

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт виноградарства и виноделия
имени Я. И. Потапенко Россельхозакадемии,
Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ВЕГЕТАЦИИ ВИНОГРАДА

Приведены результаты исследования по использованию метода топологических преобразований стохастических сетей для математического моделирования процессов развития винограда. Построена обобщенная модель процесса развития виноградника при влиянии вредных факторов.

Ключевые слова: виноградник, стохастические сети, процесс развития, вероятность своевременного выполнения процесса, среднее время выполнения процесса.

При разработке различных систем автоматизированного прогнозирования урожайности, при расчете максимальных урожаев и их агротехническом, экономическом, экологическом обеспечении важное место занимают модели роста и развития растений. Растение - сложная стохастическая система, содержащая множество параметров состояния, количественные изменения которых ведут к количественному и качественному изменениям всей системы в целом. Математическая модель роста и развития растений должна описывать основные процессы, на которые влияет управляющее воздействие.

Основой моделирования в растениеводстве является комплексный, системный подход, при котором биология растений, почва, агрометеорологические условия и направленная деятельность человека рассматриваются как единая система.

Простейший метод построения математических моделей - метод регрессионного, или многофакторного, анализа [2, 3]. Использование такой модели опирается на предположение, что реальные внешние условия идентичны условиям эксперимента. Часто эти методы дают удовлетворительные результаты. Если имеется определённая информация о характере искомых зависимостей, то можно более обоснованно выбрать класс функций для аппроксимации реальных связей. Обычно в качестве таких зависимостей используют разнообразные балансовые соотношения (законы сохранения), которые должны выполняться. Они резко сокращают число независимых факторов и объём эксперимента. Однако балансовые соотношения обычно не позволяют построить замкнутую модель: всегда остаются неопределёнными несколько величин, которые находятся с помощью регрессионного анализа [1]. Сочетание балансовых и регрессионных методов позволяет построить более точную модель.

Объекты сельскохозяйственной науки обычно требуют целостного (холистического) подхода, так как знание отдельных процессов в этих объектах обычно не даёт знания об этих объектах в целом. Поэтому часто „грубые“ модели, отражающие целостные свойства объекта, здесь бывают точнее, чем модели высокой степени детализации. Сейчас уже созданы очень сложные модели роста и развития растений с предельной детализацией процессов, которые трудно насытить опытной информацией и привязать к реальному объекту. Они как раз и не учитывают свойства целостности приспособляться к внешним условиям, характерные для растений и их популяций (посева в целом). Пока ещё нет достаточно точных методов описания целостности объектов, что создаёт трудности для их изучения. Но уже сейчас можно сказать, что для практического использования моделей роста растений нерационально строить модели высокой степени детализации. Однако, применяя агрегированные (обобщённые) модели, нужно специальным образом организовать эксперимент, причём проблемы построения модели и организации эксперимента нужно решать одновременно.

Для исследования характеристик сложных процессов получили развитие графоаналитический, логико-вероятностный, метод марковских цепей и другие методы. Для исследований предлагается метод топологического преобразования стохастических сетей (ТПСС), являющийся более абстрактным, чем рассмотренные, и поэтому он применим к исследованию более

широкого класса случайных процессов, происходящих в сложных системах [4].

Суть метода заключается в том, что исследуется не система, а целевой процесс, который она реализует. Этот сложный процесс декомпозируется на элементарные процессы, каждый из которых характеризуется функцией распределения времени выполнения процесса, плотностью вероятности, средним временем выполнения и дисперсией времени его выполнения. Логика и последовательность выполнения процессов определяется двухполюсной сетью, состоящей из входной, промежуточных и выходной вершин, при этом ребрам соответствует набор элементарных процессов, а вершинам - условия их выполнения. Каждый узел выполняет две функции – входную, определяющую условие выполнения узла, и выходную, определяющую, какие из операций, следующих за узлом, будут выполняться. Для каждого из ребер определяется функция передачи – условная характеристическая функция, являющаяся преобразованием Лапласа функции плотности вероятностей времени свершения элементарного процесса.

