

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ БРАУНА В АНАЛИЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ (КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ)

Т.Б. ЯКОНОВСКАЯ, канд. экон. наук, А.И. ЖИГУЛЬСКАЯ, канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: tby81@yandex.ru

© Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., 2021

В статье описывается опыт использования модели Брауна для анализа результатов эксперимента по исследованию технологического процесса сушки торфа. Приводится алгоритм построения модели Брауна по основным параметрам процесса сушки. Определяется степень адаптивности модели экспоненциального сглаживания в экспериментах и тип исследуемых процессов. Методологической основой анализа экспериментальных данных является системный подход.

Ключевые слова: торф, эксперимент, процесс сушки, системный подход, анализ временного ряда, нестационарный процесс, модель Брауна, модель случайного блуждания.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-91-102

ВВЕДЕНИЕ

Современное торфодобывающее производство представляет собой сложную техническую и динамическую систему, функционирующую в нестабильных и изменчивых горно-геологических, природно-климатических и экономических условиях [1, 2]. Как известно, особенность процесса добычи торфа состоит в сильной зависимости его от погодных условий сезона, который в разных регионах РФ длится 3–5 месяцев. В структуру технологического цикла большинства «традиционных» технологий добычи торфа и производства торфопродукции в полевых условиях входит операционный процесс сушки фрезерного торфа либо на поле добычи в тонком и толстом расстиле, либо на откосах валков.

Длительность операции сушки торфа различна, так как на скорость процесса высыхания влияют температура воздуха, скорость ветра, вероятность выпадения осадков и другие факторы. В случае плохих погодных условий сезона (температура ниже средней, частые дожди, туман и сильный ветер) продолжительность технологического цикла добычи торфа возрастает. Это, в свою очередь, приводит к нарушению цикличности производства, сокращению количества циклов добычи торфа, к снижению цикловых и сезонных объемов добычи товарного торфа, ухудшению качества готовой торфопродукции [3], замедлению скорости оборачиваемости оборотных средств торфяного предприятия, а также к возникновению сбоев поставок по договорам и увеличению риска потери экономической безопасности предприятия по добыче и переработке торфа. Следует отметить, что погодные условия последних четырех сезонов добычи торфа (2017–2020 гг.) характеризовались как неблагоприятные.

Ввиду этого технологическая операция полевой сушки торфа, как «слабое звено» в технологиях добычи торфа и производства торфопродукции в полевых условиях, требует пристального внимания. Поэтому для управления и прогнозирования

процесса сушки торфа в полевых условиях, а также в связи с наметившейся мировой тенденцией к внедрению на добывающих предприятиях идеологии «Mining 4.0» актуальной задачей является использование цифровых и информационных технологий [4–7].

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА СУШКИ ТОРФА

Эксперимент – это важнейшая часть любого научного исследования, своеобразный способ изучения объекта, помещенного в искусственно имитируемую и управляемую среду. Как правило, эксперимент позволяет проверить научную гипотезу, определить причинно-следственные связи, влияющие на объект исследования. Результатом любого эксперимента является получение обширного массива данных, которые необходимо правильно интерпретировать, структурировать и анализировать. Поэтому для обработки информации часто используют принцип системного подхода, под которым понимается метод научного познания последовательности действий для определения структурных связей между исследуемым объектом (системой) и воздействующими на него переменными факторами.

Особенности использования системного подхода в обработке и анализе экспериментальных данных сводятся к следующему:

- объект исследуется как единичная система;
- объект исследования представляет собой элемент (часть) целостной системы;
- один и тот же объект может иметь разные особенности и функции в зависимости от способа его изучения;
- элементы системы (переменные факторы) ранжируются по значимости их влияния на состояние объекта исследования.

С точки зрения системного подхода в эксперименте по сушке фрезерного торфа в слоях различной толщины объектом исследования является процесс испарения влаги из расстила фрезерной торфяной крошки (рис. 1). Главную характеристику этого процесса – скорость удаления влаги из фрезерного торфа – в формализованном виде можно записать как функцию:

$$v_c = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где v_c – скорость (интенсивность) сушки торфа, кг/ч; x_1, x_2, \dots, x_n – факторы, влияющие на интенсивность процесса испарения влаги из расстила фрезерного торфа.

