

3. Василенко, П. М. О методике механико-математических изысканий при разработке сельскохозяйственной техники / П. М. Василенко // Бюллетень технической информации. – Москва: ГОСНИТИ, 1962. – 230 с.
4. Василенко, П. М. Введение в сельскохозяйственную механику / П. М. Василенко. – Киев: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.
5. Гячев, Л. В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / Л. В. Гячев. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1976. – 192 с.
6. Гячев, Л. В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / Л. В. Гячев. – Москва: Машиностроение, 1981. – 206 с.
7. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – Москва: КолосС, 2004. – 504 с.
8. Гуськов, А. В. Определение рационального коэффициента кинематического несоответствия и схемы привода ведущих мостов колесного трактора / А. В. Гуськов // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2008. – № 6. – С. 64–67.
9. Трепененков, И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов / И. И. Трепененков. – М.: Государственное науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1963. – 272 с.
10. Pădureanu, V. Theoretical research to improve traction performance of wheeled tractors by using supplementary driven axle / V. Pădureanu, M. I. Lupu, C. M. Canja. – Proceedings of 5th International Conference «Computational Mechanics and Virtual Engineering» COMEC 2013, Brasov, Romania, 24-25 October, 2013. – Pp. 410–415.
11. Фаробин, А. Я. Теория поворота транспортных машин / А. Я. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 174 с.
12. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – М.: Колос, 1980. – 671 с.

УДК 677.027.

Поступила в редакцию 04.10.2018

Received 04.10.2018

Э. В. Новиков^{1,2}, А. В. Безбабченко¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства» (ФГБНУ ВНИИМЛ)
г. Тверь, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Костромской государственный университет» (ФГБОУ ВО «КТУ»)
г. Кострома, Российская Федерация
e-mail: edikl@kmtn.ru; vniiml44@mail.ru

СОСТОЯНИЕ И КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СУШИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР И ВОЛОКНА ИЗ НИХ

Проанализировано существующее состояние сушильных машин на льнозаводах, представлены концептуальные положения их разработки в современных условиях, поставлены задачи, которые должны быть реализованы при разработке и проектировании энергосберегающих сушильных машин для лубяных культур.

Ключевые слова: сушка, сушильное оборудование, лен-долгунец, масличный лен, промышленная конопля, волокно, агент сушки, характеристики.

E. V. Novikov^{1,2}, A. V. Bezbabchenko¹

¹The Federal State Budgetary Scientific Institution
«All-Russia Research and Development Institute of Flax Growing Mechanization»
Tver, Russian Federation

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State University»
Kostroma, Russian Federation
e-mail: edikl@kmtn.ru; vniiml44@mail.ru

CONDITION AND CONCEPT OF DEVELOPMENT OF DRYING MACHINES FOR BAST CROPS AND FIBER FROM THEM

The existing condition of drying machines on flax-mills is analyzed, conceptual provisions of their development in modern conditions are presented, tasks which have to be realized at development and design of energy saving drying machines for bast crops are set.

Keywords: drying, drying equipment, flax, oil flax, industrial hemp, fiber, drying agent, characteristics.

Введение

Подсушка лубяных культур (льна-долгунца, льна масличного, технической конопли) до технологической влажности в линиях производства длинного, короткого и однотипного волокна является выжнейшей операцией. Например, их первичная переработка с повышенной влажностью не позволяет получить длинное и короткое волокно с нормируемой и даже с допустимой массовой долей костры, также повышаются простои оборудования, понижается производительность мяльно-трепальных и куделеприготовительных агрегатов. Если не удастся достичь требуемого содержания костры, волокно пропускают через агрегаты второй раз, в результате повышается себестоимость, снижаются прочность и выход волокна. Это подтверждается практикой переработки льнотресты на льнозаводах Ярославской, Смоленской, Тверской, Костромской и Омской областей, Республики Удмуртия, Казахстана и других регионов. Опыт льнозаводов, крестьянских и фермерских хозяйств данных регионов указывает на важность этого процесса, так как без подсушки льнотресты, независимо от того, на какой линии первичной переработки она перерабатывалась (на длинное и короткое волокно или на однотипное волокно), существенно повышается процент недоработки волокна.

