

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА ПРОДУВКИ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА, РЕАЛИЗОВАННОГО В ИННОВАЦИОННОЙ СУШИЛЬНОЙ МАШИНЕ ДЛЯ ЛЬНОЗАВОДОВ

**Новиков Эдуард Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент Костромского государственного университета, заведующий лабораторией «Переработка лубяных культур»

**Алтухова Ирина Николаевна**, старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур»

**Безбабченко Александр Владиславович**, руководитель подразделения, старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур»

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства», 170041, г. Тверь, Комсомольский пр., д.17/56, e-mail: vniiml1@mail.ru., vniim44@mail.ru.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, льняная треста, льнозавод, конвективная сушка, агент сушки, скоростное поле, скорость и расход воздуха, равномерность.

Представлена конструктивно-технологическая схема инновационной энергосберегающей сушильной машины для льнозаводов и экспериментальная установка для ее исследования, проанализировано скоростное поле в сушильной камере установки при различных режимах продувки агента сушки, получены значения характеристик, которые следует использовать при проектировании и эксплуатации конвективных сушильных машин. Определены фактические скорости и расходы воздуха в сушильной камере при различной частоте вращения роторов циркуляционных вентиляторов в предлагаемой инновационной энергосберегающей конструктивно-технологической схеме конвективной сушильной машины, которые имеют незначительные различия в вершинах, комлях и в вершинах стеблей льна, что позволяет равномерно распределить скорости воздуха по длине и ширине сушильной камеры, а значит, будет обеспечено равномерное высушивание стеблей. Предлагаемая схема продувки стеблей льна-долгунца и конструктивно-технологическая схема сушильной машины позволяют при сравнительно небольшом расходе агента сушки обеспечить высокую его скорость не менее 6-7 м/с, что до настоящего времени не достигалось ни в одной разрабатываемой конструкции сушильной камеры. Полученные характеристики процесса конвективной сушки стеблей льна необходимо использовать как при проектировании, так и при эксплуатации инновационной сушильной машины.

### Введение

Льнокомплекс России имеет высокий потенциал и перспективы в области сельскохозяйственного производства и глубокой переработки [1], подчеркнул министр сельского хозяйства Российской Федерации 23 апреля 2018 года на совещании, посвященном развитию **льняного комплекса России**. Министр отметил стратегическую важность льняного комплекса для экономики ряда регионов, востребованность качественного льна на рынке [2]. В результате этого сегодня созданы предпосылки для возрождения российской льняной отрасли, а также предусмотрены значительные меры поддержки для ее динамичного развития.

