

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУШИЛКИ СБ-2 ООО «ДОЗА-АГРО» В СОСТАВЕ ЛИНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ

кандидат технических наук **А. Г.Сергеев**

ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Технологии безотходной переработки древесины обусловлены экономическими и экологическими аспектами. Одним из этапов таких технологий является переработка древесных отходов в топливные пеллеты, для производства которых используются соответствующие линии, которые включают большое количество различных машин. В статье приведены результаты исследований рабочего процесса сушилки СБ-2 производства ООО «Доза-Агро», входящей в состав данных линий, представлена ее схема и описан принцип работы, дана оценка эффективности рабочего процесса сушилки в зависимости от параметров исходного сырья. Исследование рабочего процесса сушильного барабана проводилось в условиях хозяйств ИП Кабанов, ИП Братчиков, ООО «Пенза-Пеллет», ООО «Тольяттинский пеллетный завод», ООО «Промлесилим», ООО «Маслянинский ЛПХ», ООО «Эколеспром», ООО «Брянский бройлер», ООО «Тандем ВП». Определялось влияние влажности исходного сырья, температуры исходного сырья и размера частиц исходного сырья. Размер частиц оценивался площадью их поверхности. Эффективность работы сушилки оценивали ее производительностью, выраженной в процентном соотношении от максимально возможной и полученной при оптимальных условиях. После обработки статистической информации получена модель регрессии второго порядка, характеризующая процесс сушки дробленого материала в сушилке СБ-2. Выявлено, что наибольшее влияние на рабочий процесс сушилки СБ-2 оказывает влажность исходного сырья. Процесс сушки дробленого древесного материала отличается от процесса сушки стружки, а именно наименьшее влияние на производительность сушилки при сушке дробленого материала оказывает его температура, а при сушке стружки – ее размеры.

**Ключевые слова:** древесные отходы, пеллеты, производительность сушилки, стружка, сушка.

## WORKING PROCESS OF SB-2 DRYER (DOZA-AGRO LLC) IN THE COMPOSITION OF FUEL PELLETS PRODUCTION LINES

PhD (Engineering) **A.G. Sergeev**

Doza-Agro LLC, Nizhny Novgorod, Russian Federation

### Abstract

Waste-free wood processing technologies are conditioned by the economic and environmental aspects of human activity. One of the stages of such technologies is processing of wood waste into fuel pellets, for the production of which appropriate lines are used. They include a large number of different machines. The article presents the results of studies of the working process of SB-2 dryer produced by Doza-Agro LLC, which is a part of these lines. The paper presents its scheme and describes the principle of operation, evaluates the efficiency of the dryer working process depending on the feedstock parameters. Work process of the drying drum was carried out in the conditions of IP Kabanov, IP Bratchikov, Penza-Pellet LLC, Togliattinsky Pellet Plant LLC, Promlesilim LLC, Maslyaninsky LLC, Ekolesprom LLC, Bryansk Broiler LLC, Tandem VP LLC. The influence of feedstock moisture content, temperature of the feedstock and the particle size has been determined. The particle size was estimated by their surface area. The efficiency of the dryer was evaluated by its productivity, expressed as a percentage of the maximum possible one and obtained under optimal conditions. After processing statistical information, a second-order regression model has been obtained, which characterizes the drying process of crushed material the SB-2 dryer. It was revealed that feedstock moisture content has

the greatest influence on the working process of SB-2 dryer. The drying process of crushed wood material differs from the drying process of chips. Namely, the temperature of the dryer has the smallest effect on the performance when drying the crushed material. When drying the shavings, their size has the smallest effect.

**Keywords:** wood waste, pellets, dryer performance, shavings, drying.

### Введение

РФ занимает ведущее место по запасам лесных ресурсов. Преимуществом древесины как источника энергии, отличающим ее от ископаемых энергоресурсов, является возобновляемость. Кроме того, наличие регионов, отдаленных от мест добычи ископаемого топлива, приводит к значительным затратам на его доставку потребителям, что обосновывает актуальность древесного топлива как источника энергии. Несмотря на то что вопросы биоэнергии, по мнению С. Gamborg, К. Millar, О. Shortall, Р. Sandoe, вызывают вопросы этики, отходы лесопромышленного комплекса являются одним из наиболее дешевых энергоресурсов [15]. Отходы образуются как на этапе лесозаготовки, так и при переработке древесины [14]. К отходам лесозаготовки относятся ветви и вершины деревьев, древесная зелень, щепа, кора и пни, при лесопереработке в качестве отходов образуются опилки, щепа, стружка, горбыли. К.К. Gokmenoglu, G.O. Olasehinde-Williams, N. Taspinar в своих исследованиях показали, что проблемы экологического характера достаточно эффективно решаются государствами путем введения различных субсидий, снижения налоговой нагрузки организациям, которые занимаются облесением и лесонасаждением [16]. Объем отходов только при лесозаготовке составляет до 39 %, что делает перспективной разработку современных технологий по производству топлива из отходов лесопромышленного комплекса [7, 8].

