математической нотации. Второй этап – алгоритмизация, то есть перевод модели с языка формул на язык алгоритмов, выбор методов численного решения алгебраических или дифференциальных уравнений, временного шага и способа численного интегрирования динамической системы, замена непрерывных отображений дискретными разностными схемами и т.д. И, наконец, последний этап – реализация модели на компьютере.

Научное творчество в чистом виде присутствует, в основном, на первом этапе моделирования – именно здесь в наибольшей мере проявляется фантазия автора модели, а также требуется серьезная квалификация и эрудиция в изучаемой предметной области. Вторая и, тем более, третья стадия (программирование) представляют собой, в большей степени, рутинную ремесленную работу. Тем не менее, именно на алгоритмизацию и программирование тратится, как правило, большая часть времени, требующегося для разработки модели, и именно технические ошибки, допускаемые на данных этапах, оказываются наиболее критичными и трудно исправимыми. Последнее объясняется тем, что авторами модели, как правило, являются специалисты в предметной области, реже – математики, но практически никогда – специалисты в области современных информационных технологий. Естественно, при создании своих моделей они уделяют большее внимание написанию формул, нежели вопросам проектирования оптимальной структуры информационной системы. В результате программная реализация, то есть написание кода, остается слабейшим звеном в процессе разработки моделей.

В данных условиях крайне привлекательной выглядит идея отказа от написания программного кода «с нуля» и использования в качестве инструмента создания моделей нового поколения того или иного готового высокоуровневого движка имитационного моделирования. Основная выгода данного подхода заключается в избавлении разработчиков от погружения в детали алгоритмической реализации конкретных процессов. Вместо этого они могут сконцентрироваться на описании природы изучаемых явлений в более «естественном» виде, то есть, например, в виде, максимально приближенном к традиционной математической нотации.

Одним из наиболее мощных и распространенных современных инструментов создания имитационных моделей является система отечественной разработки AnyLogic. Уникальной особенностью данного продукта выступает объединение в рамках единой платформы всех трех наиболее распространенных парадигм моделирования: дискретно-событийного (процессного) подхода, агентного моделирования и системной динамики. Представляется, что заложенная в указанной системе функциональность предоставляет разработчику модели множество возможностей как в плане абстрагирования от деталей алгоритмической реализации стандартных динамических процессов, так и в плане всестороннего анализа и исследования готовой модели.

Авторами предпринята попытка продемонстрировать на примере AnyLogic возможности высокоуровневых сред для создания имитационных моделей, в частности – перспективы использования мультипарадигменного метода, то есть «смешения» в рамках единой модели разных техник моделирования: непрерывного системно-динамического описания, дискретно-событийного подхода и агентной методологии. В качестве «полигона» в данной системе была реализована соответствующим образом модифицированная математическая модель роста мицелия и спорофоров грибов на основе классической работы Чантера и Торнли, опубликованной еще в 1978 г. [1].

Основная модификация, произведенная авторами по сравнению с оригинальной версией модели, состоит в способе описания в ней понятия спорофора, или плодового тела гриба. В исходной модели все плодовые тела были представлены в форме единого функционального компартмента. Однако поскольку и скорость роста конкретного гриба, и требующийся ему ресурс роста в единицах субстрата принимались зависящими от его возраста и величины, то и соответствующие характеристики интегрального компартмента выражались не в виде скалярных величин, а в виде непрерывных распределений. При этом математическим аппаратом, описывающим динамику инициации и роста всех спорофоров, оказывались интегральные уравнения, для решения которых авторы применяли специальные численные методы. Побочным эффектом подобной формализации в исходной модели выступал тот факт, что общее число спорофоров оказывалось по природе такой же характеристикой состояния компартмента, то есть выражалось величиной вещественного типа, а не целым числом, что соответствует здравому смыслу.

