

УДК: 634.10:632.7+001.891.57(477.75)
DOI: 10.36305/2019-2-151-138-143

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ ФИТОФАГОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕМЕЧКОВЫХ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

**Валерий Анатольевич Шишкин, Евгений Павлович Рыбалкин,
Елена Борисовна Балыкина**

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52
E-mail: shilv18@mail.ru

Проведено имитационное моделирование процессов влияния фитофагов на урожайность семечковых культур, в частности яблони. Посредством имитационных моделей выявлена значимость воздействия фитофагов на различных этапах вегетационного периода и периода созревания плодов. Для построения имитационных моделей использовался пакет программ Matlab. В результате получены имитационные модели с нелинейными характеристиками, которые максимально отображают исследуемые процессы.

Разработанные модели имитируют процесс развития фитофагов. Моделируется смена поколений вредителей и все стадии их развития. Фиксируется соответствующая их численность на каждой стадии для всех поколений. Процесс развития на каждой стадии моделируется отдельными подсистемами имитационной модели. Для моделирования процесса развития одного поколения вредителей эти подсистемы соединяются внешними связями. Кроме того часть связей обеспечивает моделирование смены поколений. Предусмотрен ряд входных параметров, позволяющих настраивать моделирование процесса смены поколений с учетом особенностей развития различных фитофагов.

Ключевые слова: *урожайность; фитофаги; имитационные математические модели*

Введение

Условно все математические модели биологических систем можно разделить на регрессионные, качественные, имитационные. Регрессионные зависимости это формулы, описывающие связь различных характеристик системы, не претендуя на физический или биологический смысл этих зависимостей. Для построения регрессионной модели достаточно статистически достоверных наблюдаемых корреляций между переменными или параметрами системы.

Коэффициенты в регрессионных моделях обычно определяются с помощью процедур идентификации параметров моделей по экспериментальным данным. При этом чаще всего минимизируется сумма квадратов отклонений теоретической кривой от экспериментальной для всех точек измерений. Т.е. коэффициенты модели подбираются таким образом, чтобы минимизировать функционал.

Имитационные модели строятся по принципу подобия, с использованием данных предварительных экспериментов.

Объекты и методы исследования

В среде имитационного моделирования Simulink системы Matlab была разработана модель определения численности яблонной плодовой жоржки в зависимости от температуры окружающей среды. Модель имитирует процесс развития поколений яблонной плодовой жоржки. Температурный фактор представлен средним значением за сутки. Имитационная модель представлена на рисунке 1.