Тепловой эффект сгорания древесного топлива имеет высокие значения и несколько различается в зависимости от породы дерева, региона произрастания и части дерева. В среднем теплотворная способность лиственных пород ниже, чем у хвойных, что объясняется меньшим содержанием лигнина и смолистых веществ. При этом высокой теплотой сгорания обладает как древесная часть, так и кора [8].

При отсутствии переработки большой объем древесных отходов, вывозимый на свалки и отвалы, создает неблагоприятную экологическую обстановку, а также повышенную пожароопасность, т.к. в процессе гниения древесины происходит выделение легковоспламеняемых органических соединений и выделение большого количества теплоты. Об экологичности использования древесных отходов в качестве топлива также свидетельствует более низкое количество парниковых газов, образующихся при их сжигании, по сравнению с использованием в качестве топлива каменного угля или мазута. Кроме того, объемы углекислого газа, образующегося при сжигании и естественном окислении древесной массы при гниении, не отличаются [2, 9].

Использование древесных отходов в качестве топлива может осуществляться разными способами: прямое сжигание коры, кусковых отходов, щепы и стружки, производство прессованного древесного топлива (пеллеты, брикеты), термохимическое производство газообразного и жидкого топлива [11].

Прямое сжигание древесных отходов имеет ряд недостатков. Чтобы сжигание было эффективным, необходимо приведение древесного материала к достаточно равномерному гранулометрическому составу, обеспечивающему равномерный его контакт с воздухом. Необработанные древесные отходы могут содержать в себе достаточно большое количество влаги, что снижает их теплотворную способность. Транспортировка древесных отходов является дорогостоящей, поэтому их прямое сжигание целесообразно только для обеспечения работы лесоперерабатывающего комплекса или на малоотдаленном от него предприятии [9].

В основе производства топливных брикетов и гранул лежит прессование предварительно измельченного сырья при нагревании. Компонентом, склеивающим частицы измельченных древесных отходов, является лигнин, содержащийся в древе-

сине. Прессованное топливо имеет равномерный гранулометрический состав, низкое содержание влаги, что обеспечивает высокую теплотворность. Производство прессованного топлива позволяет снизить затраты на транспортировку и хранение по сравнению с необработанными древесными отходами. Технологическая схема производства пеллет содержит следующие структурные элементы: первичная обработка древесины, кондиционирование, прессование, охлаждение и просеивание. Первичная обработка включает предварительное измельчение древесных отходов, сушку и доизмельчение до необходимого размера [7, 9]. Основной статьей энергозатрат при производстве пеллет являются затраты на сушку. Оптимальное содержание влаги в подготовленном сырье должно составлять 6-12 %. Большое содержание влаги может способствовать поражению древесных гранул грибком и гниению. Кроме того, при увеличении влажности уменьшается плотность пеллет, а испарение излишней влаги при хранении способствует появлению микротрещин и, как следствие, крошимости гранул [1, 9]. Сушка древесного материала заключается в испарении свободной и связанной влаги с поверхности и из объема материала. При этом энергозатраты на процесс сушки напрямую зависят от ее продолжительности и расхода теплоносителя. В работе [4] показано, что для древесных опилок увеличение расхода теплоносителя не приводит к сокращению времени сушки, а следовательно, является нерациональным. Целесообразна разработка конструкций сушильных установок с рециркуляцией сушильного агента, что позволит повысить их экономическую эффективность за счет снижения тепловых потерь и уменьшения количества сжигаемого топлива. В работах [1, 12] показана целесообразность применения нестационарного режима сушки с промежуточным нагревом и охлаждением. Однако данный вопрос является недостаточно изученным, т.к. не существует достоверной модели неизо-термического тепломассообмена в древесине, относящейся к капиллярно-пористым телам. При этом следует отметить, что градиент температуры может оказать как ускоряющий, так и тормозящий эффект на влагоудаление, следовательно, необходимо особое внимание уделять разработке режима сушки [3].

Для реализации процесса сушки древесного материала разработано большое количество сушилок различной конструкции. В силу высокой стоимости и сложности конструкций радиометрические, кондуктивные, диэлектрические и вакуумные сушильные установки не получили широкого распространения. Для сушки могут быть использованы камерные и ленточные сушильные установки, сушки в кипящем слое, сушильные установки вихревого типа. Широкое распространение получили барабанные сушилки. Одной из причин повышенных энергозатрат барабанной сушилки является неэффективный теплообмен между теплоносителем и материалом, причиной которого может служить неравномерное распределение сыпучего материала по сечению барабана и наличие зоны, не закрытой завесой падающего материала, и, как следствие, снижение количества теплоносителя, проходящего через осушаемый материал. Для устранения данного недостатка необходимо усовершенствование конструкции внутреннего устройства барабанной сушилки (лопаток) [10, 13]. На основании существующих барабанных сушилок с учетом недостатков в их конструкции ООО «Доза-Агро» разработан трехпроходный сушильный барабан СБ-2. Главным оценочным критерием рабочего процесса разработанного сушильного барабана является его производительность, которая во многом определяется параметрами высушиваемого материала. Поэтому целью работы является выявление зависимости производительности трехпроходного сушильного барабана СБ-2 для сушки древесных отходов от параметров исходного сырья.

