

УДК 677.021

РАЗРАБОТКА НОВОГО МЯЛЬНО - ТРЕПАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЛИННОГО ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА

Е. Л. Пашин

Костромской государственный технологический университет

Аннотация. В статье представлены результаты по обоснованию и разработке машин, входящих в состав мяльно-трепального агрегата (МТА) для получения трепаного льняного волокна как сырья для текстильной промышленности. Работа выполнена по заказу Минсельхоза РФ коллективом КГТУ совместно с Ивановским механическим заводом им. Г.К. Королёва. Основным отличием созданных машин является возможность переработки льняной тресты с повышенной вариацией её свойств за счет использования приёмов и рабочих органов, обеспечивающих дифференциацию воздействий по их количеству и интенсивности. Кроме этого, созданная техника адаптирована к возможному использованию систем управления режимами её работы.

Проблема стабильного обеспечения отечественной текстильной промышленности собственным сырьём является актуальной и согласуется с решениями руководства страны по импортозамещению [1] на основе развития собственной сырьевой базы [2, 3].

В настоящее время в России работает около 60 льнозаводов, производящих льняное волокно для текстильных предприятий. На них в основном работает оборудование, созданное до 1991 года, и ориентированное на переработку моченцовой тресты. Её свойства в отличие от стланцевой тресты являются более однородными.

Используемая в то время технология предусматривала сушку стеблей тресты до требуемой влажности (12-14%), что было возможно при значительных государственных дотациях на энергетические ресурсы. Данное обстоятельство и свойства моченцовой тресты позволяли использовать мяльно-трепальные агрегаты (МТА), состоящие из односекционной мяльной машины и двухсекционной трепальной. Они

обеспечивали малым числом технологических воздействий в процессе промина стеблей и трепания сырца получение трепаного волокна, удовлетворяющего требованиям стандартов.

Современная практика ориентирована на повсеместное использование интенсивных машинных технологий уборки льна с поля, получение стланцевой льняной тресты, качество которой зависит от погодных условий, а также на её поставку для дальнейшей переработки в виде рулонов. В совокупности это привело к существенному росту вариации свойств тресты [4]. Изменились также экономические условия производства: произошёл рост цен на энергоносители, ликвидирована дотационная поддержка льнозаводов. Вследствие вышесказанного, используемые МТА для сохранения повышенного уровня производительности и качества волокна стали не удовлетворять требованиям по увеличению количества воздействий при переработке льна, что привело к значительному росту (до 50...60 %) доли недоработанных волокнистых прядей. Их особенностью является повышенное содержание костры, сосредоточенной в средних участках горсти. Повышенная доля таких прядей (недоработки) вынуждает предприятия нести дополнительные затраты из-за их повторной обработки, что ухудшает рентабельность производства и ведёт к снижению выхода длинного волокна.

При такой ситуации на практике стали рассматривать возможности приобретения и использования импортной техники, стоимость которой в 3...4 раза больше, чем отечественной. Однако апробация закупленных образцов выявила их недостатки, связанные со спецификой отечественного сырья (повышенная влажность, неоднородность свойств и, особенно, короткие стебли).

Поэтому возникла необходимость создания более совершенной конструкции МТА, адаптированной к свойствам отечественной стланцевой

льняной тресты.

В этой связи в рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. (утверждена Правительством РФ, постановление № 717 от 14 июля 2012 г.) были поставлены задачи по созданию новых отечественных машинных технологий производства льняного волокна.

По результатам, организованного в 2008 году Минсельхозом РФ, конкурса НИОКР для решения этой проблемы был выбран Костромской государственный технологический университет (КГТУ), в котором научная школа под руководством Е.Л. Пашина могла обеспечить решение ряда технических задач по повышению эффективности получения трёпаного льна. Одной из них является совершенствование процесса подготовки льняного сырца к трепанию. Образующий после промина тресты, он представляет собой волокнистую массу с содержанием насыпной и присушистой костры. По причине достаточно высокой интенсивности воздействий в процессе мятья и неудовлетворительного качества сырья, волокно в сырце может разрываться, что приводит к образованию коротковолокнистых фракций, которые не могут быть выделены при трепании в виде длинного волокна и неизбежно попадут в отходы. Поэтому обеспечение условий снижения волокнистых отходов, улучшенного удаления костры и обоснование режимно-конструктивных параметров машин для их реализации явились основой нового способа обработки [5], который был принят к реализации при создании нового МТА.

Начиная разработку, было принято решение о сохранении основных принципов обработки льняной тресты: подготовка слоя стеблей, его утонение, промин и трепание сырца. Отличия предусматривались в обеспечении повышенной дифференциации воздействий на

обрабатываемый материал и возможности использования систем управления режимами работы вновь созданных машин в зависимости от изменяющихся свойств потока стеблей льна. Использование такого подхода впервые было предложено в работах [6, 7].

Разработка и создание слоеформирующей машины[8-13].

Проведённые в КГТУ исследования выявили существенную взаимосвязь выхода длинного волокна с показателем пригодности стеблей к трепанию Π , который зависит от длины стеблей, их наклона, угловой дезориентации друг относительно друга и растянутости в слое.

Доказано, что величиной пригодности к трепанию можно управлять посредством изменения положения слоя (координаты расположения X) по отношению к линиям зажимных транспортёров трепальной машины МТА. Применительно к упомянутым свойствам льнотресты существует оптимальная координата расположения слоя X_{opt} . На практике, как правило, обработка льнотресты на МТА производится в условиях отклонения координаты расположения слоя от её оптимального значения (рис. 1). Величина этой разницы может достигать 25...30 см, что вызывает снижение пригодности до 30...50 %, а значит и уменьшение выхода длинного волокна.