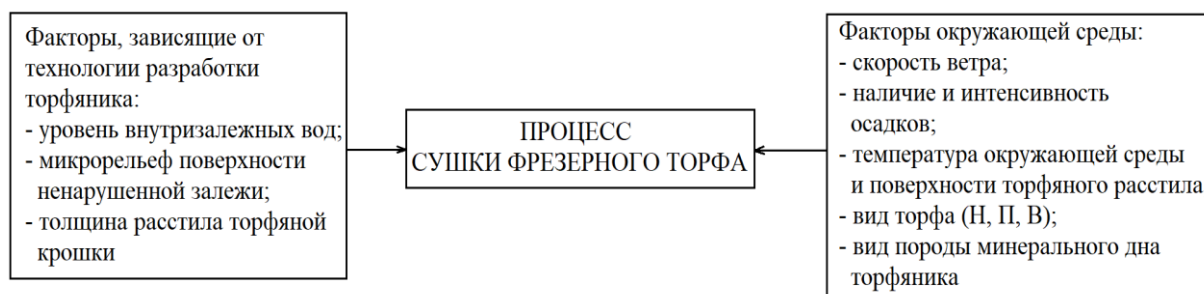


Рис. 1. Системные факторы, влияющие на скорость процесса полевой сушки фрезерного торфа

Согласно принципам системного подхода объектом экспериментального исследования является важный технологический процесс естественного обезвоживания фрезерного торфа (процесс сушки торфа). В естественных (полевых) условиях на сушку торфа воздействуют две группы переменных факторов: независимые от производственного процесса и зависящие от него. К первой группе относятся температура окружающей среды, атмосферное давление, интенсивность солнечного излучения, скорость ветра, вероятность выпадения осадков, природные свойства торфа и подстилающего минерального грунта. Во вторую группу факторов входят технологические параметры торфяного расстила, уровень грунтовых вод, степень переработки торфяной массы.

Как показывает схема, представленная на рис. 1, процесс сушки торфа – это сложная многофакторная и нестационарная система, состоянием которой можно частично управлять в границах регулируемых производственных факторов. Однако для анализа процесса сушки фрезерного торфа необходимо спланировать и провести эксперимент для получения массива информационных данных и их последующей интерпретации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СУШКЕ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА. ТЕОРИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА

Сушка торфа представляет собой процесс удаления влаги посредством ее испарения при добыче торфа и производстве торфяной продукции, который характеризуется величиной испаряемости, т.е. количеством влаги, удаленной с единицы площади за сутки. Полевая сушка торфа сопровождается процессами переноса тепла и влаги между сушимым торфом и воздухом, внутри торфа, между торфом и подстилающим грунтом. Фундаментальным механизмом переноса влаги является ее молекулярная диффузия [8].

Исследованием процесса полевой сушки фрезерного и кускового торфа занимались многие ученые и специалисты, такие как Л.М. Малков, В.Я. Антонов, А.Е. Афанасьев, Н.И. Гамаюнов, Г.Е. Столбикова, А.Н. Васильев, А.Н. Болтушкин и ряд других. Эксперименты такого типа являются классическими и обязательными в процессе обучения студентов специальности «Открытые горные работы».

Для оценки возможности разработки оптимальной технологии производства торфяной продукции на основе процесса сушки фрезерной крошки в тонких слоях в 2004 г. был спланирован и проведен в лабораторных условиях (в камере искусственного климата ТвГТУ) комплексный полнофакторный эксперимент, подробное описание и анализ которого приведены в работе [9].

Объектом экспериментального исследования был верховой торф со степенью разложения $R = 30$ %. Значения параметра влагосодержания (W_n) фрезерного торфа измерялись через каждый час. Для соответствия статистики экспериментальных данных заданной точности опыты длительностью от 5 до 30 ч проводились 25 раз. В пяти рамках имитировался расстил фрезерного торфа различной толщины (1, 2, 3, 4 и 5 см) и в каждом слое толщиной 2 мм определялась влажность, значения которой позволяли построить динамику движения влаги в толще расстила и тем самым определить зону испарения.

Камера искусственного климата имитировала полевые условия сушки торфа путем регулирования скорости работы вентилятора, температуры нагрева камеры, уровня стояния воды в емкости с фрагментом торфяной залежи объемом 1 куб. м.

В результате комплексного исследования были получены кривые сушки фрезерного торфа с различной удельной загрузкой по сухому веществу (P_c) (рис. 2), кривые сушки в слоях торфяного расстила (послойной интенсивности испарения) (рис. 3), графические зависимости цикловых и сезонных сборов, а также зависимость длительности сушки от величины удельной загрузки (P_c) и влагосодержания (W_n). Экспериментальные зависимости кривых сушки при удельной загрузке 0,5 и 2,5 кг/м² показывают, что до условного влагосодержания $W_{yc} = 0,67$ кг/кг тонкий слой (2 мм) высыхает в 10 раз быстрее обычного слоя, таким образом количество коротких циклов за это же время значительно увеличивается [9].