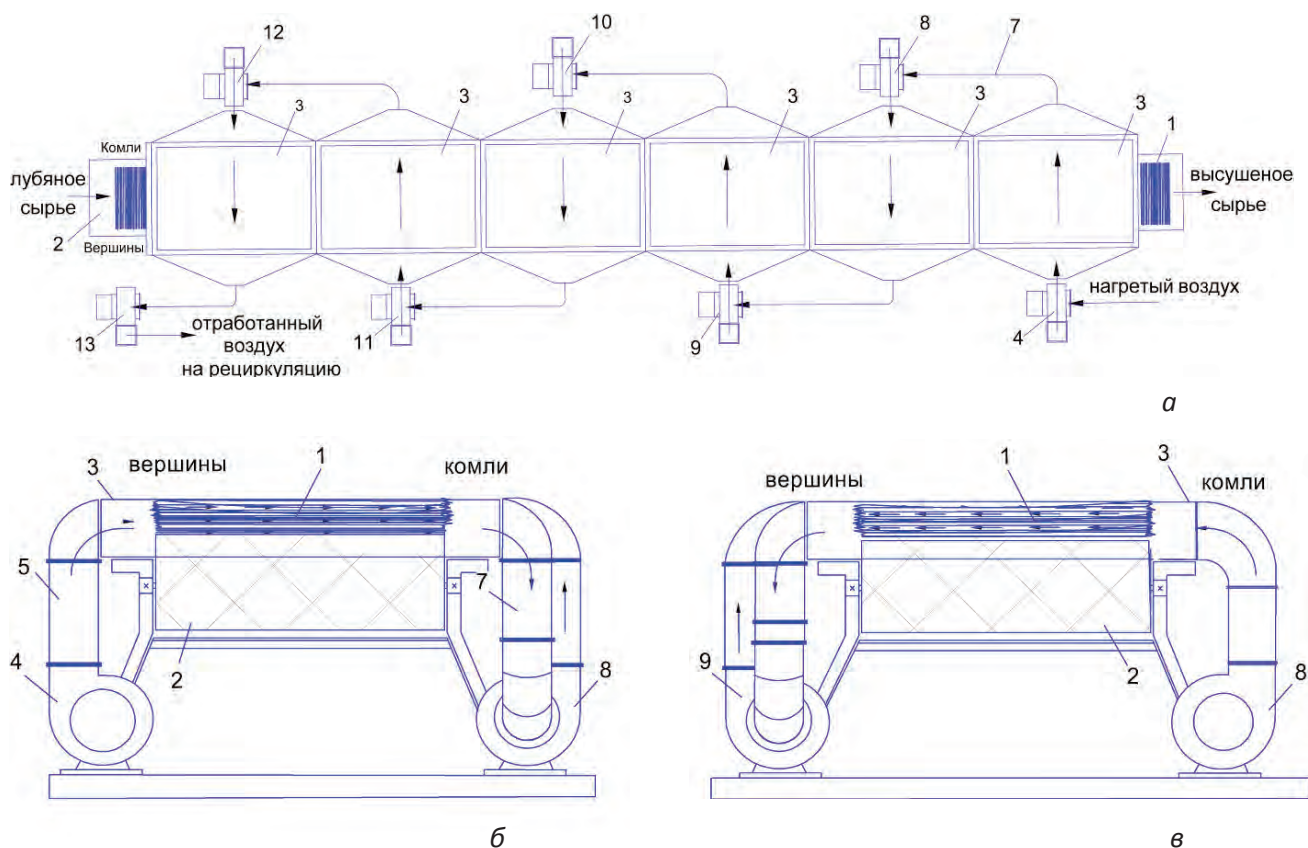
Известно, что современный льнозавод должен иметь инновационные технологии и машины для переработки льна, которые производят волокно при высокой производительности и низкой себестоимости. Качественное волокно невозможно получить без эффективных сушильных машин. Более пятидесяти лет льнозаводы России, Беларуси и Украины эксплуатируют конвейерные паровые сушильные машины для льнотресты СКП-9-7ЛМ и СКП-1-10ЛУ (ЛУ1) [3]. Известно [4], что эксплуатация этих машин экономически невыгодна, а, следовательно, их

применение нецелесообразно. На сегодняшний день отсутствуют эффективные сушильные машины для льнотресты, которые обеспечивали бы существенное снижение затрат тепловой и электрической энергии при высушивании льна и других лубяных культур до технологической влажности. Исследования в этом направлении [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] позволили предложить к внедрению новые энергосберегающие сушильные машины. Однако подробный анализ одной из предлагаемых к использованию сушильных машин [8, 9, 10] показал, что она не соответствует пяти из восьми современным обязательным условиям, сформулированным в работе [5], а именно:

1) время сушки при плотности загрузки стеблей горизонтально на сетку конвейера 3...3,5 кг/м при 30...14 % не должно превышать 2...2,5 мин – не соответствует;

2) максимальное использование теплового потенциала агента сушки, то есть перепад температуры поступающего в сушильную машину агента сушки и удаляемого из машины (из сушильной камеры) воздуха должен находиться в интервале 30...40 °С – не соответствует;

3) расход агента сушки не должен превышать 4500...5000 м<sup>3</sup>/ч, расход теплоты на сушку



**Рис. 1 - Конструктивно-технологическая схема энергосберегающей машины для сушки льносырья в конвективном потоке теплоносителя:**

*а – вид сверху; б – поперечный разрез секции с движением агента сушки от вершин к комлям; в – поперечный разрез секции с движением агента сушки от комлей к вершинам: 1 – льносырье; 2 – транспортер; 3 – отдельные сушильные секции; 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13 – вентиляторы; 5, 6 – воздуховоды*

не более 150...200 кВт – не соответствует;

4) скорость входа воздуха в материал должна быть максимальная и обеспечивать турбулентный процесс продувки («эффект фена») – подачу теплоты точно в заданную область, не допуская осевого перемещения стеблей к боковым стенкам сушильной камеры – не соответствует;

5) иметь реверсивную продувку слоя при использовании режимов всасывания воздуха и нагнетания в материал – соответствует;