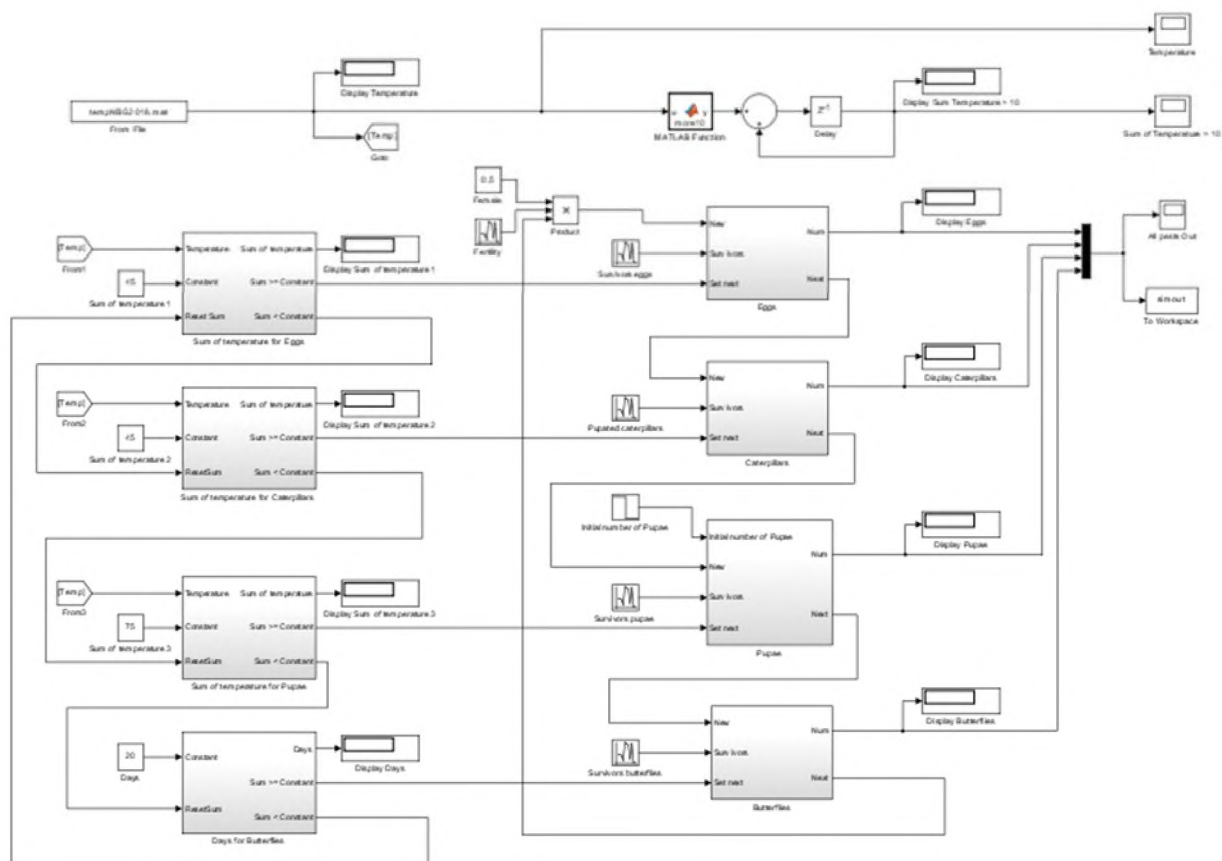


Рис. 1 Разработанная имитационная модель
Fig. 1 Developed simulation model

Моделируемый процесс развития поколений яблонной плодовой жорки состоит из четырех стадий и представляет собой переход от одной стадии к другой: из яиц появляются гусеницы, которые в свою очередь окукливаются, а далее из куколок появляются бабочки. Бабочки откладывают новые яйца и процесс повторяется. Продолжительность отдельных стадий и завершение развития в основном зависит от температуры окружающей среды (Балыкина, Черный, 2018). Накопление необходимого биологически активного тепла способствует завершению развития на текущей стадии и переход к следующей стадии.

В имитационной модели каждая стадия реализована в виде двух подсистем, связанных как между собой, так и с подсистемами других стадий. Для яиц, гусениц и куколок одна из подсистем имитирует процесс накопления биологически активного тепла в виде суммы эффективных температур (СЭТ) $> 10^{\circ}\text{C}$ необходимой для завершения развития на соответствующей стадии. Для бабочек разработана подсистема, определяющая их время жизни. Другие подсистемы моделируют процесс изменения количества яиц, гусениц, куколок или бабочек.

В каждой паре, моделирующей одну стадию, связь подсистем представляет собой сигнал завершения развития, сигнализирующий о переходе к следующей фазе жизненного цикла. Что приводит к уменьшению количества жизненных форм на текущей стадии и увеличению на следующей, посредством соответствующих сигналов, обеспечивающих связь подсистем разных стадий моделируемого процесса. Для связи подсистем разных стадий применяются два сигнала. Один обеспечивает запуск имитации процесса накопления биологически активного тепла, либо подсчет времени жизни бабочек. Другой сигнал представляет собой количество новых жизненных форм следующей стадии.

Кроме моделирования процесса жизненного цикла яблонной плодовой гнили, имитационная модель осуществляет подсчет СЭТ $> 10^{\circ}\text{C}$ за моделируемое время. А также построение графиков динамики изменения среднесуточной температуры, СЭТ, количества яиц, гусениц, куколок и бабочек.

