

УДК 37.016:[519+577] (Методика преподавания математических методов в биотехнологии. Материальные основы жизни. Биохимия. Молекулярная биология. Биофизика)

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В BIOTECHNOLOGII.  
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ В ВУЗЕ**

© 2018 О.Н. Чечина

*Ольга Николаевна Чечина, доктор химических наук, профессор кафедры технологии пищевых производств и биотехнологии. E-mail: [chchinao@yandex.ru](mailto:chchinao@yandex.ru)*

Самарский государственный технический университет. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 29.01.2018

Химическая и биохимическая технология представляет собой искусство полезного применения химической и биологической энергии с применением математических методов в исследовании – планировании и обработке эксперимента, а также использовании экспериментальных результатов. Описана структура монографии и раскрыто содержание её частей – актуальный математический аппарат, Приложения и таблицы, методические разработки. Наибольшее значение в биотехнологии имеют планирование эксперимента и математическая статистика, методами которых можно выявлять оптимальное сочетание факторов и различать совокупности. Из всех математических моделей для биотехнологии подчёркивается значение трансцендентных волновых функций. Для освоения предмета рекомендованы предметный указатель, терминологический словарь, тестирование.

*Ключевые слова:* химическая и биотехнология, математическая статистика, планирование эксперимента, закон Гаусса-Лапласа, вариационные ряды, корреляция, метод Ньютона, трансцендентные уравнения, точность, варианты, численные методы, полином, хромосома, биологическая энергия.

Известно, что такая область современной культуры взаимодействия с природой как химическая и биохимическая технология имеет целью уже не столько познание, сколько практическое претворение знаний в области полезного использования химической и биологической энергии. Поэтому инженерная химическая и микробиологическая технология является в наибольшей степени искусством, которое объединяет практически все естественнонаучные (и не только) достижения деятельного человеческого ума в области аппаратного оформления, обслуживания и общения с окружающей средой [1]. В этом аспекте роль математических методов в создании всех систем управления и регулирования практически процессами совершенно бесспорна и ни у кого не вызывает сомнений. Особенно это касается микробиологии, где целенаправленное получение чистых полезных культур биообъектов-продуцентов (микроорганизмов), то есть селекция вообще немислимо без применения законов *математической* статистики [2, 3]. А она, в свою очередь, предполагает знание основ постановки эксперимента, измерений и оценки их легитимности (правильности и точно-

сти). И, наконец, подразумевается правильное использование результатов эксперимента.

Монография обобщает многолетний труд [4] по сбору, обобщению, осмыслению методик использования и интерпретации различных аспектов применения математических методов в постановке и обработке химического и биохимического эксперимента. Новый вариант работы выполнен одним автором [5]. Он содержит новый раздел «Научно-методические проблемы применения математических методов в учебном процессе» (во введении), а также методические материалы в виде терминологического словаря, правил оформления графиков и образцов тестов. В новом исполнении монография поделена на три части: 1) «Актуальный математический аппарат», 2) «Приложения и дополнения к использованию аппарата» и 3) Рекомендации по методике освоения знаний, навыков и умений.

Любая работа начинается с планирования. В чисто исследовательском плане, для построения предварительных моделей нового процесса применяют методы случайного поиска и затем – однофакторного эксперимента, в котором исследуют влияние наиболее значимого фактора в получении того или иного полезного результата,

продукта при прочих постоянных условиях. Но в химической и биохимической технологии, имея в виду полезное применение исследуемого процесса, стоит задача одновременного исследования по возможности наибольшего числа факторов, влияющих на получение окончательного результата. Многофакторное планирование заключается в том, что все нужные факторы вначале *кодируют* и в ходе предварительного поиска оценивают возможные интервалы варьирования. Затем в экспериментах со всеми экстремальными сочетаниями факторов (наибольшие (+1) и наименьшие (-1) значения) проводят нужные опыты и находят значения оптимизируемого параметра. После выполнения всех возможных «экстремальных экспериментов» простыми методами интерполяции находят приращения исследуемого параметра при изменении каждого фактора на одну единицу. В более сложных случаях приращения получают *методом наименьших квадратов*, когда каждый искомый коэффициент определяется из условия минимального значения ошибки (точнее, её квадрата) для найденного предполагаемого уравнения. Сама ошибка может иметь как отрицательное, так и положительное значение, поэтому средняя величина не характеризует точность эксперимента. Но квадрат отклонения всегда положителен и должен иметь минимальное значение. Получают уравнение «полином», в котором отражено влияние каждого фактора на оптимизируемый параметр. Простыми, также всем известными методами интерполяции и экстраполяции находят область, сочетание факторов, в которой оптимизируемая величина – оптимальна (имеет самое большое или самое малое значение).

