

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.94

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-152-160

Оригинальная статья /Original Paper

Виртуальный испытательный стенд для компьютерного проектирования барабанных сушилок по кинетическим закономерностям процесса сушки

В.В. Ткач, А.А. Шевцов

Военный учебно–научный центр Военно–воздушных сил «Военно–воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является создание виртуального испытательного стенда, состоящего из оптимальных конструктивных параметров, обеспечивающих максимальное приближение реального процесса сушки к экспериментальным данным. **Метод.** Применены методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами. **Результат.** Разработан виртуальный испытательный стенд, позволяющий в режиме реального времени определять конструктивные параметры сушилок барабанного типа в зависимости от кинетических закономерностей процесса сушки различных зерновых культур. В качестве объекта исследования использована конструкция двухсекционной барабанной сушилки, каждая секция которой снабжена профильной канальной насадкой, обеспечивающей поперечную подачу сушильного агента через пересыпающийся подвижный слой высушиваемого дисперсного продукта. Приведен алгоритм расчета процесса сушки, позволяющий определять поля температур и влагосодержаний зерна в широком диапазоне режимных параметров. С применением САПР выполнена компьютерная модель данной установки с возможностью автономного вращения и перемещения барабанов относительно друг друга. Составлена схема синхронизированной работы подвижных элементов установки в условиях оперативной перенастройки ее конструкции в соответствии с изменениями кинетических кривых. **Вывод.** Виртуальный испытательный стенд достаточно адекватно и с высокой точностью позволяет моделировать процесс сушки материалов в барабанной сушилке; позволяет апробировать работу барабанной сушилки на стадии разработки, провести эксперименты с максимально высокой точностью, подобрать оптимальные режимы сушки для различных материалов при минимальных энергозатратах.

Ключевые слова: испытательный стенд, компьютерное моделирование, барабанная сушилка, теплоноситель, сушка

Для цитирования: В.В. Ткач, А.А. Шевцов. Виртуальный испытательный стенд для компьютерного проектирования барабанных сушилок по кинетическим закономерностям процесса сушки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(1):152-160. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-152-160

Virtual test bench for computer-aided design of drum dryers based on kinetic laws of the drying process

V.V. Tkach, A.A. Shevtsov

Military Training and Research Center Air force «The Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin»,
54a, Stary Bolsheviks Str., Voronezh 394064, Russia

Abstract. The aim of the study is to create a virtual test bench, consisting of optimal design parameters that provide the maximum approximation of the real drying process to the experimental data. **Method.** Methods of modeling, formalized description, optimal design and management of technological processes and productions are applied. **Result.** A virtual test bench has

been developed that allows real-time determination of the design parameters of drum-type dryers depending on the kinetic patterns of the drying process of various grain crops. As an object of study, the design of a two-section drum dryer was used, each section of which is equipped with a profile channel nozzle that provides a transverse supply of the drying agent through the pouring movable layer of the dispersed product to be dried. An algorithm for calculating the drying process is presented, which makes it possible to determine the fields of temperature and moisture content of grain in a wide range of regime parameters. With the use of CAD, a computer model of this installation was made with the possibility of autonomous rotation and movement of the drums relative to each other. A diagram of the synchronized operation of the moving elements of the installation under conditions of operational reconfiguration of its design in accordance with changes in the kinetic curves has been drawn up. **Conclusion.** The presented virtual test stand adequately and with high accuracy allows simulating the process of drying materials in a drum dryer; allows you to test the operation of a drum dryer at the development stage, conduct experiments with the highest possible accuracy, select the optimal drying modes for various materials with minimal energy consumption.

Keywords: test bench, computer simulation, drum dryer, heat carrier, drying

For citation: V.V. Tkach, A.A. Shevtsov. Virtual test bench for computer-aided design of drum dryers based on kinetic laws of the drying process. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(1):152-160. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-152-160

Введение. Наличие в современном мире большого количества систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет не только разрабатывать различные механизмы и устройства, но и производить отладку работы на стадии моделирования, заменить натурные испытания виртуальными, заранее выявить все недостатки будущего оборудования, спрогнозировать поведение его узлов и агрегатов при различных нагрузках и режимах работы. Все это позволит повысить качество и технико – экономический уровень результатов проектирования, подобрать оптимальные режимы работы с получением продукта высокого качества [1 – 5].

Постановка задачи. Необходимость создания виртуального испытательного стенда заключалась в поиске оптимальных конструктивных параметров, обеспечивающих максимальное приближение реального процесса сушки к экспериментальным данным, полученным на основе изучения его кинетических закономерностей, которые в данном случае представлены кривой сушки, полученной при рациональном режиме.