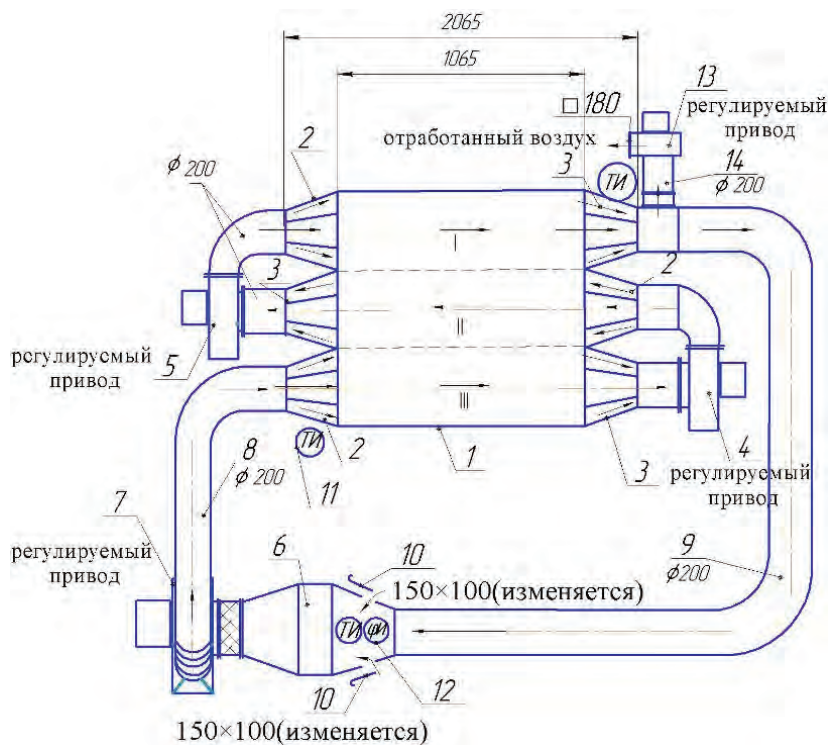
6) возможность существенного и оперативного регулирования воздушных потоков в сушильной камере (скорости, расхода и температуры воздуха, степени его рециркуляции), а также изменение способа сушки (если машина имеет комбинированный способ сушки) – обеспечение регулирования режимов сушки в зависимости от начальной влажности стеблей – не соответствует;

7) противоточное движение нагретого воздуха и материала в сушильной камере – соответствует;

8) минимальные расстояния, на которые перемещается воздух внутри и снаружи сушильной камеры, обеспечивающие минимальные потери динамического давления в циркуляционной системе – соответствует.

Исходя из этого, эффективность использования схем [8, 9, 10] является сомнительной. По результатам ранее проведенных исследований разработана более эффективная конструктивно-технологическая схема сушильной машины (рис. 1), которая может отвечать указанным выше обязательным условиям [5].

Исследования данной схемы в работах [4, 13] на экспериментальной установке, представленной на рис. 2а, 2б, 2в, показали, что внутри сушильной камеры скорости воздуха в комлях, серединах и вершинах стеблей более выровнены. При этом процесс продувки агента сушки вдоль слоя стеблей является самым динамичным из всех ранее разработанных установок [6, 7, 11, 12] и обеспечивает рациональное регулирование воздушных потоков в камере и эффективное их направление в стебли льна.



а



б



в

**Рис. 2 - Экспериментальная установка для сушки льнотресты [4, 13]:**

а – конструктивно-технологическая схема (вид сверху); б – общий вид сушильной камеры внутри; в – вид со стороны циркуляционных вентиляторов и подающих воздуховодов: I, II и III – условные секции сушки; 1 – сушильная камера; 2 – воздухораспределитель; 3 – воздухосборник; 4 – вентилятор всасывающий I-ой секции, он же нагнетающий для II-й секции; 5 – вентилятор всасывающий II-й секции ВР-140-40-3,15, он же нагнетающий для III-й секции; 6 – воздушонагреватель (три калорифера); 7 – основной нагнетающий вентилятор; 8 – подающий воздуховод; 9 – воздуховод для подачи отработанного воздуха на рециркуляцию; 10 – ревизии камеры смешивания; 11 – термометр; 12 – прибор для измерения относительной влажности воздуха; 13 – вентилятор для удаления отработанного воздуха из сушильной камеры; 14 – воздуховод для удаления отработанного воздуха

Однако исследования в работах [4, 13] проведены при максимальных частотах вращения циркуляционных вентиляторов (рис. 2, поз. 4, 5, 7). Это приводило к повышению скоростей воздушных потоков, которые сдували стебли к боковым поверхностям камеры, что допускать нельзя (рис. 3, сдвиги стеблей обозначены белыми овалами).

Стебли льна при плотности укладки 3 кг/м<sup>2</sup> сдвинулись в направлении движения потока от нагнетания к всасыванию, что недопустимо. Поэтому в работах [3, 13] делается вывод о необходимости продолжения исследований представленной конструктивно-технологической схемы машины для определения рациональных параметров и режимов сушки, а также доведения скорости продувки стеблей до рекомендованных или рациональных значений, например, до 8,6 м/с [12].