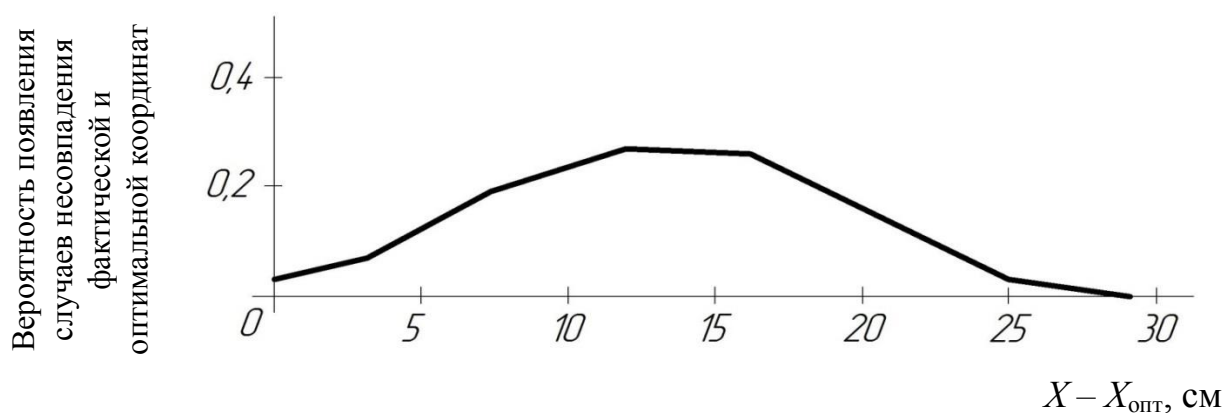


Рис. 1. Возможные различия оптимальной и фактической координат расположения слоя льнотресты при её обработке на МТА

Изучая особенности поэтапной механической обработки льняной тресты на МТА до процесса трепания, была выявлена зависимость ухудшения показателя пригодности при реализации слоеутонения. При данной операции значительно ухудшается структура слоя за счёт увеличения угловой дезориентации стеблей 2α .

При уменьшении степени утонения слоя (например посредством сокращения числа зон утонения в существующей слоеформирующей машине ПЛ) можно снизить угловую дезориентацию и улучшить показатель пригодности до трёх раз (рис. 2).

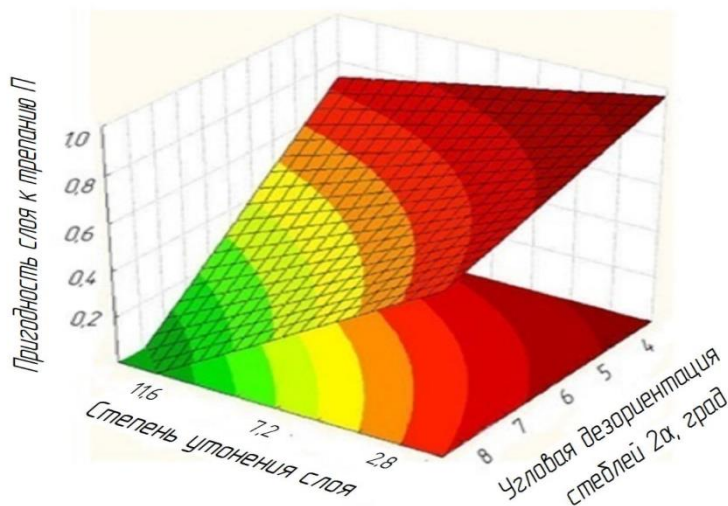


Рис. 2. Зависимость показателя пригодности P от степени утонения и угловой дезориентации стеблей в слое

Однако уменьшение степени утонения слоя не будет обеспечивать требуемую для последующей обработки (промина и трепания) толщину слоя. Это особенно важно для переработки недолежалой тресты или при её повышенной влажности.

Поэтому для увеличения пригодности в условиях неизменности числа зон утонения возможен другой вариант: принудительное уменьшение исходной угловой дезориентации перед слоеутоняющей машиной.

Таким образом, по результатам исследований предложены

направления улучшения показателя пригодности в зависимости от исходных свойств стеблей и слоя:

- за счёт обеспечения оптимальной координаты положения слоя X_{opt} ;
- посредством изменения степени утонения или принудительного уменьшения исходной угловой дезориентации 2α .

Заметим, что эти решения требуют предварительного контроля параметров поступающей к переработке тресты. Поэтому были предложены способы бесконтактного контроля свойств стеблей. Применительно к ним разработаны технические решения по изменению конструкции слоеформирующей машины (рис. 3).

В частности, для подготовки слоя был введён узел 1, предложенный В.Б. Соколовым и Н.К. Сорокиным, обеспечивающий встряхивание совокупности стеблей в слое. Дано обоснование по использованию нового комлеподбивателя 2, который располагается на специальной платформе с возможностью смещения слоя от левого крайнего положения до требуемой оптимальной величины X_{opt} .

Непосредственно слоеутоняющий механизм было предложено усовершенствовать следующим образом. Для изменения степени утонения слоя применительно к трем последним валам 3 утоняющих дисков ввели индивидуальные приводы – мотор-редукторы 4. Они позволили посредством использования регуляторов частоты плавно и оперативно изменять степень утонения от 2,8 до 11,6. Такое изменение можно достичь и более простым решением – дискретным изменением степени утонения путем использования цепных передач.