Данная задача рассматривается относительно техники и технологии сушки зерновых культур [6 – 10]. При этом актуальность вопроса связана как с сохранением урожая, так и со снижением энергетических затрат на единицу массы высушенного зерна.

Методы исследования. Объектом проектирования являлась зерносушилка с двумя вращающимися, независимыми барабанами (рис.1). Основное достоинство сушилки в том, что во вращающихся барабанах установлена профильная канальная насадка. Достоинство которой заключается в рациональном использовании потенциала сушильного агента, так как он подается только в те щели насадки, над которыми находится слой сыпучего материала.

Сушилка содержит загрузочное устройство 1, первый барабан 2, канальную насадку 3, второй барабан 4, канальную насадку 5, патрубок подвода теплоносителя 6, опорные ролики 7, привод 8, неподвижные фланцы 9 – 10, патрубок подвода теплоносителя 11, гофрированный рукав 12, опорную плиту 13, опорные ролики 14, привод 15, механизм горизонтального перемещения 16, привод 17, опору с роликами 18, разгрузочная камеру 19, патрубок отвода отработанного теплоносителя 20, диафрагму 21 – 22. Сушилка работает следующим образом. Через загрузочное устройство 1 материал подается в первый барабан 2, приводимый по вращению приводом 8, и продувается теплоносителем через канальную насадку 3, поступающим по патрубку подвода теплоносителя 6. Высушиваясь, и заполнив

первый барабан 2 через диафрагму 21 материал поступает, во второй барабан 4, приводимый во вращение приводом 15, где обдувается теплоносителем через канальную насадку 5, подводимым через патрубок подвода теплоносителя 11 с гофрированным рукавом 12. Через диафрагму 22 высушенный материал направляется в разгрузочную камеру 19, откуда уже отводится на хранение.

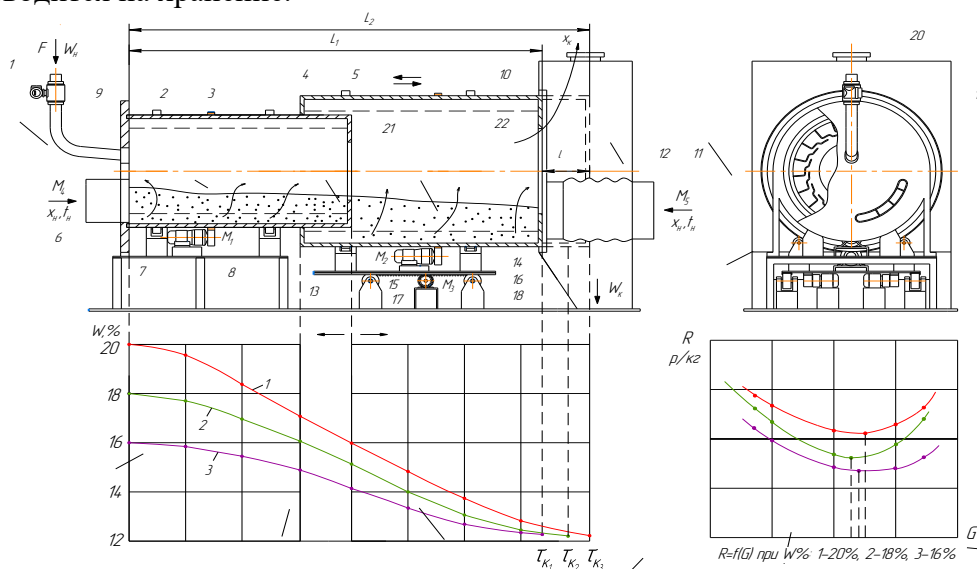


Рис. 1. Барабанная сушилка с двумя независимыми барабанами
Fig. 1. Drum dryer with two independent drum

Обеспечение горизонтального перемещения второго барабана 4 осуществляется за счет привода 17 посредством механизма горизонтального перемещения 16, установленного на опорной плите 13.

Выбор оптимальных параметров процесса сушки основан на кинетических закономерностях, отражающих изменение средней влажности материала за определенный промежуток времени с учетом форм и энергии связи влаги с материалом, его насыпной плотностью, параметрами теплоносителя, конструктивными особенностями сушильной установки [11]. Горизонтальное перемещение второго барабана дает возможность изменять объем сушилки, увеличить время пребывания материала под воздействием теплоносителя, регулировать конечную влажность материала и тем самым интенсифицировать процесс тепло – и массообмена.