В заводских условиях процесс сушки торфа полностью автоматизирован и поэтому является контролируемым. Его можно описать как стационарный процесс, который можно анализировать с помощью ряда Фурье [10–11]. Тем не менее в полевых условиях, под действием нерегулируемых погодных факторов, процесс сушки торфа является нестационарным и описывается моделью случайного блуждания (random walk), характеризующей траекторию случайной переменной, в которой каждое последующее значение переменной не зависит от предыдущих, однако подчиняется идентичному распределению вероятностей.

Другими словами, изменение случайной величины в какой-либо момент времени не имеет никакого влияния на все последующие изменения и каждое из изменений подчиняется одному и тому же распределению вероятностей с одними и теми же параметрами, такими как средняя величина и среднее квадратическое отклонение. Графики, иллюстрирующие модель случайного блуждания представлены на рис. 2, 3.

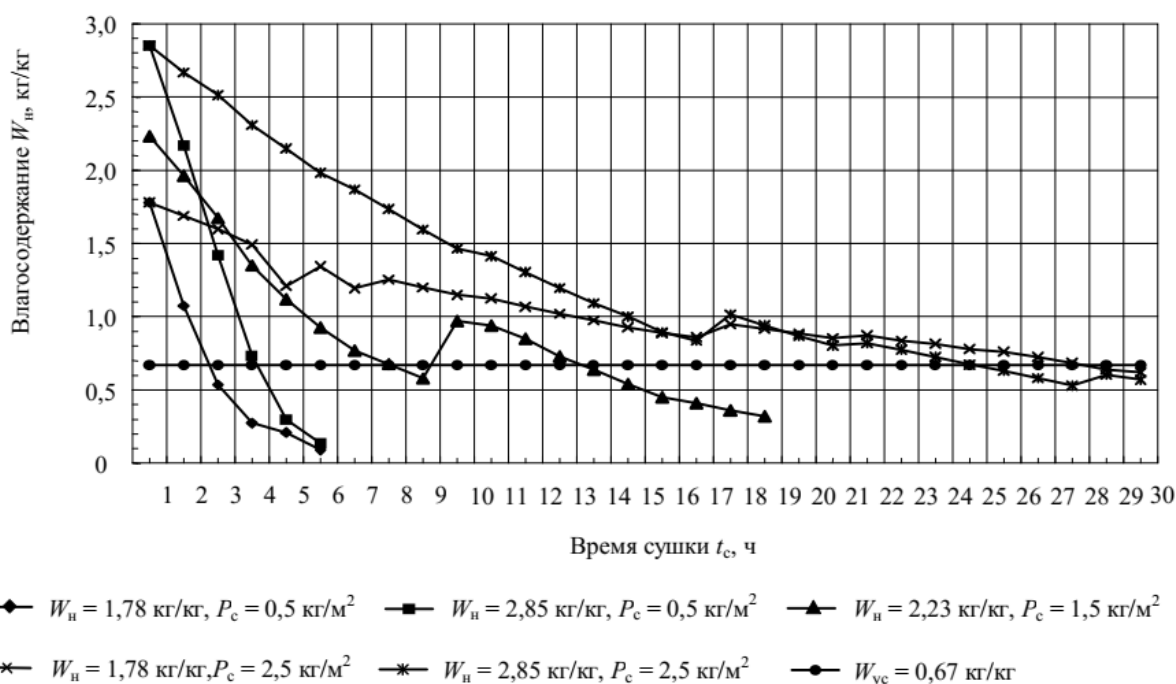


Рис. 2. Экспериментальная иллюстрация процесса сушки фрезерного торфа [9]