Представленная работа является продолже-

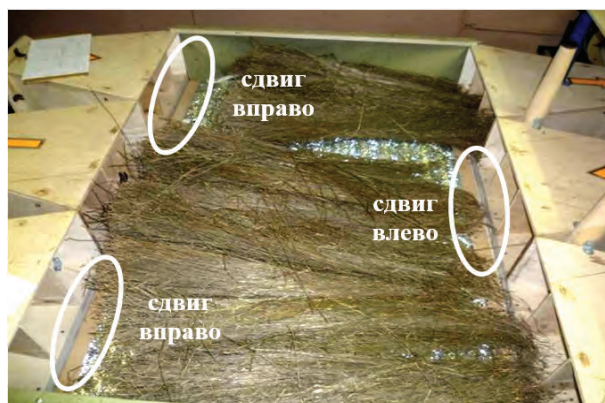


Рис. 3 - Смещение слоя льнотресты в процессе сушки к боковым поверхностям сушильной камеры в новой экспериментальной установке

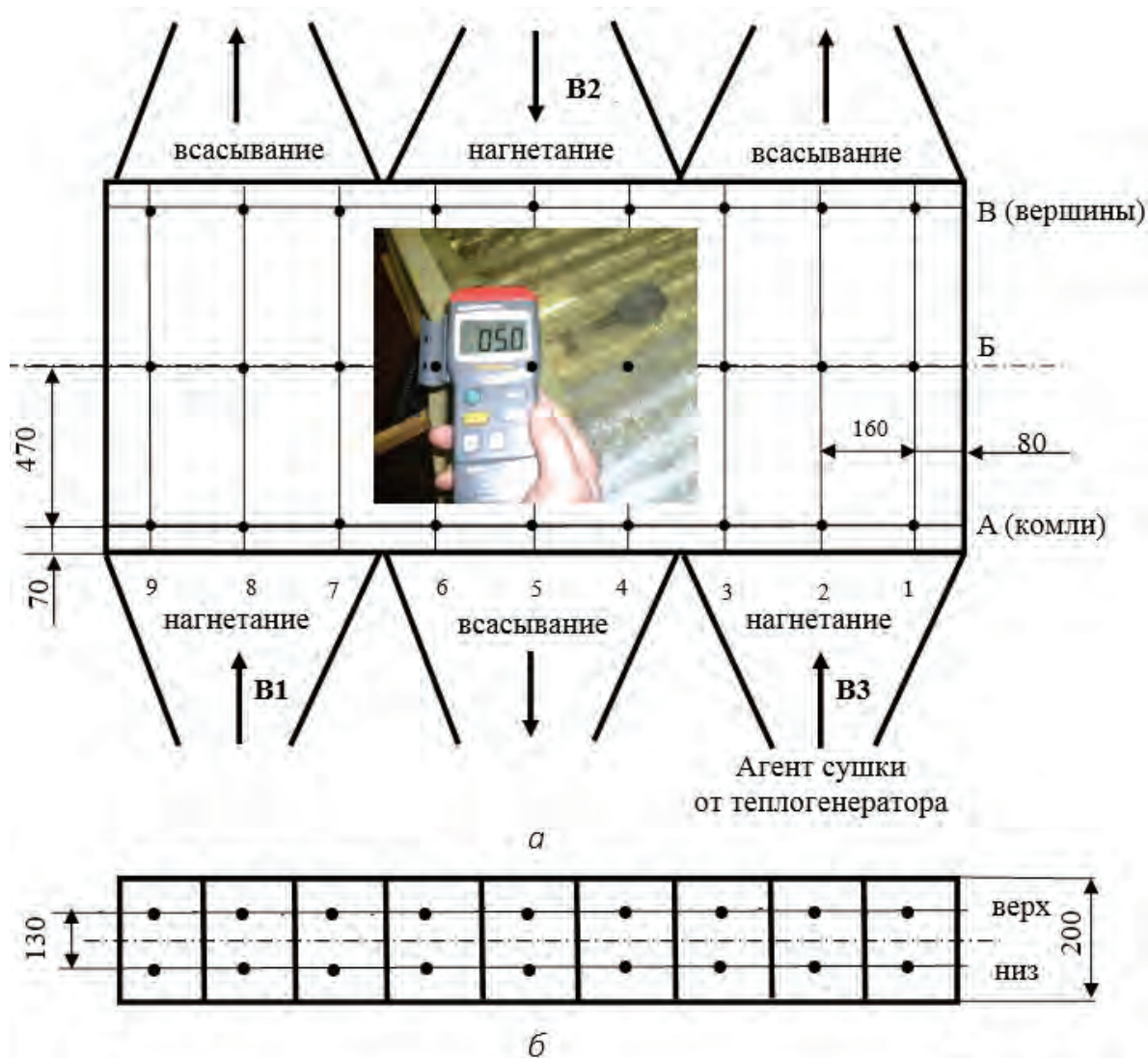
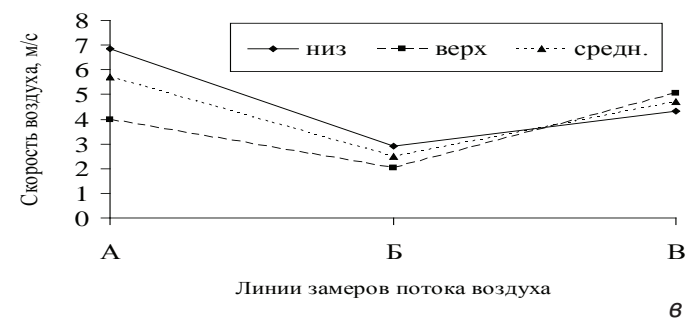
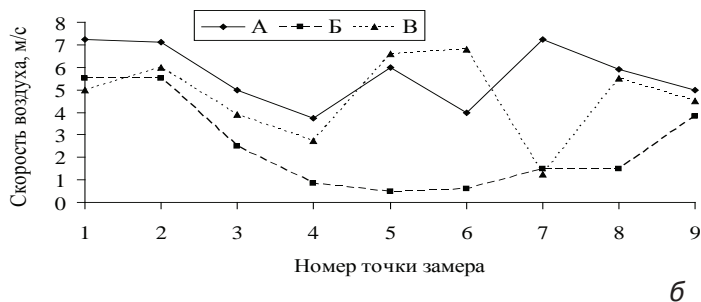
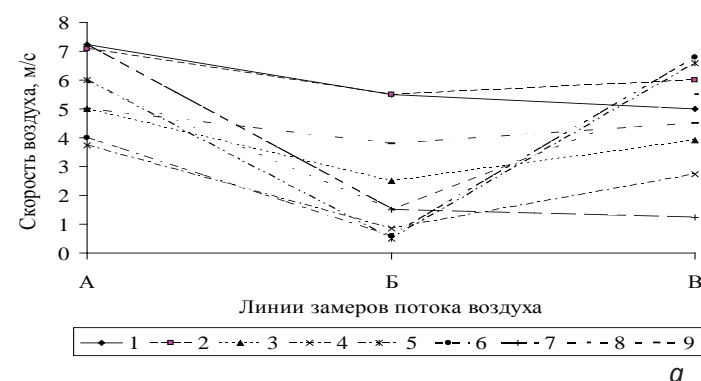