Кривая сушки 1 соответствует расстоянию L_1 равному сумме длин первого и второго барабанов при нулевом перемещении второго. Кривая 2 расстоянию L_2 где отражается перемещение второго барабана, где l – максимально возможный ход. Изменение режимов процесса обезвоживания материала влечет за собой как снижение, так и увеличение суммарных энергозатрат на один килограмм испаренной влаги. Правильный подбор режимов, при которых они будут минимальными, является первоочередной задачей (рис.1).

Обсуждение результатов. Для создания виртуального испытательного стенда выполнены экспериментальные исследования, которые позволяют найти однозначную функциональную связь между геометрическими параметрами сушилки и технологическими режимами процесса сушки.

Установлено, что в процессе сушки при различных значениях скорости и температуры сушильного агента, степени заполнения барабана для вертикальных сечений, расположенных по длине сушилки на разных расстояниях от загрузочного устройства, экспериментальные кривые сушки носят экспоненциальный характер и к концу асимптотически приближаются к установившемуся значению равновесной влажности W_p . Поэтому в качестве аппроксимирующей функции было использовано уравнение А.В. Лыкова для второго периода сушки [12]:

$$\frac{W - W_p}{W_H - W_p} = \exp(-k\tau) \quad (1)$$

Эмпирическая модель кинетики сушки зерна пшеницы:

$$\frac{W-W_p}{W_n-W_p} = \exp(-KT^m v^n \xi^p \tau), \quad (2)$$

где K – коэффициент сушки, m , n и p – параметры модели, τ – время.

Агрегация переменных при коэффициенте сушки K позволила определить связь текущей влажности зерна с режимом сушки.

Методом средних для зерна пшеницы определены параметры K , m , n и p , которые оказались равными: $K = -8,14 \cdot 10^{-15}$, $m = 4$, $n = 3$, $p = -3$, причем каждый из них определяет степень влияния T , v , и ξ на величину W , а формула (2) принимает вид:

$$\frac{W-W_p}{W_n-W_p} = \exp(-k\tau) - 8,14 \cdot 10^{-15} (T - 273)^5 v^2 \xi^2 \tau \quad (3)$$

Адекватность модели (3) реальному процессу проверена по χ^2 – критерию.

С учетом требований разработки технологических режимов сушки зерна пшеницы во вращающемся барабане с профильной канальной насадкой были проанализированы соотношения между температурой зерна и его влажностью. Следует заметить, что значения температуры нагрева зерна являются в известной мере условными, так как в опытах фактически измерялась не температура отдельных зерен, а температура зерновой массы или слоя.

При обработке температурных кривых зависимость, однозначно связывающая допустимую температуру нагрева зерна с его влажностью, была представлена уравнением прямой:

$$T_n = T_0 - qW, \quad (4)$$

где $T_0 = 365$ и $q = 2,88$ – эмпирические коэффициенты.

Формула (4) справедлива в интервале значений $W \in (10, 30)$.

Для расчета средних температур нагрева зерна пшеницы использовалось уравнение теплового баланса:

$$\frac{d(p_n(W, \tau) c_n(W, \tau) T_n(W, \tau))}{d\tau} = \alpha_v \left(T - T_n \cdot (W, \tau) + \frac{rd(W(\tau)/100 \cdot p_n(W, \tau))}{d\tau} \right), \quad (5)$$

где $p_n(W, \tau)$ – насыпная плотность зерна, кг/м^3 , α_v – объемный коэффициент теплообмена, $\text{кДж/с} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{К}$, r – удельная теплота испарения, кДж/кг , $c_n(W, \tau)$ – теплоемкость зерна, $\text{кДж/кг} \cdot \text{К}$.

При интегрировании уравнения (5) задавался постоянный шаг дискретизации процесса по времени Δt и весь процесс сушки разбивался на $i = (1, N)$ интервалов:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \frac{d(p_n(W, \tau) c_n(W, \tau) T_n(W, \tau))}{d\tau} d\tau - \frac{\alpha_v}{\tau_i - \tau_{i-1}} - \\ & - \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} T d\tau - \frac{\alpha_v}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} T_n(W, \tau) d\tau + \frac{r}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \frac{W(\tau)}{100} \cdot p_n(W, \tau) d\tau. \quad (6) \end{aligned}$$

Считая, что температура зерна на бесконечно малом интервале времени не изменяется, т.е.