### Материалы и методы

Нами проведено исследование по определению зависимости производительности трехпроходного сушильного барабана СБ-2 от параметров исходного сырья. Сушильный барабан СБ-2 входит в состав линий приготовления пеллет серий ТП-П, ТП-С и ЛС производства ООО «Доза-Агро» [6], состоит из установленного на раме 12 барабана 5, внутри которого смонтированы лопатки 6, предназначенные для перемещения и ворошения материала. Вращение барабана осуществляется с помощью приводного механизма 17 через приводную опору 14. Рабочий процесс осуществляется следующим

образом. Материал, предназначенный для сушки, подается в загрузочное устройство, где контактирует с распределительными пластинами 1 и предварительно нагревается. Далее движение вдоль оси барабана и одновременная сушка материала происходит под действием горячего воздушного потока (агента сушки), создаваемого установленным после барабана вентилятором и нагреваемого в топочном блоке. Для интенсификации процесса сушки осуществляется перемешивание материала с горячим воздухом, которое происходит за счет перемещения материала по периферии барабана 5 под действием лопаток 6.

Исследование рабочего процесса сушильного барабана проводилось в условиях хозяйств ИП Кабанов, ИП Братчиков, ООО «Пенза-Пеллет», ООО «Тольяттинский пеллетный завод», ООО «Промлесилим», ООО «Маслянинский ЛПХ», ООО «Эколеспром», ООО «Брянский бройлер», ООО «Тандем ВП».

Определялось влияние влажности исходного сырья (изменялась от 30 до 50 % с шагом 10 %), температуры исходного сырья (изменялась от -10 до +20 °C с шагом 15 °C) и размера частиц исходного сырья. Размер частиц оценивался площадью их поверхности. За минимальное значение принимался опил размером 1×1×1 мм (площадь поверхности 6 мм<sup>2</sup>), за среднее значение – дробленая щепа размером 10×5×2 мм (площадь поверхности 160 мм<sup>2</sup>), за максимальное – щепа размером 10×10×3 мм (площадь поверхности 320 мм<sup>2</sup>). Эффективность работы сушилки оценивали ее производительностью, выраженной в процентном соотношении от максимально возможной и полученной при оптимальных условиях (табл. 1).

Отдельно необходимо выделить процесс сушки стружки. Образование стружки происходит нарезанием, а не дроблением, а ее толщина значительно меньше толщины щепы. Поэтому дополнительно проведено исследование по определению производительности сушилки при сушке стружки.

В качестве исходных данных также выступали влажность исходного сырья (изменялась от 30 до 50 % с шагом 10 %), температура исходного сырья (изменялась от -10 до +20 °C с шагом 15 °C) и размер частиц исходного сырья. Размер частиц из-

менялся на двух уровнях и оценивался площадью поверхности частицы. За минимальное значение принималась стружка с размерами 15×5×0,5 мм (площадь поверхности 37,5 мм<sup>2</sup>), за максимальное – стружка с размерами 25×25×0,5 мм (площадь поверхности 312,5 мм<sup>2</sup>). Рабочий процесс сушилки также оценивали ее производительностью, выраженной в процентном соотношении от максимально возможной и полученной при оптимальных условиях (табл. 2).

Обработка статистической информации и построение моделей регрессий, характеризующих влияние исследуемых факторов на производительность сушилки, проводилась методами планирования [5].

### Результаты

После обработки статистической информации по табл. 1 получена модель регрессии второго порядка (при 95 %-й доверительной вероятности), характеризующая процесс сушки дробленого материала в сушилке СБ-2:

$$y = 31,7 - 20 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 - 14 \cdot x_3 + 10,4 \cdot x_1^2 - 2,4 \cdot x_1 \cdot x_2 + 3,8 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,7 \cdot x_2^2 - 2,3 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4,9 \cdot x_3^2. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации уравнения (1) составляет 97,9 %, что свидетельствует об адекватности модели и возможности ее использования при расчетах.