Основная часть

Проблема сушки льна поднималась ранее в исследованиях [1, 2 и др.]. В них отмечено, что установленные на льнозаводах России, Беларуси и Украины конвейерные паровые сушильные машины марок СКП-9-7ЛМ, СКП-1-10ЛУ, СКП-1-10ЛУ1 и СКП-8-12П для льнотресты и промышленной конопли не обеспечивают равномерной влажности стеблей по длине и толщине слоя, обладают недопустимо высокой в современных условиях энергоемкостью (электрическая мощность – более 40 кВт, тепловая мощность – 350–450 кВт), энергозатраты на их эксплуатацию достигают 40 % от всех затрат на получение волокна. Главным образом по этой причине данные машины практически не применяются на льнозаводах России и Украины.

Заслуживает внимания модернизированная в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» сушильная машина марки СКП-1-10ЛУ1, названная МСТ-2 [3]. В результате удалось снизить электрическую мощность двигателей на 30–35 % и тепловую мощность за счет сопротивления воздуха и увеличения процесса теплообмена между паром и воздухом в калориферах, однако большие габаритные размеры машины, ее привязка к паровой котельной не были исключены, цена машины осталась высокой.

Реконструкция же сушильных машин СКП-1-10ЛУ(ЛУ1) на льнозаводах России с применением воздушных теплогенераторов различной мощности и длинных раздаточных воздухопроводов не позволила эффективно проводить сушку стеблей льна-долгунца из-за недостаточного расхода агента сушки, подаваемого в льнотресту, низкой его скорости продувки и невозможности перекрыть всю длину и ширину транспортера с льнотрестой [2]. Кроме того, такая малоэффективная реконструкция машин достаточно дорогостоящая.

Анализ вышесказанного позволил в работе [4] впервые сформулировать концептуальные условия процесса сушки лубяных культур, которые должны быть реализованы при разработке современных сушильных машин (таблица 1). Например, рассмотрение схемы сушки из [1] и сушильной машины для льнотресты производства ООО «Новотекс» [5, 6], в которой реализована эта схема, показало, что она не соответствует пяти из восьми концептуальных условий (см. таблицу 1).

Исходя из приведенных данных, эффективность использования сушильной машины [5, 6] является сомнительной. Ее опытный образец с 2017 года эксплуатируется на льнозаводе в Смоленской области, однако предприятие-изготовитель представило лишь некоторые характеристики этой сушильной машины [5]: имеет три модуля общей длиной 15 м, их ширина составляет 2,2 м, высота – 1,5 м, расходует 2500 кДж на 1 кг удаляемой влаги, что примерно почти в 2 раза меньше, чем у применяемых на практике сушильных машин, имеет массу около 2,5 тонн, мощность электропривода транспортера – 4 кВт. К сожалению, в таблице 1 представлены сравнительные значения характеристик машины, полученные в лабораторных условиях, так как в настоящее время

Таблица 1. – Соответствие сушильной машины производства ООО «Новотекс» концептуальным условиям при разработке современных машин для лубяных культур

Концептуальный параметр	Значение / формулировка параметра		Соответствие
	должно(а) быть	фактически	
1. Время сушки при плотности загрузки стеблей горизонтально на конвейер 3,0–3,5 кг/м, от влажности 30 % до 14 %	не более 2,0–3,0 мин	4,0–6,0 мин*	не соответствует
2. Перепад температуры агента сушки и удаляемого (отработанного) из машины воздуха	30–40 °С	до 20 °С*	не соответствует
3. Расход агента сушки и расход тепла на сушку	не более 5000 м ³ /ч и не более 200 кВт	не менее 12000 м ³ /ч* и 100 кВт**	не соответствует и соответствует
4. Скорость входа воздуха в льнотресту	максимальная, обеспечивающая турбулентное движение агента сушки 7–9 м/с, подача тепла точно в заданную область, с примерно одинаковой скоростью продувки комлей, средин и вершин	до 3–4 м/с*	не соответствует
5. Реверсивная продувка слоя льнотресты	использование режимов всасывания воздуха и нагнетания в материал	присутствует	соответствует
6. Оперативное регулирование воздушных потоков в сушильной камере	скорости, расхода и температуры воздуха, степени рециркуляции в зависимости от начальной влажности стеблей	отсутствует	не соответствует
7. Противоточное движение нагретого воздуха и льнотресты в сушильной камере	должно быть	присутствует	соответствует
8. Минимальные расстояния, на которые должен перемещаться воздух внутри и снаружи сушильной камеры	должны быть	присутствует	соответствует
* По результатам собственных сравнительных исследований в лабораторных условиях.			
** Получен расчетным путем по данным сайта, фактические данные отсутствуют.			