Далее осуществляется топологическое преобразование стохастической сети по правилу Мэйсона. Поскольку входная и выходная вершины двухполюсной сети являются связными, то топологическое преобразование приводит к получению эквивалентной функции, сохраняющей в своей структуре параметры распределения и логику взаимодействия элементарных случайных процессов. Получение эквивалентной функции позволяет известными методами определить первые моменты случайного времени выполнения целевого процесса либо произвести ее обратное преобразование по Лапласу, результатом которого является функция плотности вероятностей времени выполнения этого процесса.

Рассмотрим процесс вегетации винограда в естественных природных условиях.

Постановка задачи.

Пусть имеется виноградник в N кустов, вегетирующий в естественных природных условиях. Под естественными природными условиями будем понимать совокупность условий природного происхождения с возможными вредными факторами болезни, метеоусловия и т.д. Исследуем процесс влияния вредных факторов. Предположим, что влияние вредных факторов распространяется с вероятностью P_i . Если процесс вегетации не нарушен, то он будет совершён за время $t_{\text{вез}}$ с функцией распределения свершения процесса вегетации

$$B(t) = 1 - e^{-\mu t}. \quad (1)$$

В формуле (1) параметр μ определяется как

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{вез}}}, \quad (2)$$

где $\bar{t}_{\text{вез}}$ - среднее время свершения процесса вегетации.

Если процесс вегетации нарушен, то при определённом вмешательстве или самостоятельно он будет восстановлен, время восстановления $t_{\text{в}}$ с функцией распределения времени восстановления

$$\Delta(t) = 1 - e^{-dt}. \quad (3)$$

В формуле (3) параметр d определяется как

$$d = \frac{1}{\bar{t}_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где $\bar{t}_{\text{в}}$ - среднее время восстановления.

Требуется определить вероятность своевременного свершения процесса вегетации, среднее время свершения процесса вегетации в условиях влияния вредных факторов, вероятность свершения процесса вегетации за время, не превышающее заданное.

В соответствии с методом ТПСС и методикой количественной оценки эффективности функционирования процессов стохастическая модель процесса вегетации винограда в условиях влияния вредных факторов будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

Тогда исходя из поставленной задачи

$$\beta(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d[B(t)] = \frac{\mu}{\mu + s} \quad (5)$$

преобразование Лапласа - Стильеса функции распределения времени вегетации.

$$\delta(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d[\Delta(t)] = \frac{d}{d+s} \quad (6)$$

преобразование Лапласа - Стильтеса функции распределения времени восстановления.

Определим величины, входящие в рассмотренные выше формулы:

μ - параметр экспоненциального распределения функции распределения времени вегетации;

d - параметр экспоненциального распределения функции распределения времени восстановления;

s - в общем случае это параметр преобразования Лапласа - Стильтеса,

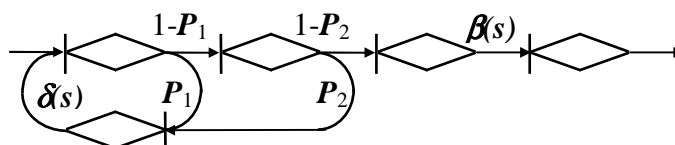


Рис. 1. Модель процесса вегетации виноградника в условиях влияния вредных факторов

Эквивалентная функция стохастической сети имеет вид:

$$h(s) = \beta(s) \prod_{i=1}^2 \frac{1-P_i}{1-P_i \delta(s)}. \quad (7)$$

Опуская промежуточные преобразования, получим окончательные выражения для расчёта вероятности своевременной вегетации $h(s)$ и среднему времени вегетации \bar{t}_n в условиях влияния вредных факторов. Соответствующие формулы имеют вид:

для вероятности своевременной вегетации:

$$h(s) = \frac{1}{1+s\bar{t}_{\text{вез}}} \prod_{i=1}^2 \frac{1-P_i}{1-P_i / 1+s\bar{t}_{\text{вез}}}, \quad (8)$$

где $i=1,2$ - один из внешних вредных факторов;

P_i - вероятность влияния одного из вредного i -го фактора.