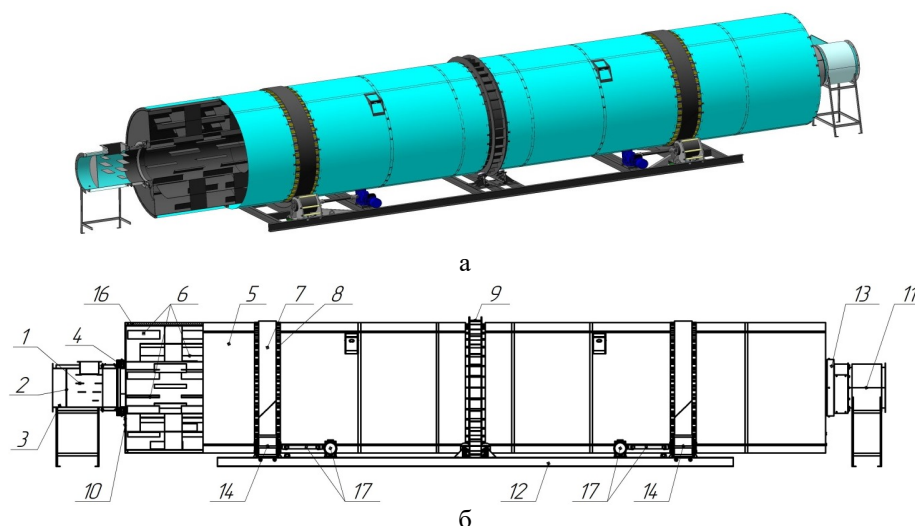


Рис. 1. Сушильный барабан СБ-2: а – трехмерная модель; б – схема; 1 – распределительные пластины загрузочного устройства; 2 – аварийный отсекающий топочных газов; 3 – датчик температуры на входе; 4 – плавающий соединитель; 5 – трехконтурный барабан; 6 – лопатки барабана; 7 – съемный бандаж; 8 – опорные пластины; 9 – упорная реборда; 10 – взрыворазрядительный клапан; 11 – датчик температуры на выходе; 12 – рама опорная; 13 – плавающий соединитель; 14 – опора приводная; 15 – опора пассивная; 16 – теплоизоляция барабана; 17 – приводной механизм

Таблица 1

Влияние исследуемых параметров на производительность сушилки при сушке дробленого сырья

Номер опыта	Исследуемые факторы						Критерий оценки работы машины
	Влажность исходного сырья		Температура исходного сырья		Площадь поверхности частицы сырья		
	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	Производительность сушилки $Q_c$ , в % от максимальной
	W, %	$x_1$	T, °C	$x_2$	$S_{п}$ , мм <sup>2</sup>	$x_3$	
1	40	0	5	0	160	0	31,7
2	30	-1	-10	-1	160	0	49,4
3	50	+1	-10	-1	160	0	18,8
4	30	0	20	+1	160	0	65
5	50	+1	20	+1	160	0	24,7
6	30	-1	5	0	6	-1	84
7	50	+1	5	0	6	-1	31,9
8	40	0	5	0	160	0	31,7
9	30	-1	5	0	320	+1	54,6
10	50	+1	5	0	320	+1	17,6
11	40	0	-10	-1	6	-1	44,1
12	40	0	20	+1	6	-1	58
13	40	0	-10	-1	320	+1	14,5
14	40	0	20	+1	320	+1	19,1
15	40	0	5	0	160	0	31,7

Влияние исследуемых параметров на производительность сушилки при сушке древесной стружки

Номер опыта	Исследуемые факторы						Критерий оценки работы машины
	Влажность исходного сырья		Температура исходного сырья		Площадь поверхности частицы сырья,		Загруженность машины
	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	Производительность сушилки $Q_c$ , в % от максимальной
	W, %	$x_1$	T, °C	$x_2$	$S_{п}$ , мм <sup>2</sup>	$x_3$	
1	30	-1,0	-10	-1,0	37,5	-1,0	64,6
2	40	0,0	-10	-1,0	37,5	-1,0	37,5
3	50	1,0	-10	-1,0	37,5	-1,0	21,7
4	30	-1,0	5	0,0	37,5	-1,0	71,4
5	40	0,0	5	0,0	37,5	-1,0	41,4
6	50	1,0	5	0,0	37,5	-1,0	27,1
7	30	-1,0	20	1,0	37,5	-1,0	85
8	40	0,0	20	1,0	37,5	-1,0	49,3
9	50	1,0	20	1,0	37,5	-1,0	32,3
10	30	-1,0	-10	-1,0	312,5	1,0	57
11	40	0,0	-10	-1,0	312,5	1,0	33,1
12	50	1,0	-10	-1,0	312,5	1,0	20,2
13	30	-1,0	5	0,0	312,5	1,0	63
14	40	0,0	5	0,0	312,5	1,0	36,5
15	50	1,0	5	0,0	312,5	1,0	23,9
16	30	-1,0	20	1,0	312,5	1,0	75
17	40	0,0	20	1,0	312,5	1,0	43,5
18	50	1,0	20	1,0	312,5	1,0	28,5