$$T_{n_{i-1}} = \frac{1}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} T_n(W, \tau) d\tau, \quad (7)$$

и прогнозируя температуру нагрева зерна на каждом последующем интервале времени с помощью ограничения (4), уравнение (6) после интегрирования и необходимых преобразований приведено к виду:

$$\begin{aligned} T_{n_i} = & \left[\frac{p_n(W, \tau_{i-1}) c_n(W, \tau_{i-1})}{p_n(W, \tau_i) c_n(W, \tau_i)} - \frac{\alpha_v (\tau_i - \tau_{i-1})}{p_n(W, \tau_i) c_n(W, \tau_i)} \right] \cdot \left(365 - 2,88 \frac{W(\tau_{i-1})}{100} \right) \\ & + \frac{\alpha_v T}{p_n(W, \tau_i) c_n(W, \tau_i)} + \frac{r}{p_n(W, \tau_i) c_n(W, \tau_i)} \left[\frac{W(\tau_i)}{100} p_n(W, \tau_i) - \frac{W(\tau_{i-1})}{100} p_n(W, \tau_{i-1}) \right], \quad (8) \end{aligned}$$

где теплоемкость и насыпная плотность зерна пшеницы определялись соответственно по формулам:

$$c_n(W) = \frac{0,42+0,064W-1548,8}{0,37}, \quad (9)$$

$$p_n(W) = 1388 - 3,2 \frac{W/100}{1-W/100}. \quad (10)$$

Для решения (8) с учетом (3), (9), (10) заданы начальные условия:

$$W(0) = W_n, T_n(0) = T_n^n. \quad (11)$$

Задача идентификации математической модели (3-11) реальному процессу, заключается в том, что расчетные значения температуры нагрева зерна соответствуют фактическим:

$$|T_n^{\text{расч}}(\tau) - T_n^{\text{экс}}(\tau)| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

где ε – некоторое положительное число, определяющее точность вычислений.

Достижение оценки (12) обеспечивалось последовательных приближений, по результатам которого среднее значение коэффициента теплообмена в процессе сушки зерна пшеницы оказалось равным 121 кДж/с·м³·К.

Для решения модели составлена компьютерная программа, которая в зависимости от начальной влажности и вида зернового продукта дает возможность проводить систематические расчеты полей температур и влагосодержания высушиваемого продукта с учетом кинетических закономерностей. Эта информация легла в основу создания виртуального испытательного стенда. Данная идеология заключалась в перенастройке габаритных размеров барабанной сушилки и изменения параметров сушильного процесса в каждом барабане. При этом выходные данные, полученные при решении процесса сушки в первом барабане являются входной информацией для решения процесса сушки во втором барабане.

При создании стенда были решены следующие задачи: выполнена компьютерная модель барабанной сушилки [13 – 16]; выполнен блок управления ее двигателями, отвечающими за вращение и перемещение барабанов, подачу теплоносителя (рис.2); представлен блок расчета параметров установки и процесса сушки; разработан пульт управления оператора с возможностью изменения, контроля входных и выходных параметров; дисплей для вывода кривых сушки в режиме реального времени.

В компьютерной модели предусмотрены: вращение первого барабана (M1), вращение второго барабана (M2), горизонтальное перемещение второго барабана (M3), подача теплоносителя в первый барабан от тепловентилятора (M4), подача теплоносителя во второй барабан от тепловентилятора (M5), регулировка степени заполнения барабанов через загрузочное устройство (F).

Для синхронизации работы модели, пульта управления и получения необходимых выходных данных применена известная и широко используемая графическая среда разработки приложений для контрольно – измерительных и вычислительных комплексов LabVIEW. Среда позволяет моделировать как отдельные объекты, так и автоматизированные системы [17 – 20].

Программы, разработанные в данной среде, называются виртуальными инструментами. Виртуальный инструмент состоит из блок – диаграммы и лицевой панели.

Передача управления от индикаторов лицевой панели к подвижным компонентам компьютерной модели осуществляется посредством блок – диаграммы, работающей в замкнутом цикле (рис.2).

В данном цикле происходит постоянный «опрос» оборудования. Вращение и движение обеспечивается блоками SoftMotion – Line. Каждый соответствует своему компоненту в модели.