предприятие-изготовитель не опубликовало такие фактические характеристики машины, как производительность по загружаемой и выгружаемой тресте, температуру и расход агента сушки, фактическую тепловую мощность машины, затраты тепла на нагрев агента сушки, влажность льнотресты на входе и выходе из машины, которые реально могли бы указывать на энергосберегающий эффект машины и на то, что она может сушить не только льнотресту, но и отходы трепания. Сушка последних требует совершенно другого подхода. Если рассчитать расход тепла на нагрев агента сушки для машины производства ООО «Новотекс», то для того чтобы этот расход был не более 5000 м³/ч (в соответствии с таблицей 1, п. 3), машина должна потреблять в 2,4 раза больше тепловой энергии, так как имеет расход примерно 12000 м³/ч. Следует заметить, что такая конструкция машины при меньшем расходе воздуха не будет эффективной.

Конечно, существуют и другие схемы сушки льнотресты, но они в настоящее время находятся в стадии лабораторных исследований. Однако российские организации, занимающиеся разработкой технологического оборудования для первичной и глубокой переработки льна, ФГБНУ ВНИИМЛ (г. Тверь), ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет» (г. Кострома) активно проводят исследования в этом направлении. Их исследования [7–10] на экспериментальной сушильной установке, максимально приближенной к реальной машине, показали, что вновь предлагаемая к изготовлению сушильная машина соответствует концептуальным условиям, представленным в таблице 1, и исключает недостатки машины производства ООО «Новотекс». В 2018 году совместно с Министерством сельского хозяйства Российской Федерации и Смоленской сельскохозяйственной академией запланировано изготовление ее опытного образца.

По нашему мнению, следует сформулировать первоочередные задачи, которые должны быть реализованы при разработке и проектировании энергосберегающих сушильных машин для лубяных культур.

Важность процесса сушки не ограничивается технологией первичной переработки льно-тресты льна-долгунца. Например, значимость отечественного масличного льна как пищевого и натурального волокнистого сырьевого ресурса ежегодно повышается, что указывает на перспективность ассортимента получаемых из него продуктов и изделий [11]. Технология производства волокна из масличного льна, так же как из льна-долгунца, требует подсушки сырья, что делает актуальной разработку специальной сушильной машины для него.

Кроме того, в линиях короткого льноволокна установлены сушильные машины СКП-10КУ и СКП-10КУ1, которые морально и физически устарели, имеют такие же недостатки, как и машины СКП-1-10ЛУ и СКП-1-10ЛУ1. Для подсушки отходов трепания до технологической влажности необходима энергосберегающая машина, а, как отмечалось выше, сушка отходов трепания требует иного подхода.

Сушка не ограничивается только линиями первичной переработки льна. При производстве льнокотонина также требуется технологическая влажность короткого волокна, которая, как показывают исследования последних лет, является завышенной (ненормируемой) из-за отсутствия эффективных сушильных машин для волокна на большинстве льнозаводов России, поэтому для его подсушки необходима инновационная сушильная машина.

Очевидна необходимость разработки сушильной машины для промышленной конопли взамен машины СКП-8-12П, в том числе для конопли, убираемой зерновым комбайном, – в настоящее время этот вид сырья составляет 2/3 урожая всей промышленной конопли.

Заключение

Существующее российское сушильное оборудование для подсушки льно- и пенькосырья, волокна из них морально и физически устарело или вовсе отсутствует на льнопенькозаводах, а новые перспективные конструкции машин находятся в стадии изготовления опытных образцов и подготовки их к испытанию.