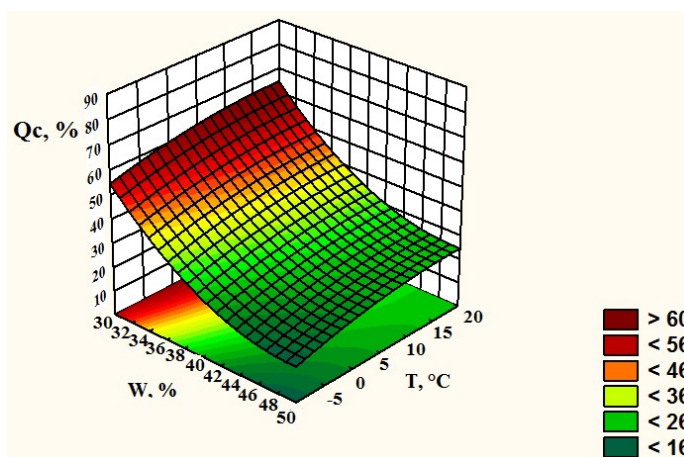


Рис. 2. Влияние на производительность сушилки СБ-2 влажности и температуры исходного сырья при  $S_{п} = 175 \text{ мм}^2$

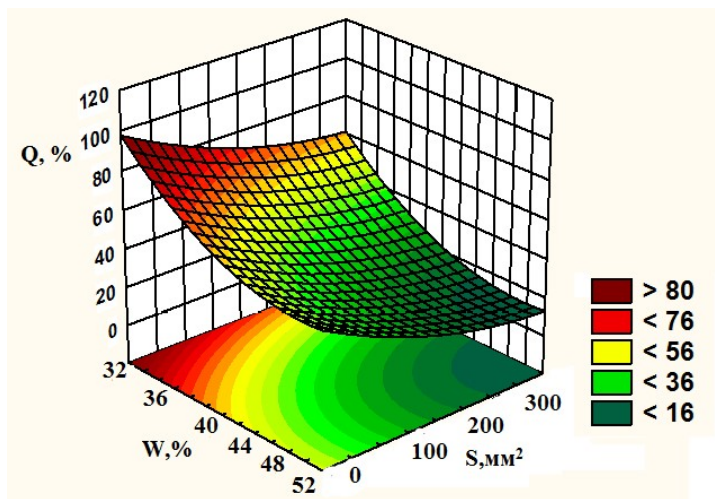


Рис. 3. Влияние на производительность сушилки влажности и размеров частиц исходного сырья при  $T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

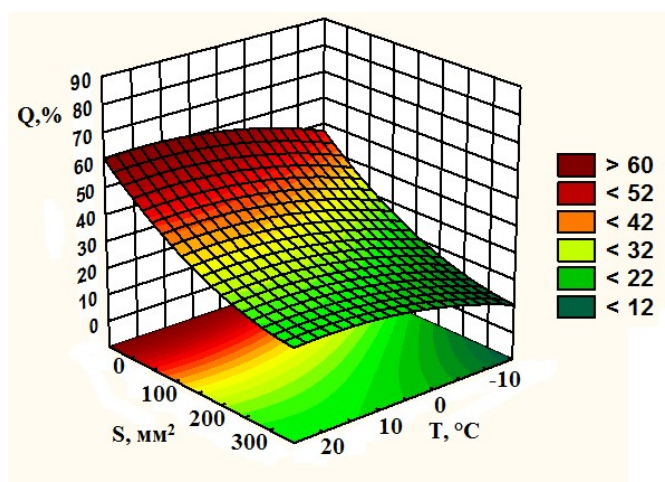


Рис. 4. Влияние на производительность сушилки температуры и размеров частиц исходного сырья при  $W = 40\text{ }%$

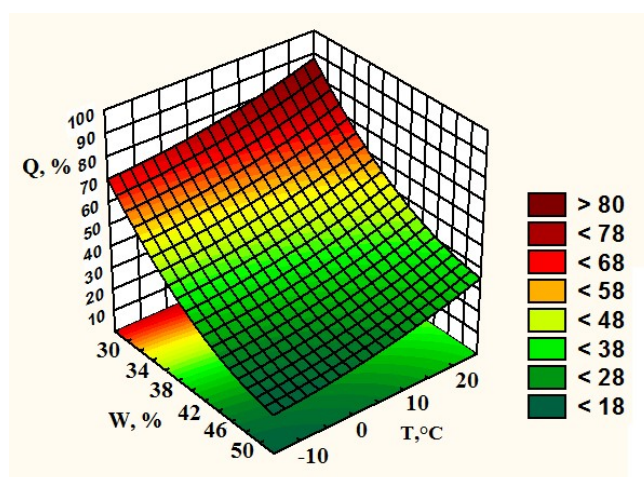


Рис. 5. Влияние на производительность сушилки влажности и температуры исходного сырья при  $S_n = 175\text{ мм}^2$