Для принудительного снижения исходной угловой дезориентации стеблей было предложено ввести перед зоной утонения дополнительный узел 5 для сгруживания стеблей в слое и, как следствие, минимизации их угловой дезориентации по способу [14].

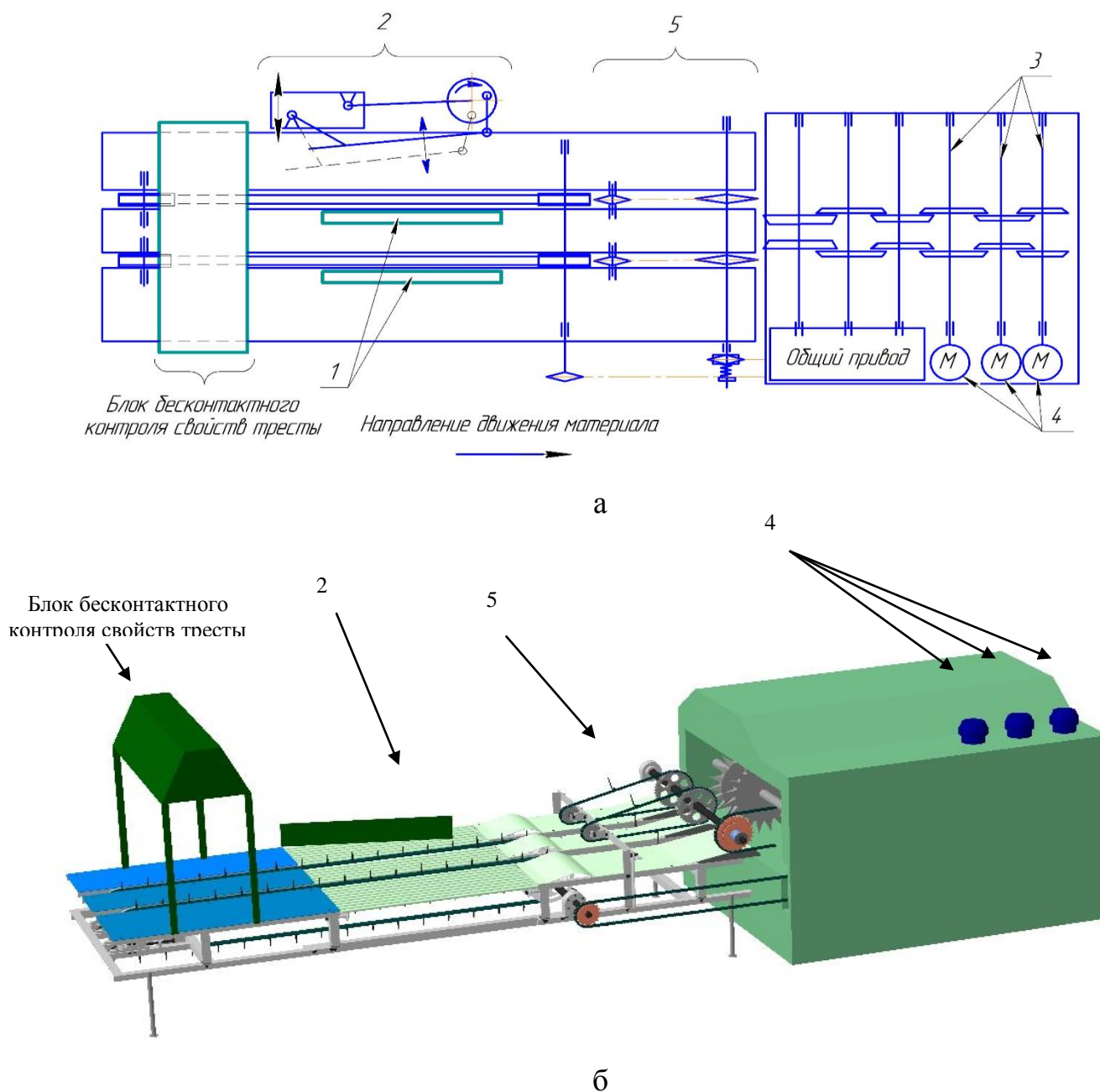


Рис. 3. Слоеформирующая машина с использованием новых узлов: а – технологическая схема; б – объёмная модель

Были созданы экспериментальные образцы указанных узлов машины для подготовки слоя, а также блок технического зрения для контроля координаты расположения слоя, угловой дезориентации стеблей, их цвета, длины и растянутости по комлевым и вершинным концам (рис. 4–9).



Рис. 4. Узлы для встряхивания слоя копковыми ремнями и для смещения слоя в процессе его комлеподбивания