Рис. 4 - Расположение и обозначение точек замера при снятии скоростных полей:  
а – вид сверху; б – вид со стороны входа материала

Таблица

**Режимы работы циркуляционных вентиляторов в экспериментальной сушильной установке при исследовании скоростного поля в камере – режимы продувки**

Наименование характеристики	Порядковый номер и марка вентилятора (по рис. 4)				Расход воздуха, поступающего в сушильную камеру, м <sup>3</sup> /ч
	В1	В2	В3	В4 (на рис. не показан)	
	ВР-140-40-3,15 (циркуляционный)	ВЦ-4-70-3,15 (циркуляционный)	ВЦ-4-15-4 (для подачи воздуха и циркуляционный)	ВЦ-4-70-2,5 (для удаления воздуха)	
Режим № 1					
Частота вращения ротора вентилятора (ЧВРВ), мин <sup>-1</sup>	950	1800	900	2800	1300
Режим № 2					
ЧВРВ, мин <sup>-1</sup>	1100	1950	1050	2800	1600
Режим № 3					
ЧВРВ, мин <sup>-1</sup>	1250	2100	1200	2800	1900
Режим № 4					
ЧВРВ, мин <sup>-1</sup>	1400	2250	1350	2800	2200
Режим № 5					
ЧВРВ, мин <sup>-1</sup>	1550	2400	1500	2800	2500



**Рис. 5 - Среднее скоростное поле внутри сушильной камеры при режиме продувки 5: а – по ширине камеры; б – по длине камеры (по окнам воздухораспределителей и воздухоборников); в – средние скорости по ширине камеры (длине стеблей)**

нием ранее проведенных исследований [13], поэтому в ней использовали одинаковые методики экспериментов, приборы и экспериментальную установку.