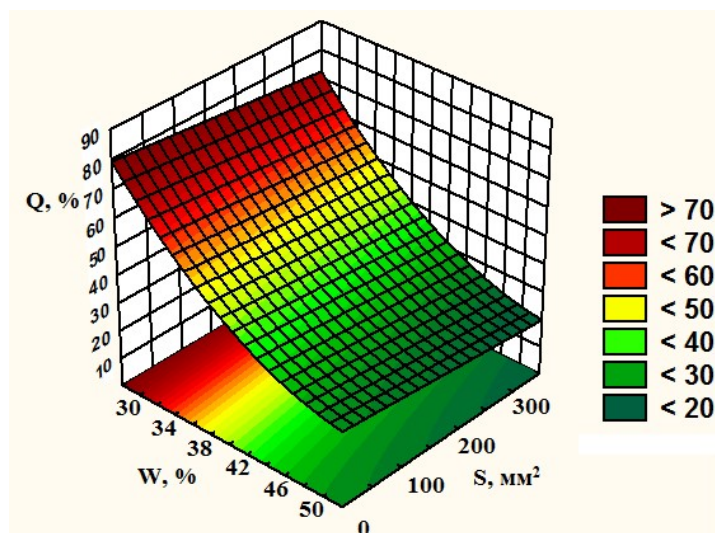


Рис. 6. Влияние на производительность сушилки влажности и размеров частиц исходного сырья при  $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

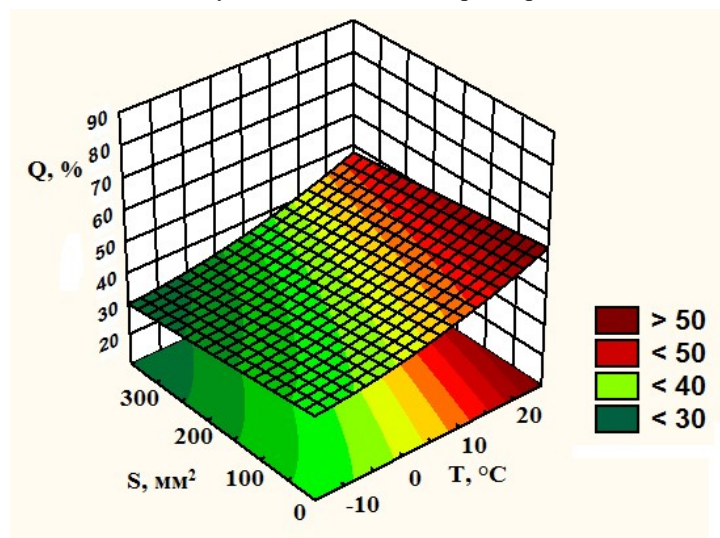


Рис. 7. Влияние на производительность сушилки температуры и размеров частиц исходного сырья при  $W = 40 \text{ } \%$

Наибольшее влияние на производительность сушилки оказывает фактор  $x_1$  ( $b_1 = -20$ ), в меньшей степени –  $x_3$  ( $b_3 = -14$ ). Менее значимым из исследуемых факторов является фактор  $x_2$  – температура исходного сырья. С целью повышения производительности сушилки необходимо стремиться снижать влажность и размеры частиц исходного сырья, а также проводить сушку при более высокой его температуре.

Для наглядности протекающего процесса приведены поверхности регрессии (рис. 2-4). При снижении влажности с 50 до 30 % производительность сушилки возрастает в 2,6-3,7 раза в зависимости от температуры исходного сырья (рис. 2).

За счет уменьшения размеров частиц исходного сырья можно увеличить производительность сушилки на 70 %, независимо от исходной влажности материала (рис. 3).

Максимальная производительность сушилки наблюдается при сушке опила размером  $1 \times 1 \times 1 \text{ мм}$ , с минимальной влажностью и максимальным значением его температуры. Наибольшее время сушки (а значит, минимальная производительность сушилки) приходится на переработку щепы размером  $30 \times 30 \times 5 \text{ мм}$ , влажностью 55 % и температурой  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Модель регрессии, описывающая процесс сушки древесной стружки, имеет вид (при 95 %-й доверительной вероятности):



$$y = 39 - 21,9 \cdot x_1 + 6,6 \cdot x_2 - 2,8 \cdot x_3 + 7,3 \cdot x_1^2 - 2,4 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,5 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,8 \cdot x_2^2 - 0,5 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации уравнения (2) составляет 99,6 %, т. е. модель может быть признана адекватной модели. В наибольшей степени критерий оценки работы сушилки зависит от фактора  $x_1$  ( $b_1 = -21,9$ ): незначительное увеличение влажности исходного сырья ведет к резкому снижению производительности сушилки. В меньшей степени на критерий оптимизации влияет температура исходного сырья  $x_2$  ( $b_2 = +6,6$ ). С увеличением фактора  $x_2$  происходит рост производительности сушилки. Фактор  $x_3$  (размер стружки) в данном случае оказывает наименьшее влияние на производительность сушилки ( $b_3 = -2,8$ ). Повысить критерий  $y$  возможно за счет уменьшения размеров стружки.

На основании модели регрессии построены поверхности (рис. 5, 6 и 7).