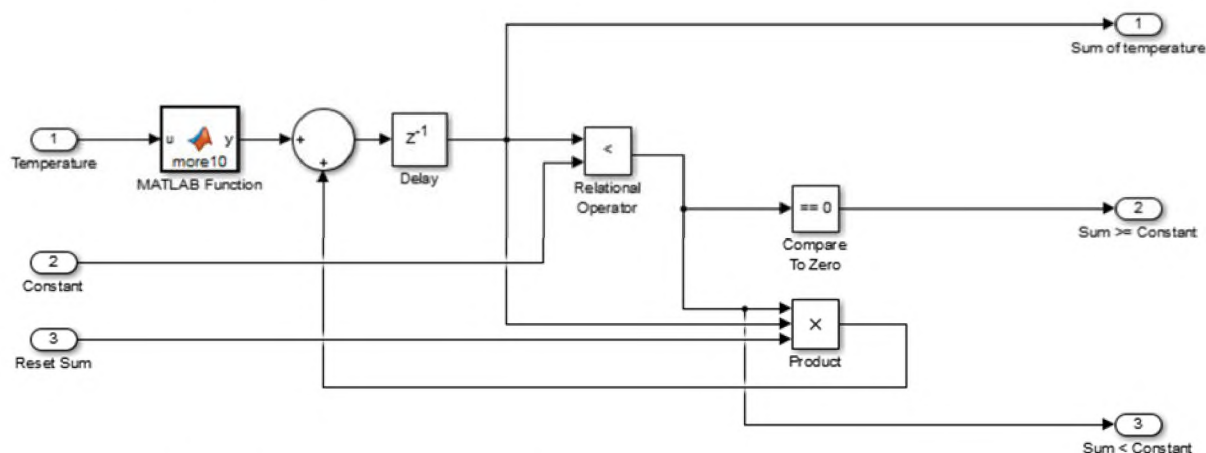


Рис. 2 Подсистема моделирования процесса накопления биологически активного тепла
Fig. 2 Subsystem of modeling the process of accumulation of biologically active heat

На рисунке 2 представлена подсистема, моделирующая процесс накопления биологически активного тепла. Подсистема является имитационной моделью, которая моделирует процесс накопления СЭТ $> 10^{\circ}\text{C}$ и сравнивает полученную сумму с заданной величиной, определяющей завершение развития в конкретной фазе жизненного цикла. В случае достижения необходимого значения СЭТ выполняется обнуление суммы и формирования соответствующих сигналов для других подсистем модели. Также предусмотрено обнуление СЭТ по внешнему сигналу для осуществления подсчета в необходимое модельное время, обусловленное переходом модели в состояние имитирующие соответствующую фазу жизненного цикла. На рисунке 3 представлена аналогичная по функционированию подсистема, имитирующая время жизни имаго, заключающееся в подсчете количества прожитых дней.

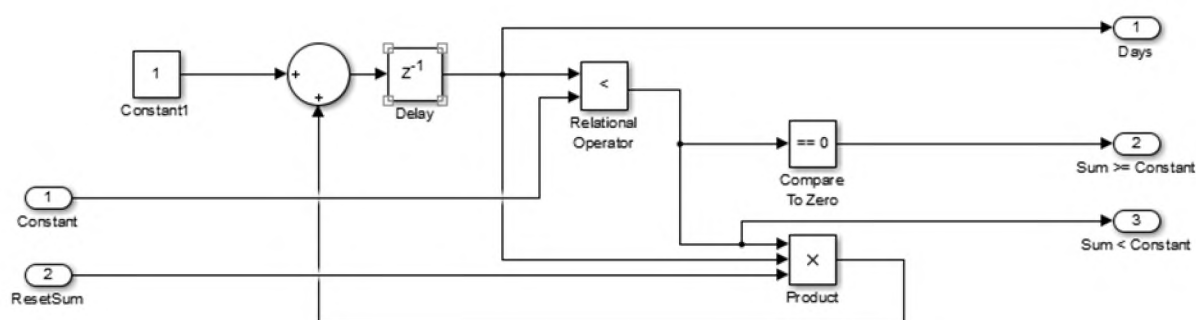


Рис. 3 Подсистема моделирования времени жизни имаго
Fig. 3 Subsystem of modeling the imago's life time