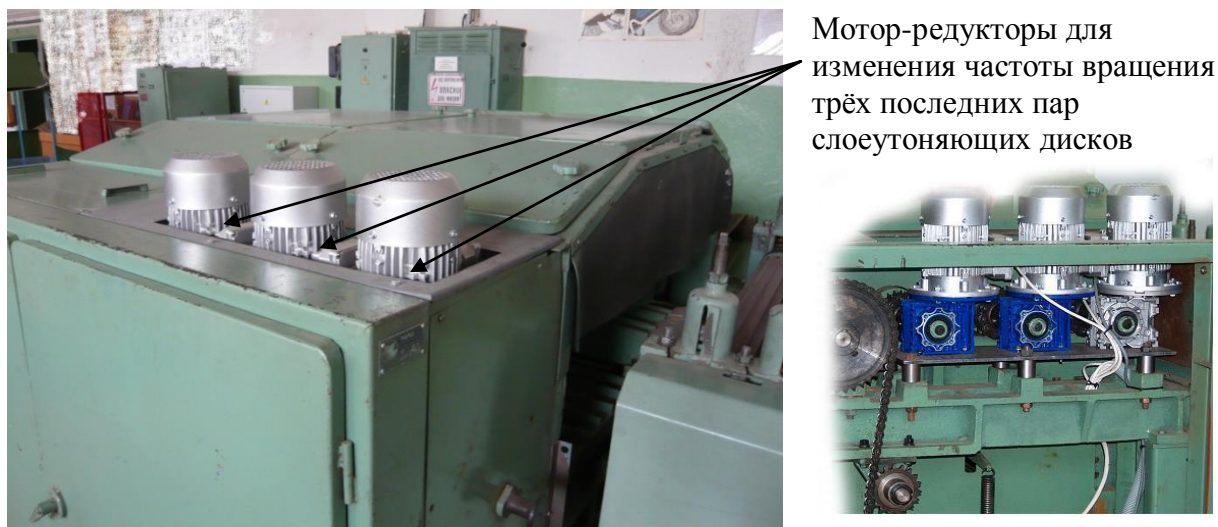


Рис. 5. Мотор-редукторы для плавного изменения степени утонения слоя в слоеутоняющей машине



а

б

Рис. 6. Узлы привода для дискретного изменения числа зон утонения;
варианты со степенью утонения: а – 11,6; б – 6,5



Рис. 7. Узел для принудительного снижения угловой дезориентации



Рис. 8. Система контроля параметров слоя

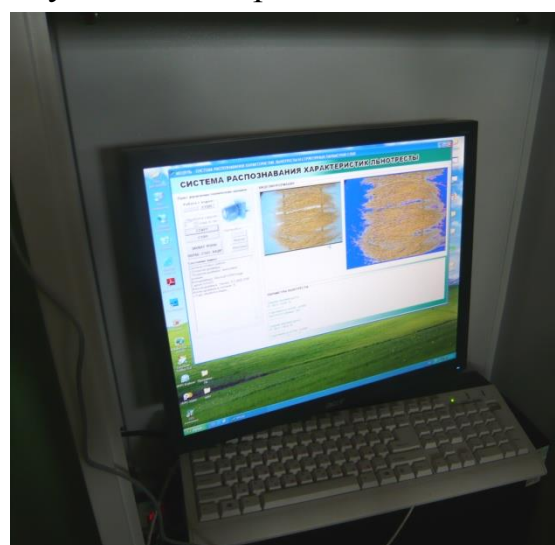


Рис. 9. Интерфейс с
результатами идентификации
параметров слоя льняной тресты

В процессе испытаний доказана их работоспособность и возможность улучшения показателя пригодности стеблей к обработке. Поэтому были подготовлены предложения Ивановскому механическому заводу им. Г.К. Королёва по изменению конструкции слоеподготовительных узлов и машин, и их использованию при создании нового МТА. Итогом совместной работы кафедры ТПЛВ (КГТУ) и сотрудников указанного завода явилось создание новой слоеформирующей машины (рис. 10).



Рис. 10. Слоеформирующая машина агрегата МТА-3Л с узлом комлеподбивания и смещения слоя

Разработка и создание мяльной машины[8,9, 11,15, 16, 19].

В процессе проведения НИОКР было обращено внимание на то, что в известных импортных агрегатах в основном используются многосекционные мяльные машины. Основным их преимуществом является фиксация слоя зажимными транспортёрами, начиная с этапа промина стеблей и до выхода трёпаного льна. Между секциями фиксация слоя предусматривает наличие узла перехвата слоя.

Однако при анализе условий перехвата обрабатываемых пряжей выявлены существенные недостатки, обусловленные особенностью свойств отечественной льняной тресты в сравнении с зарубежным сырьём (пониженная длина и повышенная растянутость концевых участков стеблей друг относительно друга). При промине поток стеблей преобразуется в слой сырца, структура которого существенно изменяется. В результате взаимодействия с рифлёными валками средняя ширина слоя уменьшается, а растянутость вершинных и комлевых концов возрастает.

При использовании в качестве исходного сырья длинностебельного льна, указанные особенности слабо влияют на конечные результаты переработки. Однако при промине, характерных для российского льноводства, коротких стеблей (до 70 см) и при наличии их растянутости существенно ухудшаются условия попадания всех стеблей под зажимной транспортёр в зоне перехвата. Общепринятыми методами расчёта выявлено снижение пригодности пряжей сырца к последующему трепанию в 2 и более раз по этой причине. Такой результат ведёт к уменьшению выхода наиболее ценного длинного волокна.

Таким образом, использование узла перехвата слоя при промине льна с повышенной растянутостью стеблей и с длиной стеблей до 70 см нецелесообразно.

С учётом этого вывода исследовали особенности промина тресты с применением отечественных односекционных мяльных машин. Используя мяльную машину М-110-Л2, было изучено распределение толщины слоя по его ширине. Выявлено, что толщина слоя стеблей и сырца, начиная от комлевых концов к вершинным, сначала возрастает, а затем, достигнув максимума, вновь снижается (рис. 11). Причём координата максимальной толщины постоянно варьирует по ширине слоя, располагаясь по отношению к середине валка на разном расстоянии. Причиной тому является конусность и неконтролируемая растянутость стеблей, а также их

неровнота по длине.