Со снижением влажности исходного сырья с 50 до 30 % наблюдается рост производительности сушилки в 2,8–4,7 раза в зависимости от его температуры (рис. 5).

В зависимости от размеров стружки при снижении ее влажности в исследуемом диапазоне при фиксированном значении температуры также наблюдается рост производительности в 3,2–3,6 раза (рис. 6).

При фиксированной влажности за счет повышения температуры исходного сырья с  $-10$  до  $+20$  °С можно увеличить производительность сушилки с 30 до 52 % в зависимости от размеров стружки (рис. 7).

Для получения максимального эффекта необходимо стремиться проводить сушку стружки

минимального размера с ее наименьшей влажностью и максимальной температурой.

### Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на рабочий процесс сушилки СБ-2 оказывает влажность исходного сырья – при ее увеличении с 30 до 50 % в зависимости от вида сырья производительность сушилки падает в 2,6–4,7 раза.

2. Процесс сушки дробленого древесного материала отличается от процесса сушки стружки, а именно наименьшее значение на производительность сушилки при сушке дробленого материала оказывает его температура, а при сушке стружки – ее размеры.

3. Независимо от вида предварительной обработки исходного сырья максимально возможная производительность сушилки наблюдается при сушке материала минимальных размеров с минимальной влажностью и максимальной температурой.

4. Максимальная производительность сушилки, равная 100 %, достигается при сушке опила размером  $1 \times 1 \times 1$  мм влажностью 30 % и температурой  $+20$  °С.

5. При сушке стружки размером  $15 \times 5 \times 0,5$  мм влажностью 30 % и температурой  $+20$  °С производительность сушилки составляет 85 % от максимально возможной, при сушке стружки размером  $25 \times 25 \times 0,5$  мм – 75 %, щепы размером  $10 \times 5 \times 2$  мм – 65 %, щепы размером  $10 \times 10 \times 3$  мм – 55 %.

### Библиографический список

1. Ахмедьянова, Е. Н. Увеличение энергоэффективности установок сушки пеллет / Е. Н. Ахмедьянова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 1-2. – С. 352–355.
2. Вакалюк, Ю. В. Использование биотоплива на основе древесного сырья взамен каменного угля и мазута / Ю. В. Вакалюк, И. И. Подольский // Экология и промышленность России. – 2011. – № 10. – С. 24–27.
3. Анализ процессов сушки древесины существенно неизотермическими режимами / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина, Е. В. Старова, А. А. Миков // Лесной журнал. – 2018. – № 2. – С. 88–96.

4. Кодылев, А. В. Кинетика конвективной сушки сыпучих и дисперсных строительных материалов в сушильной установке с рекуперацией теплоносителя / А. В. Кодылев, А. Н. Лозинов, Р. А. Садыков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4 (38). – С. 308–314.
5. Коновалов, В. В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ : учеб. пособие / В. В. Коновалов ; ПГСХА. – Пенза, 2003. – 176 с.
6. Линии по производству топливных гранул и брикетов. – URL: <https://www.dozagran.com/lines/> (дата обращения: 01.10.2019).
7. Пономарева, Н. Г. Совершенствование технологии производства топливных гранул из древесной коры : специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» : автореф. дис. ... канд. тех. наук / Пономарева Наталья Геннадьевна; ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». – Архангельск, 2017. – 20 с.
8. Степанов, В. И. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве / В. И. Степанов, Н. А. Мезина // Вестник Российского Экономического Университета им. Г.В. Плеханова. – 2012. – № 3 (45). – С. 83–88.
9. Севастьянова, С. Н. Биоэнергетика. Древесные (топливные) гранулы / С. Н. Севастьянова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 10 (104). – С. 133–138.
10. Субботин, М. Ю. Обоснование конструктивных параметров барабанных сушилок физико-механическими свойствами сыпучих материалов / М. Ю. Субботин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 218–223.
11. Суханов, В. С. Роль биоэнергетики в повышении эффективности лесопромышленного комплекса / В. С. Суханов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2010. – № 1. – С. 2–5.
12. Федоренко, И. Я. Повышение эффективности работы барабанных сушилок / И. Я. Федоренко, В. И. Лобанов, А. В. Синогейкин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 12 (38). – С. 46–48.
13. Храмов, А. Н. Повышение эффективности сушки сыпучих материалов за счет интенсификации конвективного теплообмена / А. Н. Храмов, М. Ю. Субботин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 6 (89). – С. 161–165.
14. Carle, J. Wood from planted forests: a global outlook 2005–2030 / J. Carle, P. Holmgren // Forest Products Journal. – 2008. – No. 58 (12). – P. 6–18.
15. Bioenergy and Land Use: Framing the Ethical Debate / C. Gamborg, K. Millar, O. Shortall, P. Sandoe // Journal of Agricultural and Environmental Ethics. – 2012. – Vol. 25. – Issue 6. – P. 909–925.
16. Gokmenoglu, K. K. Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Deforestation / K. K. Gokmenoglu, G. O. Olasehinde-Williams, N. Taspinar // Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. Green Energy and Technology ; M. Shahbaz, D. Balsalobre (eds). – Springer – Cham., 2019. – P. 61–83.