При мультипарадигменном подходе, реализованном в среде AnyLogic, предоставляется возможность избежать такого неестественного способа описания и представить в рамках единой модели множество плодовых тел «как есть», то есть как конечное счетное множество индивидуальных объектов одинаковой природы. При этом в каждый момент времени совокупность всех сгенерированных спорофоров представляет собой набор «агентов», параметры состояния и законы поведения которых определены единожды в порождающем классе Mushroom. Каждый из данных агентов нуждается в потоке субстрата из общего пула (мицелия) для роста и поддержания жизни. А для определения общего сухого веса спорофоров или текущей потребности их в субстрате авторы не решают интегральное уравнение, а просто суммируют показатели сухого веса

спорофоров по всему массиву сгенерированных и вегетирующих в текущий момент агентов. Таким образом, в данной модели совмещается традиционное системно-динамическое описание (системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающие динамику вещественных переменных состояния в непрерывном времени) и агентный подход.

Дополнительным преимуществом использования внешних инструментов имитационного моделирования выступает возможность использования встроенных в них стандартных механизмов исследования динамических моделей: анализа чувствительности, оптимизации, параметрической идентификации и т.д. В частности, в рамках изучаемой модели роста грибов была поставлена и решена задача нахождения оптимального возраста грибов, в котором следует осуществлять их уборку для достижения наибольшего интегрального урожая (т.е. суммарной для всех наблюдаемых в модели «волн» плодоношения биомассы плодовых тел [2]).

Выполненная работа носит, в основном, методический характер и призвана продемонстрировать преимущества использования внешних инструментов и сред, а также мультипарадигменного подхода в решении задач имитационного моделирования экологических систем. В перспективе авторы планируют развивать построенную модель в направлении повышения ее адекватности с целью дальнейшего использования в качестве инструмента исследований и поддержки технологических решений в промышленной микологии [3].

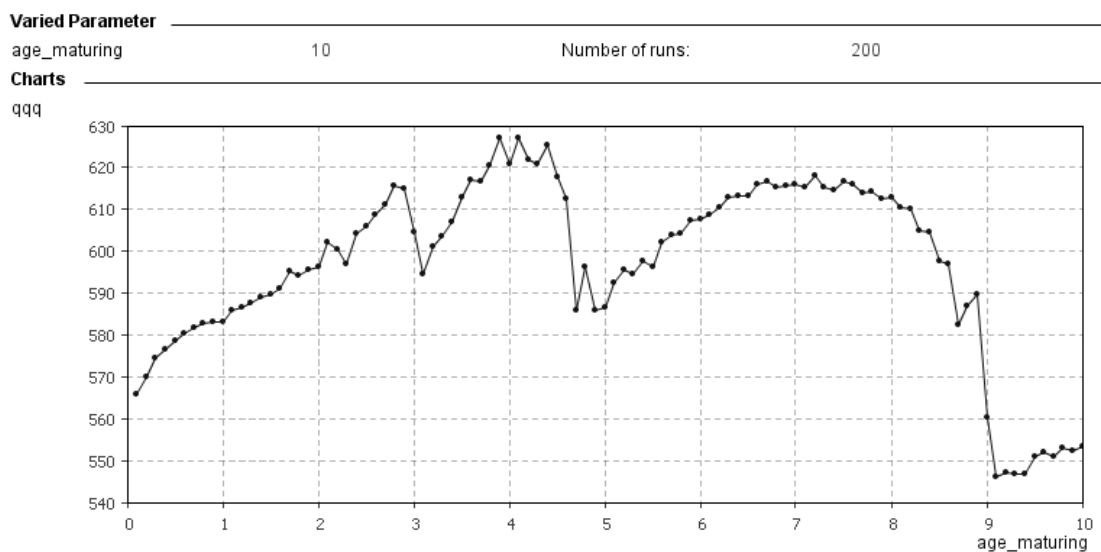


Рис. 1. Зависимость средней величины суммарного урожая грибов от возраста «спелости» отдельного спорофора

Литература

1. Chanter D. O., Thornley J. H. M. Mycelial Growth and the Initiation and Growth of Sporophores in the Mushroom Crop: a Mathematical Model // Journal of General Microbiology. 1978. 106(1):55–65.
2. Chanter D.O. Harvesting the Mushroom Crop: a Mathematical Model // Journal of General Microbiology. 1979. 115:79–87.
3. Бандура И. И., Миронычева Е. С. Биологическая эффективность штаммов вешенки обыкновенной *Pleurotus ostreatus* (**jacq**:Fr) Kumm при низкотемпературном культивировании // Земледелие и защита растений (Agriculture and Plant Protection). 2013. № 5. С. 33–34.