В таких условиях верхние мяльные валки наряду с перемещением «вверх-вниз» начинают в этой же вертикальной плоскости совершать угловые колебания в плоскости перпендикулярной направлению движения слоя. С применением метода тензометрии была осуществлена количественная оценка линейных величин подъёма торцевых участков валков. Оказалось, что, несмотря на изначальную установку вальцов в паре с рекомендуемым захождением рифлей, практически для 50 % всех замеров перемещений вальцов «вверх-вниз» величина захождения рифлей при промине не является оптимальной. В ряде случаев рифли располагались не с захождением друг относительно друга, а с зазором в 2...3 мм. По этой причине участки стеблей по краям ширины мяльной машины не проминались. Для подтверждения указанного явления исследовали распределение содержания костры по ширине слоя после промина. Использовали льняную тресту, из которой был сформирован слой шириной до 100 см. После промина слоя его резали по ширине на участки по 7,5 см. В каждом из них определяли массовую долю костры. Распределения массовой доли костры по ширине слоя сырца представлены на рис. 12.

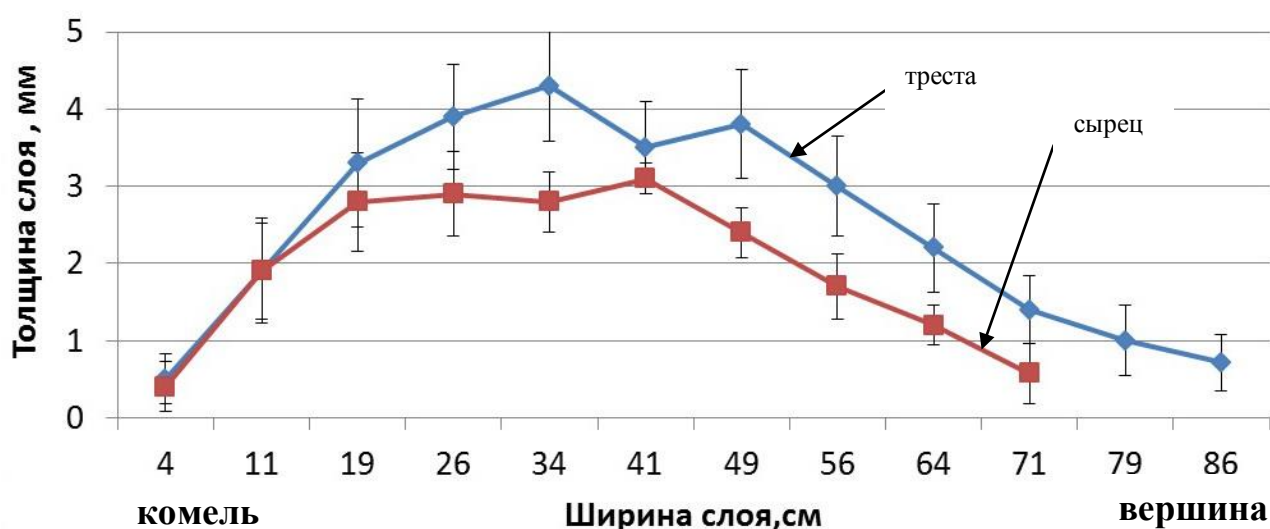


Рис. 11. Изменение толщины слоя стеблей и сырца по его ширине

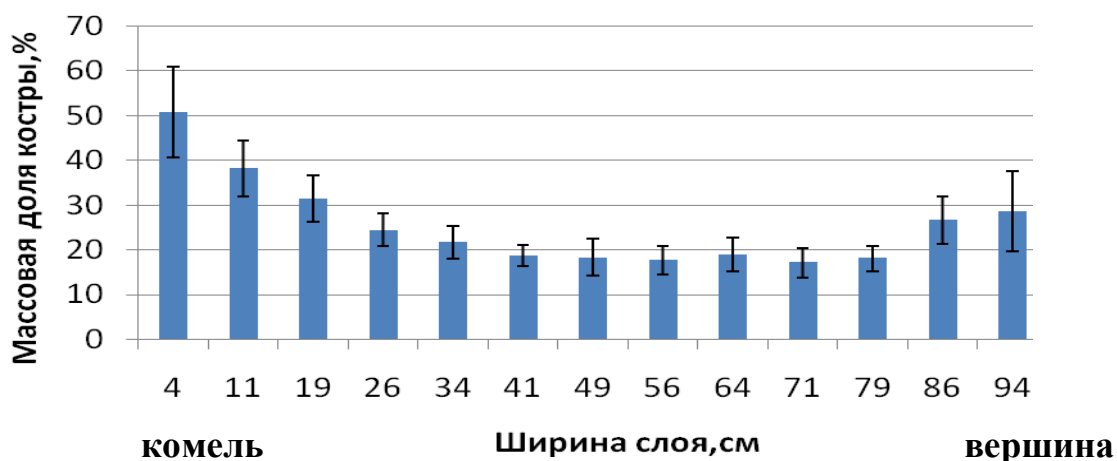


Рис. 12. Распределение массовой доли костры в сырце по его ширине

Оказалось, что после промина костры в средней части слоя содержится существенно меньше. Из-за этого наблюдается повышенное значение коэффициента вариации массовой доли костры по ширине слоя в целом (до 22 %).

Полученный результат подтверждает высказанные предположения, что при использовании слоя стеблей с повышенной растянутостью их друг относительно друга при промине на отечественных односекционных мяльных машинах не формируются равные условия для изгиба-излома стеблей по всей ширине слоя. В средней части слоя, с наибольшей толщиной, наблюдается уплотнение материала, препятствующее формированию требуемой глубины захождения рифлей в зоне вершин и комлей. При наличии дополнительных угловых колебаний вальца по краям слоя, где его толщина минимальна, итоговая эффективность промина заметно снижается.