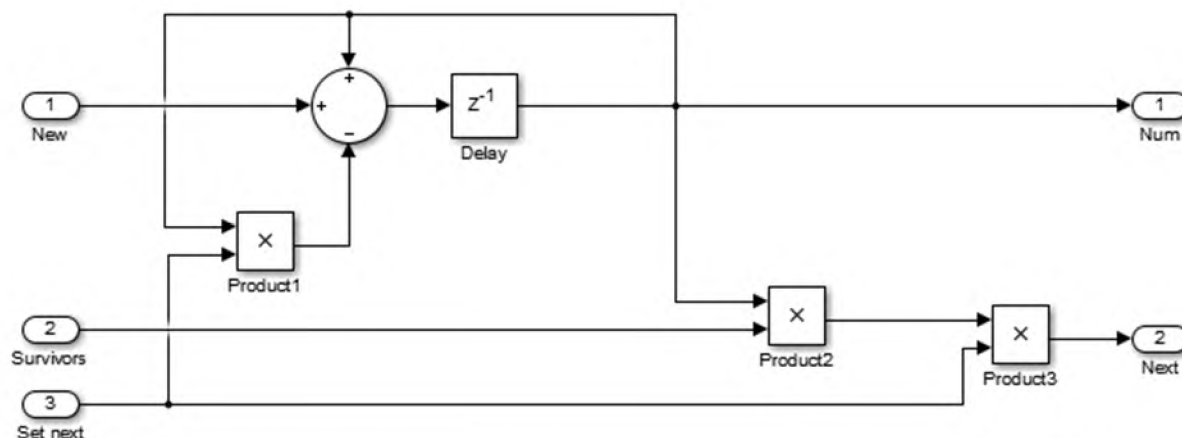


Рис. 4 Подсистема моделирования процесса изменения количества яиц, гусениц и бабочек
Fig. 4 Subsystem of modeling the process of changing the number of eggs, larvae and butterflies

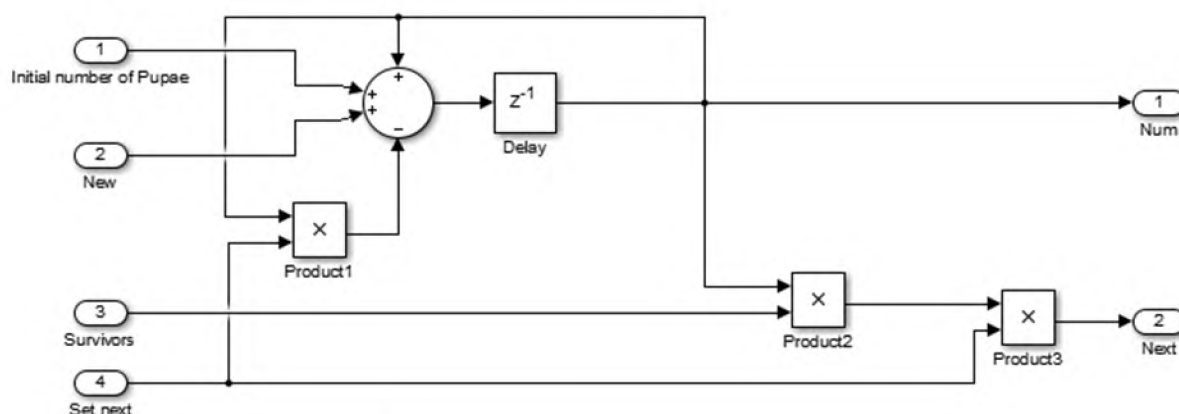


Рис. 5 Подсистема, моделирующая процесс изменения количества куколок
Fig. 5 Subsystem simulating the process of changing the number of pupae