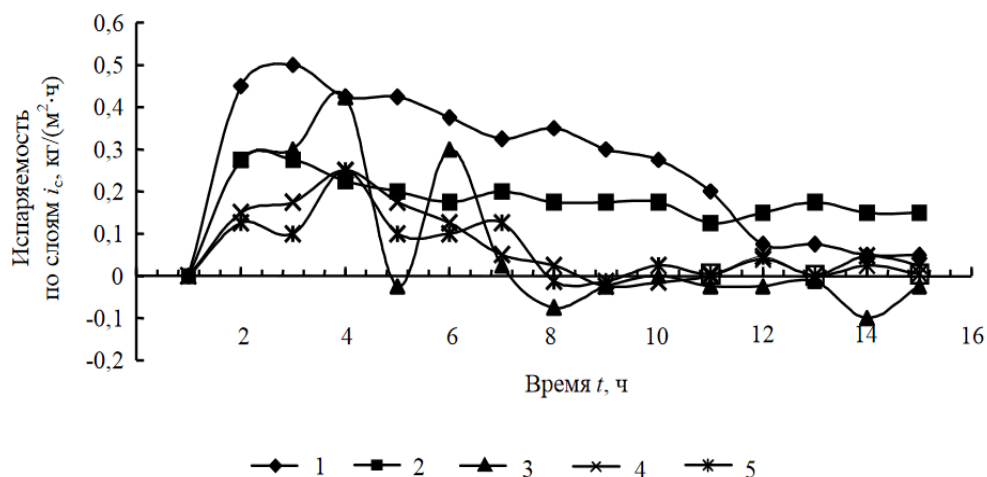


Рис. 3. Динамика интенсивности испарения в толще торфяного расстила 2 см (рамка с параметрами торфяного расстила: $P_c = 2,5$ кг/кг; $W_n = 1,78$ кг/кг) [9]

Модель случайного блуждания описывается уравнением

$$X_t = X_{t-1} + a_t = (X_{t-2} + a_{t-1}) + a_t = (X_{t-3} + a_{t-2}) + a_{t-1} + a_t = \dots \\ \dots = X_0 + (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_t), \quad (2)$$

где X_t – последующее значение переменной; X_{t-1} – предыдущее значение переменной; X_0 – начальное значение переменной (в случае описываемого эксперимента – начальное влагосодержание торфа W_n); a_t – «белый шум», т.е. временной ряд, в котором переменные независимы и одинаково распределены со средним значением нуля.

Отсюда получаем

$$E(X_t|X_0) = x_0, \\ D(X_t|X_0 = x_0) = D(a_1 + \dots + a_t) = D(a_1) + \dots \\ \dots + D(a_t) = tD(a_1) = t\sigma_a^2. \quad (3)$$

Ввиду того, что дисперсия процесса сушки фрезерного торфа (см. рис. 2) изменяется во времени, можно прийти к заключению, что модель случайного блуждания характеризуется как нестационарный процесс. Однако временной ряд (2) можно привести к стационарному виду, если взять первую разность, т.е. $\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = (1 - B) X_t$. При этом уравнение (2) сводится к виду $\Delta X_t = a_t$. Таким образом, модель (2) в первых разностях становится стационарной.

В процессе эксперимента формируется довольно большой массив данных, четко распределенных по времени, которые необходимо объективно анализировать. Для адекватного исследования такого информационного потока можно воспользоваться теорией «временного ряда» и соответствующими адаптивными математическими моделями для его анализа, например, моделью экспоненциального сглаживания (модель Брауна).

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛИ БРАУНА ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА СУШКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Изначально модель Брауна использовалась в экономическом прогнозировании прибыли предприятия, но этот инструмент можно применить и к анализу процесса сушки торфа. Модель Брауна позволяет учесть действие множества факторов,

влияющих на скорость процесса сушки торфа (см. рис. 2), в результате чего можно определить, когда готовая торфопродукция (фрезерный торф) достигнет кондиционного (качественного) состояния, соответствующего ГОСТу. Кроме того, используя полученные в результате моделирования прогнозы в условиях производства, можно выяснить, на каких производственных участках можно начать операцию уборки готового фрезерного торфа [12].

Для проведения анализа какого-либо процесса необходимо иметь динамическую статистику показателей параметра (информационных, экспериментальных данных), характеризующего процесс во времени, т.е. получить временной ряд, под которым понимается последовательно измеренные через равные отрезки времени значения показателя. Суть анализа временных рядов заключается в попытке понять природу экспериментальных данных и сделать прогноз.

Модель Брауна имеет ряд достоинств, основными из которых являются:
 простота в использовании;
 возможность применения для краткосрочного прогнозирования;
 вариативность;
 достаточно высокая точность прогноза.

Эта математическая модель чаще применяется для стационарных процессов, но может использоваться и для нестационарных, в случае приведения их к стационарному виду или с применением параметра сглаживания из заданного множества С.Г. Светулькова [13].