Для исключения таких результатов было предложено осуществлять дополнительный промин концевых участков стеблей. Это оказалось возможным с применением вальцов, у которых в их средней части отсутствуют рифли, что исключает их соприкосновение с обрабатываемым материалом. Таким образом, предложено промин производить в два этапа.

Для проверки эффективности такого приёма была проведена экспериментальная проверка по методике, сходной с методикой первого этапа. По результатам опыта было определено усредненное значение массовой доли костры в трёх зонах по ширине слоя (комлевой, серединной и вершинной) после однократного промина и повторного промина комлевой и вершинной частей слоя. При использовании указанного двухэтапного промина слоя наблюдалось относительное уменьшение массовой доли костры в комлевой и вершинной частях слоя. Кроме этого, имело место снижение коэффициента вариации остаточной массовой доли костры по ширине слоя.

Установлено, что в комлевых участках стеблей массовая доля костры после повторного промина статистически значимо снижается на 16,6 % (отн.), а в вершинных – на 30,1 %. При этом коэффициент вариации массовой доли костры по ширине слоя достигает 7,3 %, что существенно меньше вариации при типовой схеме обработки (22 %). Полученные результаты свидетельствует об эффективности предложенного варианта обработки.

Таким образом, по результатам проведённых исследований были предложены следующие рекомендации. Промин стеблей должен реализовываться при исключении перехвата слоя сырца, негативно влияющего на вероятность попадания прядей под зажимные транспортёры. Получение сырца промином должно осуществляться в два этапа. На первом проминаются в основном серединные участки слоя, а на втором – дополнительно концевые участки прядей сырца (рис. 13). Для интенсификации промина концевых участков стеблей (особенно вершинных) целесообразно процесс реализовывать при увеличенной глубине захождений рифель, обеспечивая тем самым возможность относительного перемещения по ним заостренной пряди.

При дальнейшем совершенствовании процесса промина были

поставлены дополнительные задачи. Одна из них связана со снижением вероятности повреждения волокнистого покрова из-за повышенного его натяжения при огибании кромок рифель валков. Другая – с возможностью оперативного управления режимами процесса мятья в условиях движущегося слоя, что при использовании существующей техники не представляется возможным.

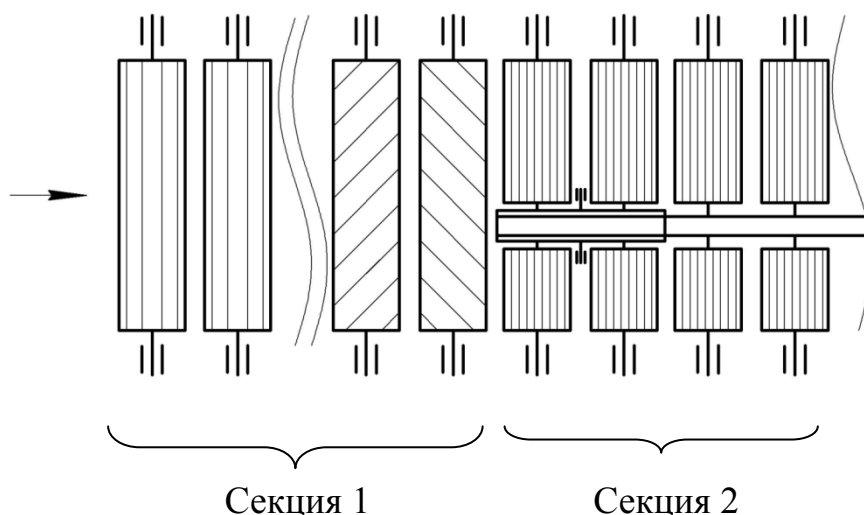


Рис. 13. Предлагаемая технологическая схема организации процесса промина

Решая первую задачу, исходили из необходимости интенсификации процесса промина за счет скольжения заостренной пряди по кромкам рифель. Установлена существенная зависимость величины относительно перемещения Δl пряди по кромке от глубины захождения рифель i :

$$\Delta l = 2\sqrt{i^2 + \frac{D^2}{4} \sin^2 \frac{\pi}{Z}} - D \sin \frac{\pi}{Z}, \quad (1)$$

где i – глубина захождение рифель; D – диаметр валков; Z – число рифель.

Однако при повышенных значениях i наблюдается рост углов обхвата прядью кромок рифель, что, согласно выводам А.М. Ипатова, может приводить к чрезмерному росту сил натяжения волокна. Указанным автором решена задача по установлению соотношения $n = T/T_0$, где T – натяжение сбегавшей пряди с кромки, а T_0 – набегающей. Величина n

оценивалась для идеально гибкой нити и для пряжи с наличием на ней жестких элементов (костры). В первом случае упомянутое соотношение сил определяется по известной формуле Эйлера $n = T/T_0 = e^{\mu\varphi}$ (здесь e – основание натурального логарифма; μ – коэффициент трения пряжи о кромку; φ – угол обхвата пряжью кромки). Для случая пряжи с кострой $n = T/T_0 = (\cos\gamma + \mu\sin\gamma)/(\cos\gamma - \mu\sin\gamma)$, где $\gamma \approx \varphi$. Сравнивая указанные зависимости $n = f(\gamma \approx \varphi)$ (рис. 14), был сделан вывод, что применительно к закостренной пряжи использование углов обхвата более $\pi/2$ может приводить к опасному росту натяжений и их отношению n .