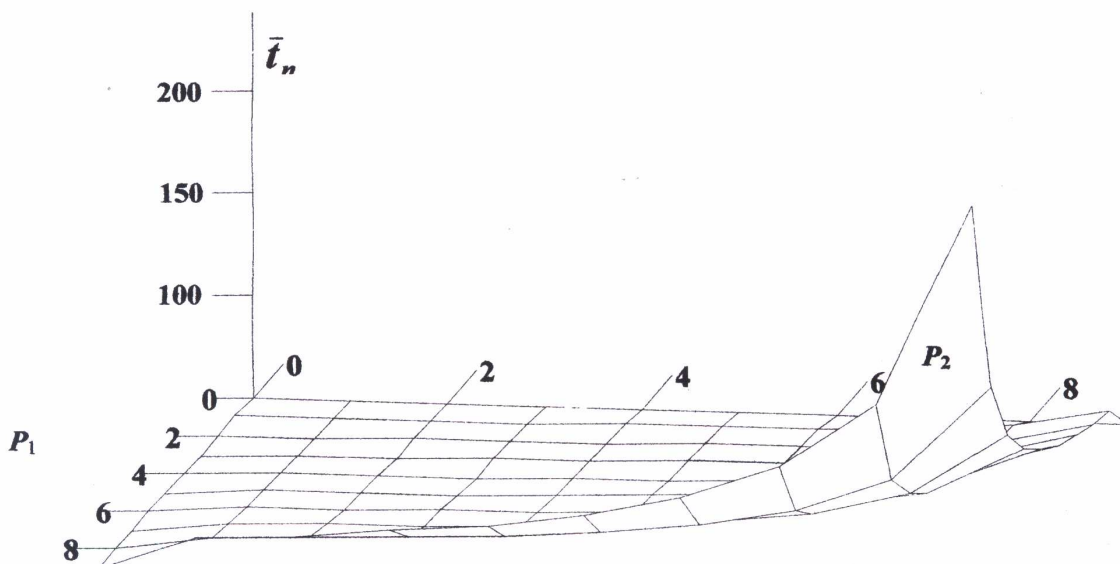


Рис. 2. Графики зависимости среднего времени вегетации от различных вероятностей влияния вредных факторов.

Графики зависимости вероятности своевременной вегетации от вероятности влияния вредных факторов для различных $\bar{t}_{\text{вез}}$ представлены на рис. 2.

Окончательная формула для расчёта среднего времени вегетации примет вид:

$$\bar{t}_n = \bar{t}_{\text{вез}} + \bar{t}_{\text{вез}} \frac{1 - (1 - P_1)(1 - P_2)}{(1 - P_1)(1 - P_2)} + \bar{t}_{\text{вез}} \frac{1 - (1 - P_2)}{1 - P_2} \quad (9)$$

Графики зависимости среднего времени вегетации от различных вероятностей имитации вредных факторов, построенные в соответствии с формулой (9), представлены на рис. 2. Анализируя графики можно сделать следующие **выводы**:

Среднее время вегетации в условиях воздействия вредных факторов при высокой вероятности воздействия стремится к бесконечности, для обеспечения заданных вероятностно - временных характеристик времени вегетации необходимо существенно снизить вероятность влияния вредных факторов.

Предложенный подход позволяет не только производить оценку эффективности развития процесса, но и обеспечить применение методов и их адаптации к складывающимся условиям на разных этапах развития, позволяющих достичь заданного качественного ее состояния. Он также применим на всех уровнях детализации. Применение методов математического моделирования требует знаний фундаментального характера, поэтому их получение должно развиваться в сочетании с традиционными методами исследования и управления.

Литература

1. Вайдлих В. Социодинамика. Системный подход к математическому моделированию в социальных науках / В. Вайдлих. – М.: Либроком, 2010. – 480 с.
2. Голубев А. В. Экологические проблемы сельского хозяйства стран СНГ / А. В. Голубев. – М., 2012. – 17 с.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 336 с.
4. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование / А. А. Привалов. – С.-Пб., 1999. – 171 с.

E. V. Apanasov

Using topological transformations stochastic networks in grapes vegetation process modeling

The results of studies on the use of stochastic networks topological transformations method for the mathematical modeling of the grapes vegetation are submitted. A generalized model of the vineyard development under the influence of harmful factors is constructed.

Keywords: the vineyard, stochastic network, process of the development, probability of well-timed fulfillment of the process, average time fulfillment of the process.