Цель работы - определение рациональных скоростей и расходов агента сушки в сушильной камере путем изучения скоростного поля в ней при различных частотах вращения циркуляционных вентиляторов (рис. 2. поз. 4, 5 и 7), а также исключение перемещения стеблей льна к боковым поверхностям камеры.

Как и в ранее проведенных исследованиях [13], сушильная камера по ширине была разделена на линии А, Б и В, а по длине - на точки 1 - 9 (рис. 4а), по высоте – на нижние и верхние точки (рис. 4б).

В итоге определены 54 точки, в которых проводили замеры фактических скоростей движения воздуха электронным анемометром Mastech при различных частотах вращения роторов циркуляционных вентиляторов (таблица) и без стеблей льна в камере.

Ревизии камеры смешивания (рис. 2) были наполовину закрыты, при этом их сечения составляли 75×100 мм.

Результаты снятия скоростного поля при различных режимах 5 представлены на рис. 5, 6.

Проанализировав зависимости, представленные на рис. 5 и 6, можно отметить следующее:

– характер изменения скоростей по длине и ширине сушильной камеры, т.е. по длине стеблей и ширине слоя соответственно при всех режимах продувки одинаковый, поэтому на рис. 5 представлено только скорост-

ное поле для последнего режима № 5;

– всем режимам продувки характерно снижение скорости воздуха в средней части слоя (в середине стеблей) в среднем в 1,5...2 раза (рис. 5а);

– средняя скорость воздуха в нижней части камеры на линии А в 1,5...2 раза больше скорости воздуха в верхней части камеры, а на линии Б (в середине слоя) и на линии В (в вершинной части) различия в скоростях минимальные (рис. 5б);

– средние скорости воздуха в комлях и вершинах различаются незначительно, в среднем - не более чем в 1,5 раза (рис. 5б), что значительно меньше, чем в установках [6, 7, 11, 12], у которых это различие достигает 5 раз;

– увеличение частоты вращения роторов циркуляционных вентиляторов на  $150 \text{ мин}^{-1}$  увеличивает расход воздуха на  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а скорость воздуха, поступающего в стебли, в среднем на  $0,5 \text{ м/с}$ . Максимальная скорость воздуха (примерно в  $5,7 \text{ м/с}$ ) имеет место при режиме № 5 (рис. 6);

– максимальная скорость воздуха в отдельных точках составляет  $7,3 \text{ м/с}$  (рис. 5а, б), но на всех исследуемых режимах она не превысила рекомендованную скорость, указанную в исследованиях [12] ( $8,6 \text{ м/с}$ ), поэтому для стеблей льна эффективней применять продувку воздухом по режиму № 5 (табл.);

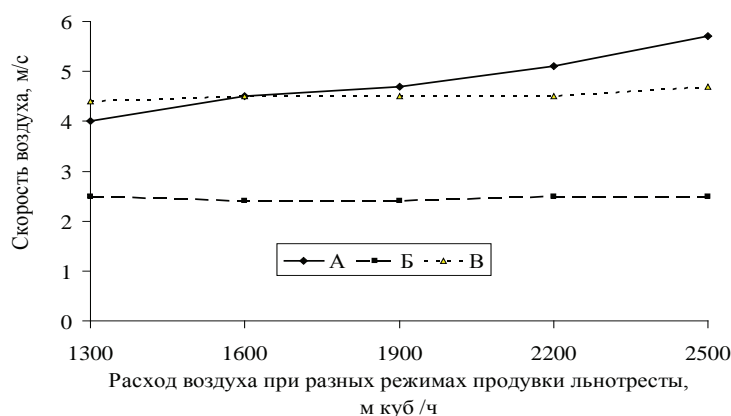
– сдвиг слоя стеблей льна, как показано на рис. 3, на исследуемых в работе режимах продувки отсутствовал.

Статистический анализ экспериментальных значений скоростей воздуха в сушильной камере показал незначимость их различий в точках каждой линии А, Б и В (рис. 4б), так и в верхних и нижних точках линий (рис. 4б) при каждом конкретном режиме, что доказывает эффективность представленного способа продувки стеблей льна-долгунца и, как следствие - наибольшую равномерность их сушки.

### Выводы

Определение скоростных полей воздуха в сушильной камере при различной частоте вращения роторов циркуляционных вентиляторов позволило уточнить рациональные расходы воздуха и показало, что предлагаемая схема продувки стеблей льна-долгунца имеет незначительные различия по средней скорости агента сушки в комлях, серединах и вершинах стеблей, что позволяет равномерно распределить скорости воздуха по длине и ширине камеры, следовательно, обеспечить равномерное высушивание стеблей.