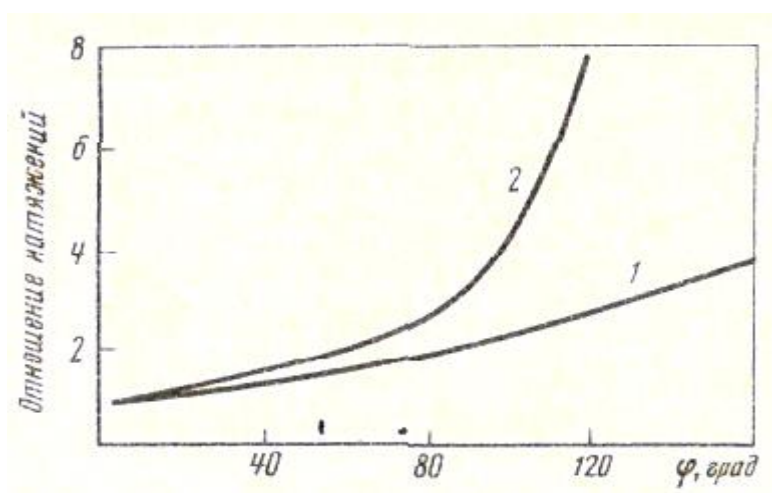


Рис. 14. Зависимость отношения натяжений от углов обхвата для гибкой нити (1) и пряжи с жестким элементом (2), полученная Ипатовым А.М.

На основе этого анализа предложена конструкция рифли мяльного вала в виде трапеции (рис. 15), использование которой не позволяло превысить критический угол обхвата $\pi/2$. Как следует из рисунка, набегаящая пряжа в поле мятя дважды огибает кромки рифли 1 и 2. При каждом огибании угол обхвата (φ_0 и φ) не превышает $\pi/2$. При таких условиях снижение сил натяжения закостренной пряжи, в сравнении с используемыми на отечественных мяльных машинах рифлями, достигает более, чем в 2 раза.

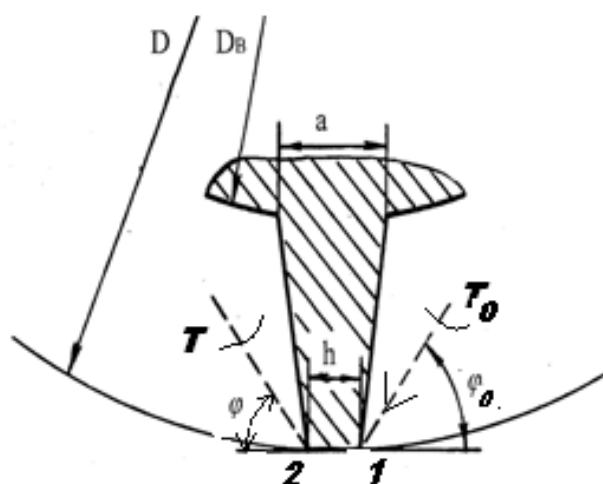


Рис. 15. Рифель мального вала с сечением в виде трапеции

Решение второй задачи, связанной с возможностью оперативного управления режимами процесса мятья в условиях движущегося слоя, осуществили путем использования предложенных изобретений [17,18]. Решение по [17] обеспечивает возможность регулирования глубиной захождения рифель за счет применения ползунов 1 со скошенными кромками. Перемещение этих ползунов применительно к группе валков (2–4 шт) производится посредством мотор-редуктора с возможностью его управления (рис. 16).

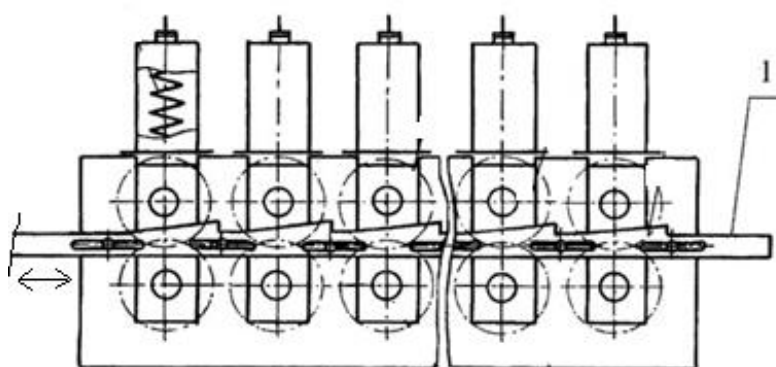


Рис. 16. Механизм для изменения глубины захождения рифель в процессе промина

Решение по [18] наряду с указанным изменением глубины захождения рифель, дополнительно позволяет регулировать и степень прижатия пружинами за счет второго ползуна 2 сходной конструкции (рис.

17). Это решает актуальную в настоящее время задачу по регулировке в процессе промина его основными технологическими параметрами, в зависимости от изменяющихся свойств льняной тресты.