Концепция модели Брауна базируется на постулате о том, что последующее значение параметра можно вычислить с использованием предыдущего спрогнозированного значения, скорректированного на ошибку (величину отклонения факта от прогноза). Таким образом, может быть выделено несколько вариаций модели Брауна:

1. Нулевого порядка, или «наивная» (описывает процессы, не имеющие тенденции развития).
2. Первого порядка (описывает линейную тенденцию развития процесса).
3. Второго порядка (отражает развитие процесса в виде параболической тенденции).

Таким образом, в данном эксперименте временной ряд задан значением параметра влагосодержания (кг/кг) фрезерной торфяной крошки:

$$W_{n'}, \dots, W_t, W_n \in R \quad (4)$$

Нужно решить задачу прогнозирования заданного временного ряда (4) с использованием адаптивной модели Брауна. Математическое описание модели Брауна выглядит следующим образом [14]:

$$W_{t+d}^{\text{прогноз}} = \alpha y_t + (1 - \alpha) W_t^{\text{факт}},$$

$$\alpha \in (0 \div 1) - \text{стационарный процесс};$$

$$\alpha \in (0 \div 2) - \text{нестационарный процесс}, \quad (5)$$

где $W_{t+d}^{\text{прогноз}}$, $W_t^{\text{факт}}$ – соответственно прогнозное и фактическое (экспериментальное) значение параметра (влагосодержание фрезерного торфа, кг/кг); α – ошибка модели Брауна (адаптация).

В случае краткосрочного прогноза необходимо быстро учитывать происходящие факторные изменения. Поэтому для модели Брауна важны новые экспериментальные

данные наблюдения, но для сглаживания случайных отклонений ошибку адаптации необходимо уменьшать. Эти два условия вступают в противоречие друг с другом, ввиду чего отыскание компромиссного решения для ошибки адаптации α (или как его еще принято называть «параметр сглаживания») является главной задачей. Как правило, для стабильных стационарных и мало изменяющихся процессов α выбирают из диапазона (0, ..., 1). В рассматриваемом случае процесс сушки нестабильный, нестационарный и, под воздействием природных факторов, сильно изменчивый, поэтому параметр сглаживания α принимает значение из диапазона запредельного множества С.Г. Светунькова от 1 до 2. В этом выборе адаптационной ошибки α и проявляется особенность практического применения данного типа модели.

РЕЗУЛЬТАТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ БРАУНА В АНАЛИЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ИХ КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Согласно постулатам разработанной профессором А.Е. Афанасьевым теории сушки капиллярно-пористых тел, процесс естественного обезвоживания фрезерного торфа можно назвать нестационарным. Анализ экспериментальных данных с использованием адаптивных математических моделей и теории «временных рядов» позволит спрогнозировать характер процесса сушки торфа, определить оптимальные параметры торфяного расстила, а также обосновать выбор оптимальной технологии сушки и добычи торфа.

В процессе анализа и интерпретации информационных данных, полученных в результате эксперимента [9], использовался офисный пакет прикладного программного обеспечения Windows Office. Расчеты проводились с применением инструментария Excel. Компьютерная реализация модели Брауна предполагает использование электронных таблиц, корреляционно-регрессионного анализа и встроенного «Пакета анализа». Полученные в ходе эксперимента данные по влагосодержанию фрезерного торфа (W_n) заносили в «Журнал ведения экспериментов» и дублировали в электронную таблицу Excel:

Эксперимент № 1		Эксперимент № 2	
Время сушки t_c (ч)	Влагосодержание торфа W (кг/кг)	Время t (ч)	Влагосодержание торфа W (кг/кг)
1	1,78	1	2,85
2	1,09	2	2,65
3	0,53	3	2,51
4	0,28	4	2,31
5	0,21
6	0,11	30	0,6

Для прогнозирования процесса сушки торфа были выбраны два эксперимента:
эксперимент № 1 – технология сушки торфа в тонких слоях (короткие циклы);
 начальные параметры процесса:
 влагосодержание $W_n = 1,78$ кг/кг;
 загрузка поля по сухому веществу торфа $P_c = 0,5$ кг/м²;

эксперимент № 2 – технология сушки торфа в толстых слоях (длинные циклы); начальные параметры процесса:

влажностное содержание $W_n = 2,85$ кг/кг;

загрузка поля по сухому веществу торфа $P_c = 2,5$ кг/м².

Граница влажностного содержания, при достижении которой фрезерный торф становится кондиционным по качеству, предусмотренному ГОСТом, соответствует $W_{yc} = 0,67$ кг/кг. При таком влажностном содержании процесс сушки торфа можно остановить и начать операцию уборки готовой торфяной продукции.