Предлагаемая схема продувки стеблей льна



**Рис. 6 - Среднее скоростное поле внутри сушильной камеры при различных по расходу воздуха режимах продувки: 1 режим –  $1300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 2 режим –  $1600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 3 режим –  $1900 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 4 режим –  $2200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 5 режим –  $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$**

и конструкция сушильной машины позволяют при сравнительно небольшом расходе агента сушки обеспечить его скорость не менее  $7,3 \text{ м/с}$ , которая не достигается в сушильных камерах существующих машин. При этом расход воздуха следует поддерживать не менее  $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Существенное снижение расхода агента сушки по сравнению с существующими машинами, в которых расход составляет  $12000...25000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , позволяет до 5 раз снизить затраты теплоты на нагрев агента сушки.

### Библиографический список

1. Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур / Р.А. Ростовцев, Е.М. Пучков, И.В. Ушаповский, А.В. Галкин, В.Ю. Романенко // Стратегия национальной сырьевой безопасности России. Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 3-14.
2. <https://www.rosflaxhemp.ru/news.html/id/2289>.
3. Справочник по заводской первичной обработке льна / под. общ. ред. В.Н. Храмцова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 512 с.
4. Изучение перспективного способа сушки льносырья / Э.В. Новиков, А.В. Безбабченко, Т.П. Чекренева, Д.М. Шевалдин // Инновации в сельском хозяйстве. -2016. – № 3 (18).– С. 334-340.
5. Новиков, Э.В. О сушильных машинах льнозаводов и эффективные концептуальные условия их разработки для лубяных культур / Э.В. Новиков, А.В. Безбабченко, В.А. Романов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии. Материалы Международной научно-технической конференции. - Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. - Том 1. – С. 89-93.

6. Васильев, Ю.В. Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты: дис. ... канд. технических наук: / Ю.В. Васильев. – Кострома, 2013. – 145 с.

7. Технологические модули для сушки льносырья / А.В. Безбабченко, Т.П. Чекренева, Э.В. Новиков, В.В. Коновалов // Инновационные разработки для производства льна. Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – С. 208-215.

8. Пат. 2518797 Российская Федерация, МПК F 26 В 17/04 С1. Установка для сушки лубяного сырья / Коновалов В.В., Коновалов Р.В., Новиков Э.В., Ковалев М.М., Круглий И.И., Безбабченко А.В. – № 201249304/06; заявл. 19.11.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. – 6 с.

9. Пашин, Е.Л. Создание опытного образца сушильной машины для тресты льна и отходов его трепания / Е.Л. Пашин, Н.В. Киселев // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур. Материалы Международной научно-практической конференции. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. – С. 266-270.

10. Сушильная машина для льняной тресты и отходов трепания [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: [http:// termoteks.ru/products/sushilnaja-mashina](http://termoteks.ru/products/sushilnaja-mashina).

11. Пашин, Е.Л. Создание новой сушильной машины для тресты льна и отходов трепания / Е.Л. Пашин, М.С. Енин // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур. Материалы Международной научно-практической конференции. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 309-312.

12. Новиков, Э.В. Что нужно знать об изменении параметров воздуха при сушке льняной тресты / Э.В. Новиков // Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий для экономики региона (Лен 2010). Материалы Международной научно-технической конференции. – Кострома: КГТУ, 2010. – С. 16-18.

13. Новиков, Э.В. Исследование перспективного способа льнотресты с целью разработки сушильной машины для льнозаводов / Э.В. Новиков, И.Н. Алтухова, А.В. Безбабченко // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур. Материалы Международной научно-практической конференции. – Тверь: Твер. гос. ун-т; 2017. – С. 298-309.

## RESEARCH OF PERSPECTIVE METHOD OF BLOWING LINEN FLAX STEMS, IMPLEMENTED IN AN INNOVATIVE DRYING MACHINE FOR FLAX-FIBER PROCESSING PLANTS

Novikov E. V., Altukhova I.N., Bezbabchenko A.V.

FSBSI "All-Russian Scientific Research Institute of Flax Breeding Mechanization",  
170041, Tver, Komsomolsky Ave., 17/56, e-mail: [vniim1@mail.ru](mailto:vniim1@mail.ru), [Vniim44@mail.ru](mailto:Vniim44@mail.ru).

*Keywords:* linen flax, flax trust, flax-fiber processing plants, convective drying, drying agent, speed field, speed and air flow, uniformity.