### References

1. Ahmed'yanova E.N. (2014) *Uvelichenie energoeffektivnosti ustanovok sushki pellet* [Increasing the energy efficiency of pellet drying plants]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], Vol. 16, no. 1-2, pp. 352-355 (in Russian).
2. Vakalyuk Yu.V., Podolsky I.I. (2011) *Ispol'zovanie biotopliva na osnove drevesnogo syr'ya vzamen kamennogo uglya i mazuta* [The use of biofuels based on wood raw materials instead of coal and fuel oil]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], no 10, pp. 24-27 (in Russian).
3. Gorohovskij A.G., Shishkina E.E., Starova E.V., Mikov A.A. (2018) *Analiz processov sushki drevesiny sushchestvenno neizotermicheskimi rezhimami* [Analysis of wood drying processes with non-isothermal regimes]. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], no 2, pp. 88-96 (in Russian).
4. Kodylev A.V., Lozinov A.N., Sadykov R.A. (2016) *Kinetika konvektivnoj sushki sypruchih i dispersnykh stroitel'nykh materialov v sushil'noj ustanovke s rekuperaciej teplonositelya* [Kinetics of convective drying of bulk and

dispersed building materials in a drying plant with heat recovery]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of Kazan state University of architecture and construction], no. 4 (38), pp. 308-314 (in Russian).

5. Konovalov V.V. *Praktikum po obrabotke rezul'tatov nauchnykh issledovaniy s pomoshch'yu PEVM : uchebnoe posobie* [Workshop on processing the results of scientific research with the help of PC: tutorial]. Penza, 2003. 176 p. (in Russian).

6. *Linii po proizvodstvu toplivnykh granul i briкетов* [Production lines for fuel pellets and briquettes]. URL: <https://www.dozagan.com/lines> (date of access: 01.10.2019) (in Russian).

7. Ponomareva N.G. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva toplivnykh granul iz drevesnoj kory : avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk* [Improvement of production technology of fuel pellets from wood bark: PhD (Engineering) thesis abstr.]. Arhangel'sk, 2017, 20 p. (in Russian).

8. Stepanov V.I., Mezin N.A. (2012) *Otkhody lesnoy promyshlennosti i ikh ispol'zovanie v natsional'nom khozyaystve* [Waste of forest industry and their use in the national economy]. *Vestnik Rossiyskogo Ekonomicheskogo Universiteta im. G.V. Plekhanova* [Bulletin of The Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov], no. 3 (45), pp. 83-88 (in Russian).

9. Sevast'yanova S.N. (2009) *Bioenergetika. Drevesnye (toplivnye) granuly* [Bioenergetics. Wood (fuel) pellets]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], no. 10 (104), pp. 133-138 (in Russian).

10. Subbotin M.Yu. (2014) *Obosnovanie konstruktivnykh parametrov barabannykh sushilok fiziko-mekhanicheskimi svoystvami sypuchikh materialov* [Substantiation of design parameters of drum dryers by physical and mechanical properties of bulk materials]. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)* [Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. 12, pp. 218-223 (in Russian).

11. Sukhanov V.S. (2010) *Rol' bioenergetiki v povyshenii effektivnosti lesopromyshlennogo kompleksa* [The role of bioenergy in increasing the efficiency of the timber industry]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], no. 1, pp. 2-5 (in Russian).

12. Fedorenko I.Ya., Lobanov V.I., Sinogejkin A.V. (2007) *Povyshenie effektivnosti raboty barabannykh sushilok* [Improving the efficiency of drum dryers]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], no. 12 (38), pp. 46-48 (in Russian).

13. Hramov A.N., Subbotin M.Yu. (2014) *Povyshenie effektivnosti sushki sypuchih materialov za schet intensivifikatsii konvektivnogo teploobmena* [Increase of drying efficiency of bulk materials due to intensification of convective heat exchange]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], no. 6 (89), pp. 161-165 (in Russian).

14. Carle J. Holmgren P. (2008) Wood from planted forests: a global outlook 2005–2030. *Forest Products Journal*; 58(12): 6-18.

15. Gamborg C., Millar K., Shortall O., Sandoe P. (2012) Bioenergy and Land Use: Framing the Ethical Debate. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Vol. 25, Iss. 6, pp. 909-925.

16. Gokmenoglu K.K., Olasehinde-Williams G.O., Taspinar N. (2019) Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Deforestation. In: Shahbaz M., Balsalobre D. (eds) *Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization*. Green Energy and Technology. Springer. Cham., pp 61-83.

### Сведения об авторе

Сергеев Александр Георгиевич – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: office@ukdoza.com.

### Information about the author

Sergeev Aleksandr Georgievich – PhD (Engineering), CEO of Doza-agro LLC, Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: office@ukdoza.com.