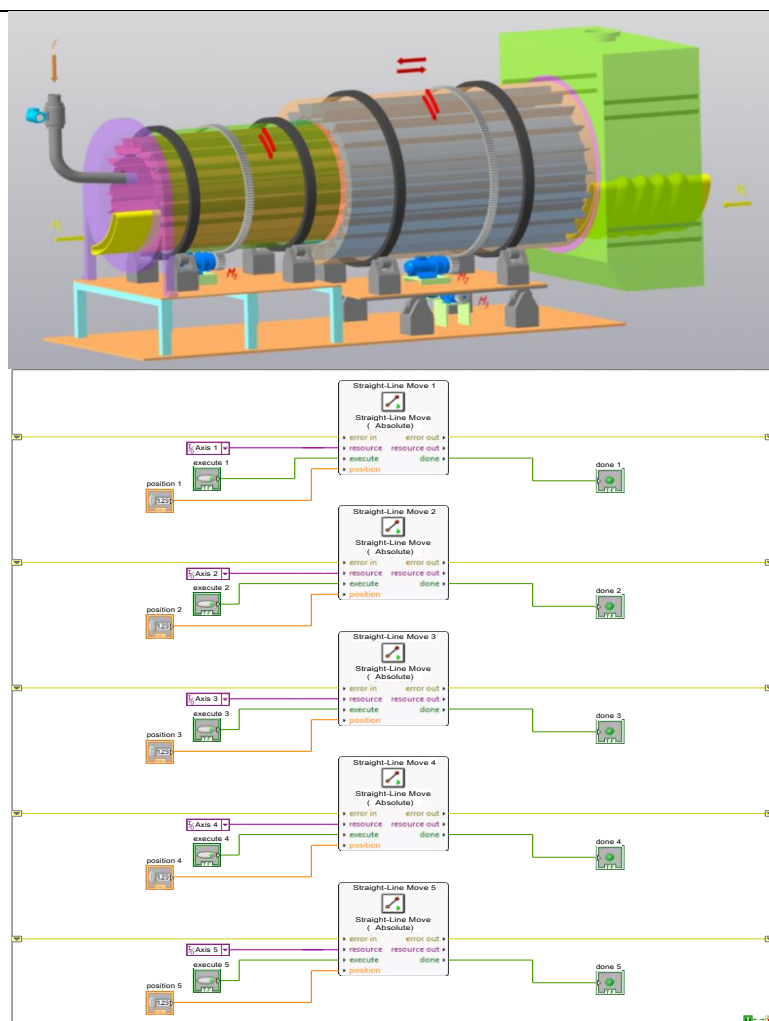


Рис. 2. Компьютерная модель барабанной сушилки с блок – диаграммой
Fig. 2. Computer model of a drum dryer with a block diagram

Принимая во внимание конструктивные особенности данной барабанной сушилки, а также специфичность сушки сыпучих материалов и их свойства разработан пульт управления, в наиболее полной мере учитывающий данные факторы (рис.3).

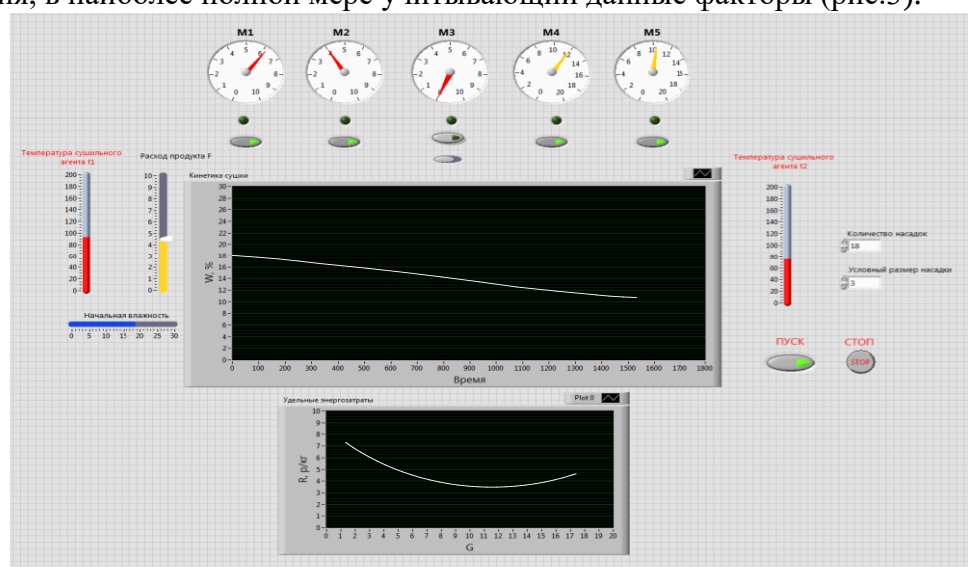


Рис. 3. Лицевая панель пульта управления
Fig. 3. Front panel of the control panel