Безошибочных действий, безошибочных опытов не бывает. Большое значение имеет правильная оценка получаемых в измерениях результатов. В математической статистике, прежде всего, оценивают ошибку эксперимента, сравнивая каждый из параллельных опытов, точнее его результат с усреднённым. Точнее, сравнение ведут со среднеарифметическим значением результата всех параллельных опытов. При этом используется закон Гаусса-Лапласа для распределения случайных величин. Этот закон – один из наиболее общих законов природы. Он устанавливает правило попадания случайной величины серии конкретных измерений в заданный интервал её значения. При этом отклонение случайной величины от среднего значения измерений не может быть больше, чем три среднеквадратичных погрешности. Для микробиологии,

например, это означает, что отклонение свойства микроба (например, размера или скорости роста) от среднего значения для данного вида (штамма) больше чем на три ошибки эксперимента свидетельствует о произошедшей мутации, появлении нового штамма микроорганизма с новыми свойствами. В скобках отметим, что само направление изменения свойств связано с соотношением между энергией возмущающего, мутирующего воздействия и энергетическими характеристиками соответствующего генома в наследственном аппарате микроорганизма. При этом в принципе имеет значение и внешнее силовое электромагнитное поле малой космической системы Солнце – Земля, а также – более дальние, особенно, Солнце – Юпитер [6].

Для технологии более важным, чем определение свойства какого-либо объекта (например, энергии, размера), является исследование корреляции, связи, зависимости между рядами случайных величин (например, ряд параллельных измерений температуры и ряд параллельных измерений скорости процесса). Для того чтобы обсуждать этот вопрос необходимо, прежде всего, знать, как характеризуют ряды случайных значений одной и той же величины, например, каков ряд измерений массы одного яблока в урожае текущего года. Такие ряды называют вариационными, а сами величины, его составляющие – вариантами. Интересно сравнить ряды распределения массы для яблок разного сорта – они будут различаться по разным показателям – среднее значение, наибольшее значение, наивероятнейшее и т.д. Интересно сравнить ряд таких значений с рядом, который показывает среднесуточную температуру вегетационного периода по годам и с рядом активности солнечной радиации.

Если такая корреляция, зависимость имеет место, то имеет смысл и оценить такую зависимость количественно. Это необходимо чтобы знать, как сильно измениться скорость процесса, например, при изменении температуры на заданную величину. В монографии описаны как способы оценки самой корреляции, так и способы определения вида зависимости вместе с конкретными её характеристиками (зависимость линейная, квадратичная, логарифмическая и пр.). Такие данные необходимы для создания датчиков и регулирующих устройств в работе промышленных, а также автоматизированных лабораторных аппаратов. Чтобы оценить сам факт существования корреляции между рядами зафиксированной температуры и скоростью

процесса подсчитывают количество совпадений одинаковых сочетаний значений. Например, сколько раз встречалось сочетание температуры 20°C и скорости роста микроба 1 ч<sup>-1</sup> и т.д. Если какие-то совпадения достаточно часты, следовательно, корреляция существует. Вид экспериментальной зависимости определяют методами сравнения с эталоном (графики даны в Приложении к указанной монографии) либо сведением зависимости к линейному виду, для которого методика определения коэффициентов всем известна и понятна со школьной скамьи. Напомним: фиксируют нулевую отметку – чему равно значение параметра при отсутствии изменений фактора, а затем – на какое значение изменяется параметр при изменении фактора на каждую единицу измерения.

Жизнь зародилась и существует в силовом электромагнитном поле звезды по имени Солнце. Поэтому все жизненные процессы протекают в волновом ритме, подчиняются законам электромагнитных колебаний цветовой частоты [6]. Слово хромосома происходит от слова цвет. Волновые процессы описываются соответствующим типом уравнений. Из всех видов возможных экспериментальных зависимостей – моделей для биологии и микробиологии имеют значение так называемые трансцендентные функции (учитывающие переходы через состояния равновесия). В этих случаях невозможно определить обычными аналитическими методами параметры процесса. Их определяют так называемыми численными методами, которые были разработаны великим Ньютоном и которые, по существу, представляют собой варианты интерполяционных вычислений по таблицам экспериментальных данных. В монографии приведены примеры таких вычислений на примере ба-

зовых электрохимических уравнений Тафеля для поляризационной кривой.

Монография содержит примеры решения задач по применению математических методов для различных целей прикладных исследований – оценки точности измеряемых параметров лабораторного эксперимента и определяемых физико-химических констант, планирования и обработки результатов многофакторного эксперимента, определения вида и характеристик экспериментальных зависимостей методом однофакторного эксперимента и т.д. Монография снабжена как предметным указателем, так и толковым терминологическим словарём, которые помогают достаточно быстро освоить круг понятий математических методов в применении к экспериментальным электрохимическим и биотехнологическим объектам, а также подготовиться к более подробному изучению методик по научной математической литературе.