Подсистема, моделирующая процесс изменения количества яиц, гусениц и бабочек представлена на рисунке 4. Увеличение количества осуществляется на величину внешнего сигнала, определяющего переход из одной фазы жизненного цикла другую. Уменьшение количества определяется внешним сигналом о завершении развития в данной фазе и перехода системы в следующую фазу. При этом формируется сигнал для подсистемы следующей фазы, уровень которого соответствует необходимому увеличению численности на следующей фазе. Он зависит от внешнего сигнала, определяющий процент выживших особей, имитирующий неблагоприятные условия внешней среды. На рисунке 5 представлена аналогичная подсистема, отличающаяся дополнительным внешним сигналом, который устанавливает начальное состояние модели. Данная подсистема имитирует процесс изменения количества куколок.

Исходными параметрами разработанной имитационной модели являются среднесуточные температуры за моделируемые период времени, начальное значение количества куколок, СЭТ необходимых для завершения развития в каждой фазе жизненного цикла, времени жизни имаго, а также средние проценты выживания для каждой фазы с заданным отклонением от среднего значения для нормального распределения. Результаты имитационного моделирования представляются в виде графиков динамики количества яиц, гусениц, куколок и бабочек за моделируемое время (рис. 6).

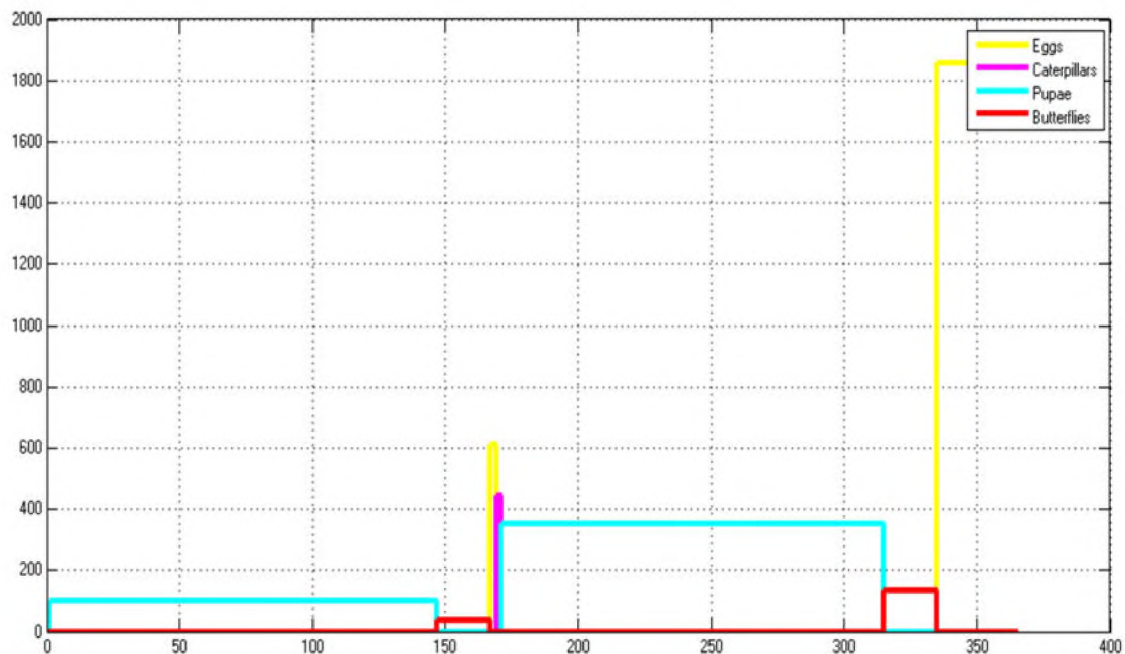


Рис. 6 Результаты имитационного моделирования
Fig. 6 Results of the simulation modeling

Выводы

В результате построения имитационной модели с заданными характеристиками можно сделать следующее заключение. Воздействие факторов влияющих на процессы формирования видового состава энтомоакарокомплекса обусловленного экологическими особенностями агроэкосистемы яблоневого сада и основными периодами онтогенеза яблони, происходит под влиянием погодно-климатических условий, технологии выращивания и системы защиты. Предложенная имитационная модель формирования энтомоакарокомплекса позволит построить прогнозы урожайности семечковых культур.