Алгоритм построения модели Брауна для анализа временного ряда, представленного в вышеприведенной таблице, показан на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм компьютерной интерпретации модели Брауна

В результате интерпретации алгоритма построения модели Брауна (см. рис. 4) по данным представленных в таблице временных рядов были получены графики прогноза процесса сушки фрезерного торфа (рис. 5, 6). Интерпретация графического изображения процесса сушки фрезерного торфа показывает, что при равных условиях окружающей среды в эксперименте № 1 торф достигал кондиционного влажностного содержания за 1,5 ч, а в эксперименте № 2 – за 25 ч, т.е. в 16,6 раза дольше. Таким образом, скорость процесса сушки торфа в эксперименте № 1 выше, чем в эксперименте № 2, а значит, технология сушки торфа в тонких слоях имеет большую адаптивность к влияющим на процесс системным факторам (см. рис. 1). С учетом этого оптимальной можно считать технологию пневматической уборки фрезерного торфа в тонком расстиле. Адаптационная ошибка α в модели Брауна для эксперимента № 1 была равна 1,12; для эксперимента № 2 $\alpha = 1,2$.

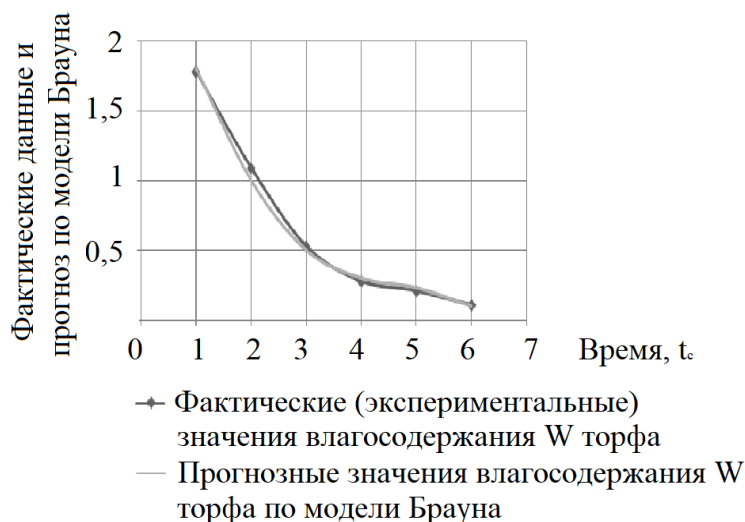


Рис. 5. Модель Брауна для эксперимента № 1

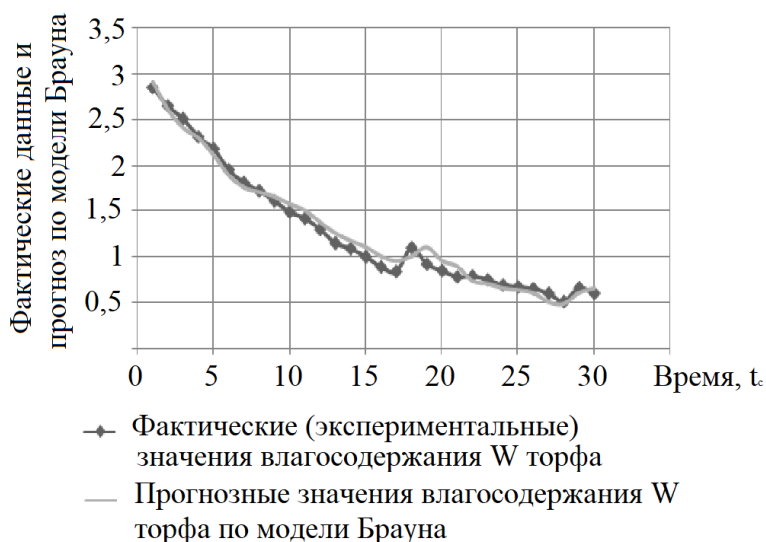


Рис. 6. Модель Брауна для эксперимента № 2

Чтобы оценить уровень достоверности модели Брауна, необходимо определить среднюю относительную ошибку аппроксимации. Если эта ошибка изменяется в диапазоне от 0 до 5 %, то прогноз по модели можно считать отличным. Если ошибка аппроксимации варьируется в пределах от 5 до 10 %, то прогноз хороший. Если среднее значение относительной ошибки попадает в интервал от 10 до 15 %, прогноз удовлетворительный. Если же среднее значение относительной ошибки больше 15 %, то в этом случае прогноз по модели Брауна признается неудовлетворительным. В эксперименте для каждого отдельного значения W относительная ошибка аппроксимации вычисляется по формуле

$$\text{ошибка аппроксимации} = \frac{(W_{\text{факт.}i} - W_{\text{прогноз.}i})}{W_{\text{факт.}i}}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

где $W_{\text{факт.}i}$, $W_{\text{прогноз.}i}$ – соответственно экспериментальное и прогнозное (модельное) значение влагосодержания.