Алгоритм работы испытательного стенда выстроен по следующему принципу (рис.4). Из имеющейся базы данных выбирается материал для сушки, где учитываются его

теплофизические, дериватографические и структурно – механические свойства. Исходя из этого, оператор на пульте управления задает следующие начальные входные данные: скорость вращения первого барабана, скорость вращения и направление перемещения второго барабана, скорость подачи теплоносителя в первый барабан, скорость подачи теплоносителя во второй барабан, температуру теплоносителей, начальную влажность материала, расход материала, количество и размер насадок. Производится пуск.

Блок расчета проводит все необходимые вычисления и незамедлительно реагирует на изменение оператором какого – либо из параметров.

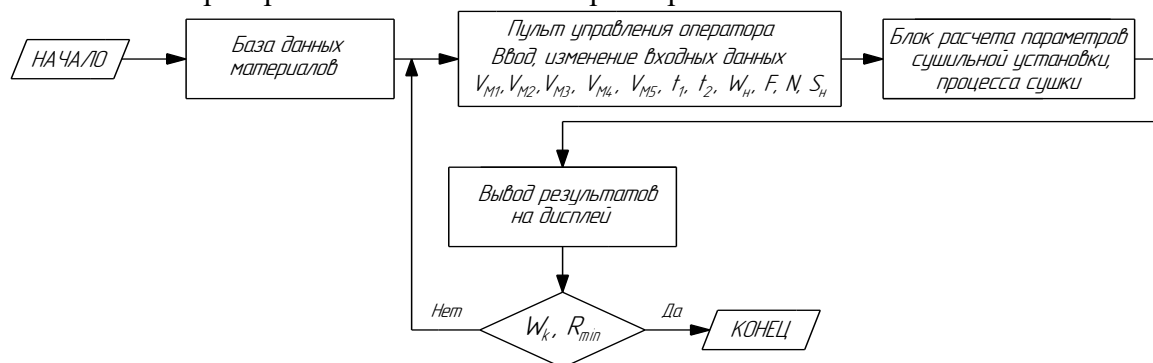


Рис. 4. Алгоритм работы испытательного стенда

Fig. 4. The algorithm of the test bench operation

Для каждой из формул, состоящих в блоке, выполнена расчетная модель с возможностью отладки ее работы (рис.5). Все формулы в блоке прописаны в виде подпрограмм, которые могут рассчитываться последовательно или параллельно.

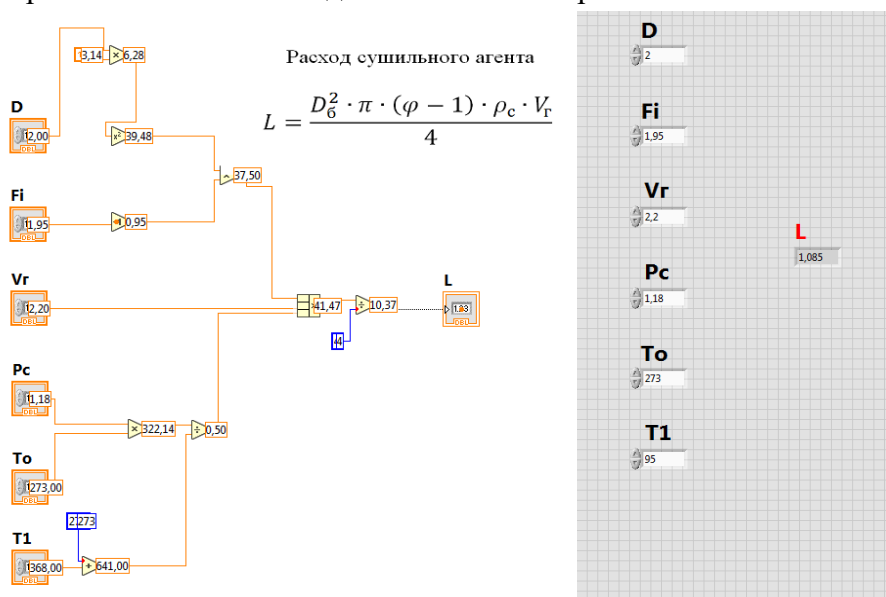


Рис. 5. Расчетная модель расхода сушильного агента

Fig. 5. Calculation model of drying agent consumption

В процессе всех вычислений на выходе получаем определяющие значения, такие как конечная влажность материала и удельные энергозатраты, выводящиеся в графическом виде на экран дисплея пульта управления в режиме реального времени и дающие представление оператору о происходящем процессе. Все результаты, полученные в ходе проведения испытаний автоматически сохраняются, где в дальнейшем могут использоваться для постановки следующих экспериментов.