Литература / References

Агасьева И.С., Терехов В.И., Исмаилов В.Я. Методы определения численности яблоневой плодовой феровомонными ловушками // Агро XXI: Сб. научн. трудов Краснодарского НИИ садоводства. 2003. № 1-6. С. 27-29.

[Agasyeva I.S., Terekhov V.I., Ismailov V.Ya. Methods of determining the number of apple moth using pheromone traps // Agro XXI: coll. of scien. proceedings of the Krasnodar Research Institute of Horticulture. 2003. No. 1-6. P. 27-29.]

Балыкина Е.Б. Экологические основы формирования энтомокомплекса яблоневых садов // Lambert Academica Publishing. Германия. 2012. 100 с.

[Balykina E.B. Ecological bases of formation of entomocomplex of apple orchards // Lambert Academica Publishing. Germany. 2012. 100 p.]

Балыкина Е.Б., Черний А.М. Энтомоакарокомплекс и защита яблоневых садов Крыма // Симферополь: Издательство Типография «Ариал». 2018. 348 с.

[Balykina E.B., Cherniy A.M. Entomoacarocomplex and protection of apple orchards of the Crimea // Simferopol: Publishing house "Arial". 2018. 348 p.]

Братусь, А.С., Новожилов А.С., Платонов А.И. Динамические системы и модели в биологии. // М.: ФИЗМАТЛИТ. 2009. С. 400. URL: <https://e.lanbook.com/book/2119> (дата обращения: 18.09.2019).

[Bratus' A.S., Novozhilov A.S., Platonov A.I. Dynamical systems and models in biology. Moscow: FIZMATLIT. 2009. 400 p. URL: <https://e.lanbook.com/book/2119> (accessed: 18.09.2019)]

Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. // М.: Лань, 2011. С. 736. URL: https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=650 (дата обращения: 18.09.2019).

[Porshnev S.V. Computer modeling of physical processes in MATLAB package. // Moscow: Lan', 2011. 736 p. URL: https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=650 (accessed: 18.09.2019)]

Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCAD // М.: Горячая линия – Телеком, 2002. С. 252.

[Porshnev S.V. Computer modeling of physical processes using MathCAD package. // Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2002. 252 p.]

Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии // Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. С. 184.

[Riznichenko G.Yu. Mathematical models in biophysics and ecology // Moscow-Izhevsk: Institute of computer research. 2003. 184 p.]

Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование // М.: Едиториал УРСС. 2003. С. 144.

[Tarasevich Yu.Yu. Mathematical and computer modeling // Moscow: Editorial URSS. 2003. 144 p.]

Статья поступила в редакцию 03.10.2019 г.

Shishkin V.A., Rybalkin E.P., Balykina E.B. Process simulation modeling of phytophagans' influence on the yield of seed fruit crops // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2019. № 2(151). P. 138-143.

Simulation modeling of phytophagans' influence on the yield of seed fruit crops, in particular apple trees, was carried out. By means of simulation models the importance of phytophagans' influence at different stages of the vegetation period and the period of fruit ripening was revealed. The software package Matlab was used to build simulation models. As a result, simulation models with nonlinear characteristics were obtained, which maximally reflected the studied processes.

The developed models imitate the process of phytophagans' development. Generation change of pests and all stages of their development are simulated. Their respective numbers are recorded at each stage for all generations. The development process at each stage is modeled by separate subsystems of the simulation model. To simulate the development of one generation of pests, these subsystems are connected by external links. In addition, part of the relationships provides a simulation of generational change. There are a number of input parameters that allow to configure the simulation of the process of changing generations, taking into account the peculiarities of the development of various phytophagans.

Key words: *yield; phytophagans; simulation models*