Автор надеется, что его работа поможет многим начинающим химикам и биохимикам-технологам освоиться со спецификой применения описанных методик. Это придаст уверенности, что они смогут справиться с проблемами освоения сложных биохимических производств в пищевой, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности и с честью выдержать все испытания, которые выпадают инженеру-химику-технологу и даже исследователю или организатору. Для этого необходимо проработать приведённые задания для самостоятельной работы, потренироваться в графическом оформлении, обработке экспериментальных данных. Приведённые примеры тестовых заданий на первых этапах изучения можно сочетать с использованием словаря математических терминов, они даны в соответствующем для выполнения заданий объёме.

1. Чечина, О.Н. Биотехнологии в Самарском регионе: монография в 2-х ч. Ч. I. Концепция биотехнологий. Этапы обучения. Ч. II. Практические биотехнологии и методики. Самара, Изд-во Сам ГТУ, 2014. 90 с.
2. Чечина, О.Н. Общая биотехнология: учеб. пособ. Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 232 с.
3. Чечина, О.Н., Кривова, Л.П. Общая биология и микробиология: лабор. практ. Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 107 с.
4. Чечина, О.Н., Надиров, К.С., Сейдалиева, Г.Т. Математические методы в электрохимии и биотехнологии: учебное пособие. Алматы, РИК, 2001, 100 с.
5. Чечина О.Н. Научно-методические основы применения математических методов в биотехнологии: монография. Самара, Изд-во Сам ГТУ, 2018. 160 с.
6. Чечина О.Н. Цветовые архетипы интеллекта евразийцев: монография. Самара, Изд-во СНЦ РАН, 2012. 367 с.

**MATHEMATICAL MODELS IN BIOTECHNOLOGY.  
SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASES OF APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS  
IN HIGHER EDUCATION INSTITUTION**

© 2018 O.N. Chechina

*Olga N. Chechina, doctor of chemistry sciences, professor of the Chair of Food Production Technology and  
Perfumery-Cosmetic Products. E-mail: [chechinao@yandex.ru](mailto:chechinao@yandex.ru)*

Samara State Technical University. Samara, Russia

The chemical and biochemical technology represents art of useful use of chemical and biological energy with application of mathematical methods in a research – planning and processing of an experiment and also use of experimental results. The structure of the monograph is described and the maintenance of its parts – a relevant mathematical apparatus, Applications and tables, methodical developments is opened. In Biotechnology planning of an experiment and mathematical statistics by which methods it is possible to reveal an optimum combination of factors and to distinguish sets have the greatest value. From all mathematical models for biotechnology the value of transcendental wave functions is emphasized. For development of a subject the subject index, the terminological dictionary, testing are recommended.

*Keywords:* chemical and biotechnology, mathematical statistics, planning of an experiment, Gauss-Laplace's law, variation ranks, correlation, Newton's method, transcendental equations, accuracy, options, numerical methods, polynom, chromosome, biological energy.

1. Chechina, O.N. Biotekhnologii v samarskom regione: monografiya v 2-kh ch. Ch.I. Kontsepsiya biotekhnologii. Etapy obucheniya. Ch.II. Prakticheskie biotekhnologii i metodiki (Biotechnologies in the Samara region: the monograph in the 2nd the p. Ch. I. Concept of biotechnologies. Grade levels. H II. Practical biotechnologies and techniques). Samara, Izd-vo Sam GTU, 2014. 90 s.
2. Chechina, O.N. Obshchaya biotekhnologiya (General biotechnology): ucheb. posob. Samara, Samar. gos. tekhn. un-t, 2010. 232 s.
3. Chechina, O.N., Krivova, L.P. Obshchaya biologiya i mikrobiologiya (General biology and microbiology): labor. prakt. Samara, Samar. gos. tekhn. un-t, 2010. 107 s.
4. Chechina, O.N., Nadirov, K.S., Seidalieva, G.T. Matematicheskie metody v elektrokhemii i biotekhnologii (Mathematical methods in electrochemistry and biotechnology): uchebnoe posobie. Almaty, RIK, 2001, 100 s.
5. Chechina O.N. Nauchno-metodicheskie osnovy primeneniya matematicheskikh metodov v biotekhnologii (Scientific and methodical bases of application of mathematical methods in biotechnology): mo-nografiya. Samara, Izd-vo Sam GTU, 2018. 160 s.
6. Chechina O.N. Tsvetovye arkhetyipy intellekta evraziitsev (Color archetypes of intelligence of Eurasians): monografiya. Samara, Izd-vo SNTs RAN, 2012. 367 s.