Литература

1. Новиков, Э. В. О состоянии сушки на льнозаводах и энергосберегающая сушильная машина / Э. В. Новиков, В. В. Коновалов // Электронный журнал «Научный вестник Костромского гос. технолог. ун-та». [Электронный ресурс] / Костромс. госуд. технолог. ун-т. – 2013. – № 1. – 8 с. – Режим доступа: <http://vestnik.kstu.edu.ru>. – Дата доступа: 12.06.2018.
2. Новиков, Э. В. Анализ реконструкций сушильных машин СКП-1-10ЛУ и СКП-1-10ЛУ1 на льнозаводах / Э. В. Новиков, И. А. Шемякин // Электронный журнал «Научный вестник Костромского гос. технолог. ун-та» [Электронный ресурс] / Костромс. госуд. технолог. ун-т. – 2016. – № 1. – 10 с. – Режим доступа: <http://vestnik.kstu.edu.ru>. – Дата доступа: 12.06.2018.
3. Изоитко, В. М. Направления развития научно-технического обеспечения отечественных льнозаводов / В. М. Изоитко, Н. Г. Винченко, А. Е. Лукомкий // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 19–21 окт. 2016 г. В 2 т. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. – Т. 1. – С. 130–133.
4. Новиков, Э. В. Сушильные машины льнозаводов и эффективные концептуальные условия их разработки для лубяных культур / Э. В. Новиков, А. В. Безбаченко, В. А. Романов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 19–21 окт. 2016 г. В 2 т. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. – Т. 1. – С. 89–93.
5. Сушильная машина для льняной тресты и отходов трепания // Группа компаний «Новотекс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://termoteks.ru/products/sushilnaja-mashina>. – Дата доступа: 12.06.2018.
6. 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. Междунар. науч.-практ. конф., г. Тверь, 18 мая 2017 г. / ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 309–312.
7. Способ сушки лубяного сырья: пат. 2535277 РФ, МПК F 26 В 17/04 C1 / В. В. Коновалов, Р. В. Коновалов, Э. В. Новиков; заявитель Костромс. госуд. технолог. ун-т. – № 2012152494/12; заявл. 05.12.2012; опубл. 10.12.2014. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2014. – № 34. – 7 с.: ил.

8. Установка для сушки лубяного сырья: пат. 2518797 РФ, МПК F 26 В 17/04 С1 / В. В. Коновалов, Р. В. Коновалов, Э. В. Новиков, М. М. Ковалев, И. И. Круглий, А. В. Безбабченко; заявитель ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии. – № 201249304/06; заявл. 19.11.2012; опубл. 10.06.2014. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – 2014. – № 16. – 6 с. : ил.

9. Изучение перспективного способа сушки льносырья / Э. В. Новиков [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве: теоретический и научно-практический журнал. По итогам 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», посвященной 115-летию со дня рождения видного ученого в области электрификации и механизации животноводства лауреата Государственной премии СССР и премии Совета Министров СССР, члена-корреспондента ВАСХНИЛ В. С. Краснова. – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. – № 3 (18). – С. 334–340.

10. Новиков, Э. В. Исследование перспективного способа сушки 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. Междунар. науч.-практ. конф., г. Тверь, 18 мая 2017 г. / ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 298–309.

11. Масличный лен как глобальный сырьевой ресурс для производства волокна / Э. В. Новиков [и др.] // Молочнохозяйственный вестник [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3 (27). – С. 187–203. – Режим доступа: <http://molochnoe.ru/journal>. – Дата доступа: 12.06.2018.

УДК 631.3, 519.876.5:631/635

Поступила в редакцию 22.08.2018
Received 22.08.2018

С. А. Антошук

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: santoshuk@rambler.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье дан краткий обзор возможностей метода дискретных элементов – численного метода моделирования поведения сыпучих, твердых, жидких сред. Метод может применяться для обоснования параметров проектируемых сельскохозяйственных машин, взаимодействующих с различными сыпучими сельскохозяйственными материалами.

Ключевые слова: метод дискретного элемента, сыпучие сельскохозяйственные материалы, численное моделирование.

S. A. Antoshuk

*The State Scientific Institution «The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: santoshuk@rambler.ru*

THE DISCRETE ELEMENT METHOD TO MODELLING AGRICULTURAL BULK MATERIAL BEHAVIOR

The article gives a brief review of the possibilities of discrete element method. The method can be used to determine the parameters of the projected agricultural machines interacting with various bulk agricultural materials.

Keywords: discrete element method, bulk agricultural materials, numerical simulation

Введение

Сыпучие материалы в сельском хозяйстве – один из самых распространенных типов рабочего сырья, и описание их поведения является важной задачей при проектировании сельскохозяйственных машин и линий – от конвейеров до зерносушильных комплексов. В настоящее время практически все используемые теории описывают сыпучие материалы методами сплошных