Получается, что средняя относительная ошибка аппроксимации вычисляется как среднее всех относительных ошибок. Для эксперимента № 1 было получено значение 4,5, т.е. прогноз по модели Брауна отличный, а для эксперимента № 2 – 6,75, таким образом, точность модели Брауна является хорошей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов, компьютерной интерпретации и анализа полученной информации с использованием модели Брауна были сделаны следующие выводы:

фрезерный торф быстрее достигает кондиционной влажности в тонком расстиле, при этом оптимально используются промежутки времени без осадков и сильных ветров;

длительность процесса сушки фрезерного торфа определяет тип модели, используемой для анализа временных рядов;

модель Брауна показывает хорошие результаты только для краткосрочных прогнозов, в связи с чем применима для прогнозирования технологических операций в цикле производства продукции;

процесс сушки торфа в полевых условиях является нестационарным, поэтому для использования модели Брауна требуется привести имеющийся временной ряд к стационарному виду с помощью метода первых разностей или скорректировать адаптационную ошибку α в модели;

для нестационарных процессов адаптационная ошибка α выбирается из диапазона значений, характеризуемого запредельным множеством С.Г. Светунькова от 1 до 2;

точность прогноза зависит от размера статистической выборки и количества факторов, влияющих на процесс моделирования.

Практическая ценность компьютерного прогнозирования операции сушки торфа заключается в том, что у предприятия появляется возможность планировать ход технологического процесса добычи торфа на разных участках месторождения, лучше использовать погодные условия сезона добычи и обосновать выбор оптимальной технологии уборки готовой торфяной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Жигульский М.А. Анализ инвестиционно-инновационной активности в торфяной отрасли // *Современное состояние экономических систем: экономика и управление*: сб. науч. тр. межд. науч. конф. Тверь: СКФ-офис, 2018. С. 148–153.

2. Яконовская Т.Б. Проблемы информатизации анализа геологических данных предприятий по добыче торфа // *Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (инфос-2020)*: материалы межд. науч.-техн. конф. Вологда: ВГУ, 2020. С. 89–94.

3. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Проблема оценки качества торфа и продукции на его основе: европейский и российский опыт // *Вестник ТвГТУ. Серия «Науки об обществе»*. 2021. № 3 (26).

4. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Особенности оценки экономической безопасности предприятий торфодобывающей отрасли Тверского региона России (обзор отрасли) // *Горные науки и технологии*. 2021. Т. 6. № 1. С. 5–15.

5. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Проблемы информатизации технологических процессов предприятий по добыче торфа // *Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность*: сб. матер. Всерос. конф. Кемерово: КГУ, 2020. С. 112–113.

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 3 (11), 2021*

6. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Тенденции цифровизации в горно-добывающем секторе экономики РФ // *Вестник ТвГТУ. Серия «Науки об общ-ве»*. 2021. № 1 (24). С. 92–100.

7. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Торфодобывающее предприятие как информационный объект // *Современные технологии и инновации: мат. IV Всерос. науч.-практ. конф.* Тверь: ТвГТУ, 2020. С. 167–170.

8. Афанасьев А.Е. Исследование влияния начальной влажности и длительности сушки на сборы фрезерного торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2014. № 2 (26). С. 41–45.

9. Куликова Т.Б. Оптимизация технологических показателей производства фрезерного торфа // *Записки Горного института*. 2004. Т. 159. № 2. С. 55–58.

10. Наумович В.М. Сушка верхового торфа низкой степени разложения в виброкипящем слое // *Торфяная промышленность*, 1981. № 9. С. 18–20.

11. Лебедев В.В., Пухова О.В. Система автоматизированного управления технологическим процессом сушки торфа в камерах периодического действия // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал)*. 2018. № 4. С. 29–35.

12. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: матер. междунар. науч. конф.* Минск: ГНУ «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», 2017. С. 196–199.