A constructive-technological scheme of an innovative energy-saving drying machine for flax plants and an experimental installation for its research is presented, the velocity field in the drying chamber of the installation is analyzed for various blowing modes, parameters that should be used in the design and operation of convective drying machines are obtained. The actual speeds and air flow rates in the drying chamber are determined at different rotational speeds of the circulation fan rotors in the proposed innovative energy-saving design and technological scheme of a convective drying machine, which have slight differences of the tops, stem bases and flax tops, it allows the air velocities to be evenly distributed along the length and the width of the drying chamber, which means that the stems will be uniformly dried. The proposed scheme for blowing the stalks of flax and the design-technological scheme of the drying machine allows, with a relatively small consumption of the drying agent, to ensure its high speed of at least 6-7 m/s, which has not been achieved until now in any design of the drying chamber. The obtained characteristics of the process of convective drying of flax stems must be used both in the design and operation of an innovative drying machine.

### Bibliography

1. Innovative development for the production and processing of bast-fiber crops / R.A. Rostovtsev, E.M. Puchkov, I.V. Ushchapovsky, A.V. Galkin, V.Yu. Romanenko // Strategy of national raw material security of Russia. Materials of the international scientific and practical conference All-Russian Research Institute for the Mechanization of Flax. - Tver: Tver State University, 2017. - P. 3-14.
2. <https://www.rosflaxhemp.ru/news.html/id/2289>.
3. Reference book on factory primary processing of flax / edited by V.N. Khramtsov. - M.: Light and food industry, 1984. - 512 p.
4. The study of a prospective method of drying flax raw materials / E.V. Novikov, A.V. Bezbabchenko, T.P. Chekreneva, D.M. Shevaldin // Innovations in agriculture. -2016. - № 3 (18). –P. 334-340.
5. Novikov, E.V. About drying machines and effective conceptual conditions for their development for bast crops / E.V. Novikov, A.V. Bezbabchenko, V.A. Romanov // Scientific and technical progress in agricultural production. Agrarian science - agricultural production of Siberia, Kazakhstan, Mongolia, Belarus and Bulgaria. Materials of the International Scientific and Technical Conference. - Minsk: Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Agricultural Mechanization, 2016. - Volume 1. - P. 89-93.
6. Vasilyev, Yuri Vitalyevich. Improvement of technology and equipment for drying straw linen trusts: dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.02.13, 05.19.02 / Yu.V. Vasilyev. - Kostroma, 2013. - 145 p.
7. Technological modules for drying flax raw materials / A.V. Bezbabchenko, T.P. Chekreneva, E.V. Novikov, V.V. Kononov // Innovative development for flax production. Materials of the International Scientific and Practical Conference All-Russian Research Institute for the Mechanization of Flax. - Tver: Tver state University Press, 2015. - P. 208-215.
8. Pat. 2518797 Russian Federation, IPC F 26 B 17/04 C1. Installation for drying bast raw materials / Kononov V.V., Kononov R.V., Novikov E.V., Kovalev M.M., Kруглий I.I., Bezbabchenko A.V. - № 201249304/06; appl. 19.11.2012; publ. 10.06.2014, Bul. № 16. - 6 p.
9. Pashin, E.L. Development of a prototype of a drying machine for flax trusts and its scrap wastes / E.L. Pashin, N.V. Kiselev // Innovative development of production and processing of bast crops. Materials of the International scientific-practical conference. - Tver: Tver state University, 2016. - P. 266-270.
10. Drying machine for flax trusts and scraping [Electronic resource]. - Access mode: [http:// termoteks.ru/products/sushilnaja-mashina](http://termoteks.ru/products/sushilnaja-mashina).
11. Pashin, E.L. Creation of a new drying machine for flax trusts and scraping waste / E.L. Pashin, M.S. Enin // Innovative developments for production and processing of bast crops. Materials of the International scientific-practical conference. - Tver: Tver state University, 2017. - P. 309-312.
12. Novikov, E.V. What you need to know about the change in air parameters when drying flax trusts / E.V. Novikov // Current problems of science in the development of innovative technologies for the region economy (Len 2010). Materials of the International Scientific and Technical Conference. - Kostroma: KSTU, 2010. - P. 16-18.
13. Novikov, E.V. Study of a promising flax process in order to develop a drying machine for flax plants / E.V. Novikov, I.N. Altukhova, A.V. Bezbabchenko // Innovative developments for the production and processing of bast crops. Materials of the International scientific-practical conference. - Tver: Tver state University; 2017. - P. 298-309.