Вывод. Проведенные исследования показали, что предложенный виртуальный испытательный стенд достаточно адекватно и с высокой точностью позволяет моделировать процесс сушки материалов в барабанной сушилке. Отклонение полученных результатов по сравнению со справочными данными не превышает 5 – 8 %. Время, затрачиваемое на эксперимент многократно сокращается, отсутствует необходимость в самом исследуемом

материале, достаточно знать его свойства. Быстрое внесение изменений и корректировок, а также полная замена блоков, используемых в работе стенда делает возможной его адаптацию под другие виды сушки и производственные процессы в целом с расширением круга выполняемых задач.

Стенд позволит апробировать работу барабанной сушилки на стадии разработки, провести эксперименты с максимально высокой точностью, подобрать оптимальные режимы сушки для различных материалов при минимальных энергозатратах. Дает возможность провести модельные эксперименты с учетом опасных и критических ситуаций, что в большинстве случаев невозможно при работе с настоящим оборудованием.

Библиографический список:

1. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование: учеб. пособие / И.П. Норенков. – Москва, 2000 – 188 с.
2. Нестеренко Е.С. Основы систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]: электрон. конспект лекций /Е. С Нестеренко; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун – т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун – т) Электрон. текстовые и граф. дан. (0,31 Мбайт). – Самара, 2013.
3. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Кондаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.
4. Ли К. Основы САПР (CAD, CAM, CAE). – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.: ил.
5. Зуев С.А. САПР на базе AutoCAD – как это делается. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 1168 с.: ил.
6. Тепляшин В.Н. Технологии и оборудование для сушки растительного сырья [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Н. Тепляшин, Л.И. Ченцова, В.Н. Невзоров; Краснояр. гос. аграр. ун–т. – Красноярск, 2019 – 173 с.
7. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
8. Шевцов А.А. Резервы энергоэффективности конвективной сушки дисперсных материалов при переменных режимах [Текст] / А. А. Шевцов, А.В. Дранников, В.В. Ткач, Н.А. Сердюкова / Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – № 2. – С. 91 – 99.
9. Остриков А. Н. Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья [Текст] / А. Н. Остриков, И. Т. Кретов, А. А. Шевцов, В. Е. Добромиров / Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 1998. – 344 с.
10. Остриков А.Н. Оптимизация процесса сушки зерновых культур в барабанной сушилке с тепловым насосом [Текст] / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, В.В. Ткач, Н.А. Сердюкова / Известия вузов. Пищевая технология. – 2018. – № 1. – С. 74 – 78.
11. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: [Текст]: учеб. для вузов / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. И. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.
12. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия 1968. – 471 с.
13. Kirstie Plantenberg. A Hands – On Introduction to SolidWorks. SDC Publications, 2023, p. 600.
14. Основные элементы SolidWorks. TRAINING. Dassault Systems SolidWorks Corporation, Dassault Systems S.A; 1995 – 2009, p. 550.
15. Большаков В. П. 3D – моделирование в AutoCAD; Компас – 3D; SolidWorks; Inventor; T – Flex: [Текст] / В.П. Большаков, А.Л. Бочков, А.А. Сергеев / Учебный курс(+DVD). – СПб.: Питер, 2011. – 336 с.: ил.
16. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ – Петербург. 2008. – 1040 с.: ил. + DVD.
17. Тревис Дж. LabVIEW для всех [Текст] / Джеффри Тревис: Пер. с англ. Клушин Н.А. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.: ил.
18. Виноградова Н.А. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW: учеб. пособие / Н.А. Виноградова, Я.И. Листратов, Е.В. Свиридов.– М.: Издательство МЭИ, 2009. – 47 с.
19. Блюм П. LabVIEW: стиль программирования [Текст] / Питер Блюм: Пер. с англ. под ред. Михеева П. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.: ил.
20. Васильев А.С. Основы программирования в среде LabVIEW: учеб. пособие / А.С. Васильев, О.Ю. Лошманов. – СПб: Университет ИТМО, 2015 – 82 с.