13. Светуных С.Г., Бутуханов А.В., Светуных И.С. Запредельные случаи метода Брауна в экономическом прогнозировании. СПб.: СПбГУЭФ, 2006. 71 с.

14. Кэмпбелл Д. Модели экспериментов в социальной психологии и прикладных исследованиях. М.: Прогресс, 1980. 11 с.

Для цитирования: Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Использование модели Брауна в анализе экспериментальных данных (компьютерная интерпретация) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 3 (11). С. 91–102.

USE OF THE BROWN MODEL IN ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA (COMPUTER INTERPRETATION)

T.B. YAKONOVSKAYA, Cand. Sc., A.I. ZHIGULSKAYA, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: tby81@yandex.ru

The article describes the experience of using Brown's model to analyze the results of an experiment to study the technological process of drying peat. An algorithm for constructing a Brown model based on the main parameters of the drying process is presented. The degree of adaptability of the exponential smoothing model in experiments and the type of the investigated processes are determined. The methodological basis for the analysis of experimental data is a systematic approach.

Keywords: peat, experiment, drying process, system approach, time series analysis, non-stationary process, Brown's model, random walk model.

REFERENCES

1. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I., Zhigul'sky M.A. Analysis of investment and innovation activity in the peat industry. *Current state of economic systems: economics and management: sb. nauch. tr. mezhd. nauch. konf.* Tver: SKF-ofis, 2018, pp. 148–153. (In Russian).
2. Yakonovskaya T.B. Problems of informatization of the analysis of geological data of enterprises for peat extraction. *Intelligent information technologies and intelligent business (info-2020): materials of the int. scientific and technical conf.* Vologda: VGU, 2020, pp. 89–94. (In Russian).
3. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. The problem of assessing the quality of peat and products based on it: European and Russian experience. *Vestnik TvGTU. Series "Society sciences"*. 2021. No 3 (26), pp. (In Russian).
4. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. Features of the assessment of the economic security of enterprises in the peat-extracting industry of the Tver region of Russia (an overview of the industry). *Gornye nauki i tekhnologii*. 2021.V. 6. No 1, pp. 5–15. (In Russian).
5. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. Problems of informatization of technological processes of enterprises for the extraction of peat. *Actual directions of scientific research: technology, quality and safety: sb. mater. Vseros. konf.* Kemerovo: KGU, 2020, pp. 112–113. (In Russian).
6. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. Trends in digitalization in the mining sector of the Russian economy. *Vestnik TvSTU. Series "Society sciences"*. 2021. No 1 (24), pp. 92–100 (In Russian).
7. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. Peat mining enterprise as an information object. *Modern technologies and innovations: mat. IV Vseros. nauch.-prakt. konf.* Tver: TvGTU, 2020, pp. 167–170. (In Russian).
8. Afanasyev A.E. Investigation of the influence of the initial moisture content and the duration of drying on the collection of milled peat. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014. No 2 (26), pp. 41–45. (In Russian).
9. Kulikova T.B. Optimization of technological indicators of milled peat production. *Zapiski Gornogo instituta*. 2004. V. 159. No 2, pp. 55–58. (In Russian).
10. Naumovich V.M. Drying of high-moor peat with a low degree of decomposition in a vibro-boiling layer. *Torfyaniya promyshlennost*, 1981. No 9, pp. 18–20. (In Russian).
11. Lebedev V.V., Pukhova O.V. Automated control system for peat drying technological process in batch chambers. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2018. No 4, pp. 29–35. (In Russian).
12. Mikhailov A.V., Zhigul'skaya A.I., Yakonovskaya T.B. Assessment of the stages of the life cycle of the development of a peat deposit. *Geology and mineral resources of the West of the East European platform: problems of study and rational use: mater. mezhd. nauch. konf.* Minsk: GNU "Institut prirodopolzovaniya Natsionalnoy akademii nauk Belarusi", 2017, pp. 196–199. (In Russian).
13. Svetunkov S.G., Butukhanov A.V., Svetunkov I.S. Zapredelnye sluchai metoda Brauna v ekonomicheskom prognozirovaniy [Out-of-the-box cases of Brown's method in economic forecasting]. St. Petersburg: SPbGUEF, 2006. 71 p.
14. Campbell D. Modeli eksperimentov v sotsialnoy psikhologii i prikladnykh issledovaniyakh [Models of experiments in social psychology and applied research]. Moscow: Progress, 1980. 11 p.

Поступила в редакцию/received: 08.06.2021; после рецензирования/revised: 11.06.2021;
принята/accepted: 15.06.2021