References:

1. Norenkov I.P. Computer-aided design: textbook. Manual.Moscow, 2000; 188 [In Russ].
2. Nesterenko E. S. Fundamentals of computer-aided design systems [Electronic resource]: electron. Lecture notes / E. S. Nesterenko; Ministry of Education and Science of Russia, Samara State Aerospace University

- named after S. P. Korolev (National Research un – t) Electron. text and graph. dan. (0.31 MB). – Samara, 2013.
3. Kondakov A.I. CAD of technological processes: textbook for students. higher. studies. institutions / A.I. Kondakov. M. : Publishing center "Academy", 2007; 272. [In Russ].
 4. Lee K. CAD basics (CAD, CAM, CAE). St. Petersburg: Peter, 2004; 560 [In Russ].
 5. Zuev S.A. CAD based on AutoCAD – how it is done. St. Petersburg: BHV. Petersburg, 2004; 1168 [In Russ].
 6. Teplyashin V.N. Technologies and equipment for drying vegetable raw materials [Electronic re-source]: textbook. manual / V.N. Teplyashina, L.I. Chentsova, V.N. Nevzorov; Krasnoyar. state agrarian. un – t. Krasnoyarsk, 2019; 173 [In Russ].
 7. Ginzburg A.S. Calculation and design of drying plants of the food industry. M.: Agropromiz-dat, 1985; 336 [In Russ].
 8. Shevtsov A.A. Reserves of energy efficiency of convective drying of dispersed materials in variable modes [Text] / A. A. Shevtsov, A.V. Drannikov, V.V. Tkach, N.A. Serdyukova. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017; 2: 91-99 [In Russ].
 9. Ostrikov A. N. Energy-saving technologies and equipment for drying food raw materials [Text] / A. N. Ostrikov, I. T. Kretov, A. A. Shevtsov, V. E. Dobromirov. *Voro-nezh. gos. technol. acad. Voronezh*, 1998; 344 p.
 10. Ostrikov A.N. Optimization of the drying process of grain crops in a drum dryer with a heat pump [Text]. A.N. Ostrikov, A.A. Shevtsov, V.V. Tkach, N.A. Serdyukova. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2018;1.: 74-78 [In Russ].
 11. Machines and devices of food production. In 2 book. Book 1: [Text]: tb. for University / S. T. Antipov, II. T. Kretov, A. I. Ostrikov ; Edited by. RASCHN V.A. Panfilov. M.: *High school.*, 2001; 703 [In Russ].
 12. Lykov A.V. Theory of drying. M.: *Energiya* 1968; 471 [In Russ].
 13. Kirstie Plantenberg. A Hands – On Introduction to SolidWorks. SDC Publications, 2023; 600 .
 14. Basic elements SolidWorks. TRAINING. Dassault Systems SolidWorks Corporation, Dassault Systems S.A; 1995 – 2009; 550.
 15. Bolshakov V. P. 3D modeling in AutoCAD; Compass – 3D; SolidWorks; Inventor; T – Flex: [Text] / V.P. Bolshakov, A.L. Bochkov, A.A. Sergeev. *Training course(+ DVD)*. – St. Petersburg: Peter, 2011; 336 [In Russ].
 16. Alyamovsky A.A. SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice [text] / a.A. Alyamovsky, A.A. Sobachkin, E.V. Odintsov, A.And. Haritonovich, N.B. Ponomarev. - SPB.: BHV-Petersburg, 2008; 1040 + DVD.
 17. Travis J. Labview for everyone [Text] / Jeffrey Travis: Translated from English by Klushin N.A. – M.: DMK Press; Instrument Kit, 2005; 544.
 18. Vinogradova N.A. Development of applied software in the LabVIEW environment: textbook. the manual / N.A. Vinogradova, Ya.I. Listratov, E.V. Sviridov. M.: Publishing House of MEI, 2009;47. [In Russ].
 19. Blum P. LabVIEW: programming style [Text] / Peter Blum: Translated from English. ed. Mikheeva P. – M.: DMK Press, 2008; 400.
 20. Vasiliev A.S. Fundamentals of programming in the LabVIEW environment: textbook. manual / A.S. Vasiliev, O.Y. Loshmanov. St. Petersburg: ITMO University, 2015; 82 [In Russ].

Сведения об авторах:

Ткач Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин; tkachbalian@yandex.ru

Шевцов Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин; shevalol@rambler.ru

Information about authors:

Vladimir V. Tkach, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of general professional disciplines; tkachbalian@yandex.ru

Alexander A. Shevtsov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof, Department of general professional disciplines; tkachbalian@yandex.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 31.01.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 22.02.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 22.02.2023.