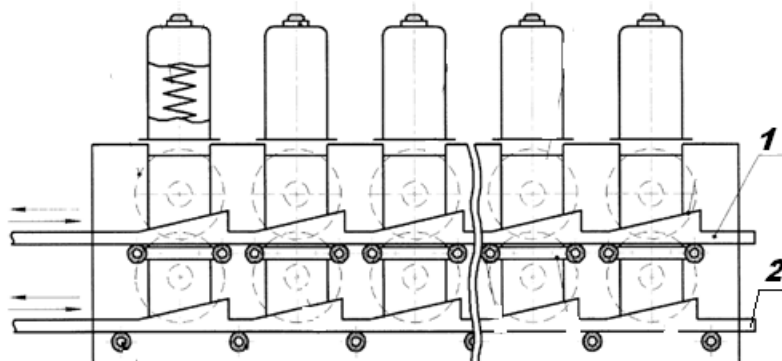


Рис. 17. Механизм для изменения глубины захождения рифель и степени их прижатия в процессе промина

На основе проведенных исследований и разработок была предложена новая конструкция мяльной машины, представленная в виде схемы, указанной на рисунках 13 и 18. Её и было рекомендовано включить в состав разрабатываемого МТА.

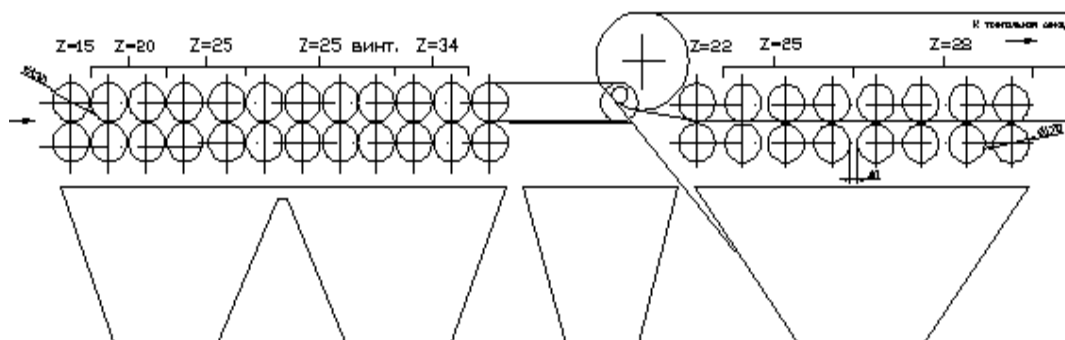


Рис. 18. Технологическая схема мяльной машины (* – справочные размеры)

Конструкторская разработка и изготовление мяльной машины, по предложенной КГТУ схеме, была осуществлена Ивановским механическим заводом им. Г.К. Королёва. Её внешний вид представлен на рисунке 19. Машина имеет две секции, одна из которых является типовой мяльной машиной М-110-Л2 (рис. 20). За ней следует вторая –

оригинальная секция (рис. 21), содержащая валы, по краям которых закреплены рифлёные полу-валки. Промежуток между ними предназначен для перемещения зажимного транспортёра. Применительно ко второй секции был реализован узел для изменения глубины захождения рифель в процессе промина (рис. 22).

Положительные заводские испытания новой мяльной машины позволили её включить в состав нового мяльно-трепального агрегата.

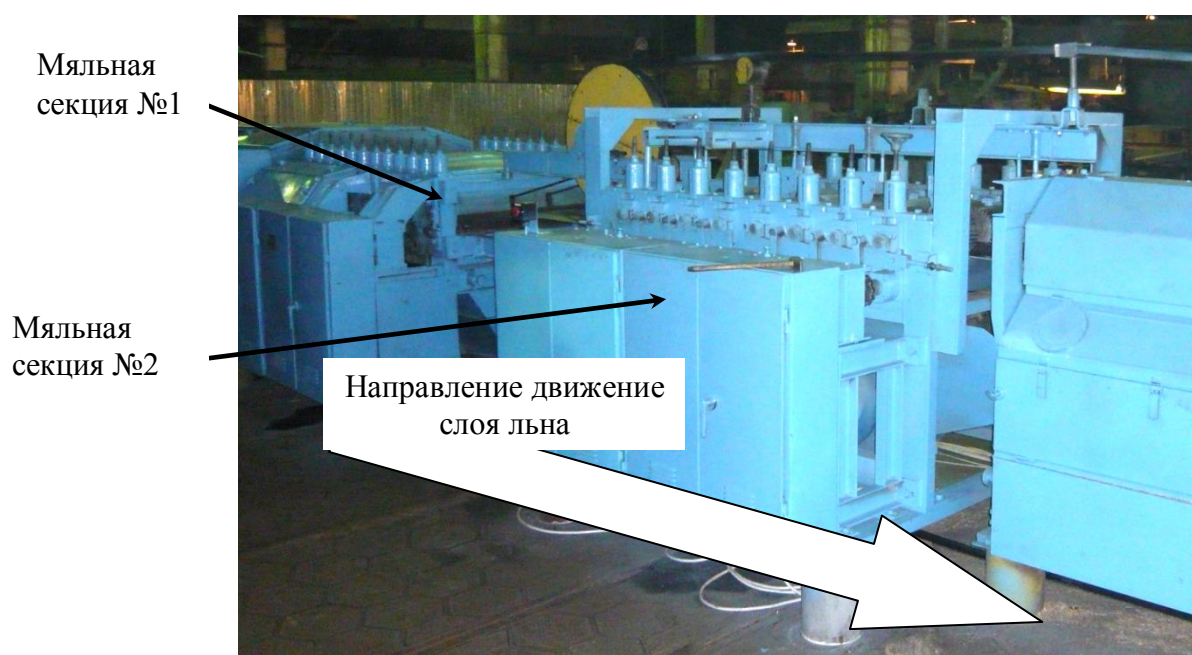


Рис. 19. Общий вид новой мяльной машины



Рис. 20. Рабочие органы мяльной машины М-110-Л2

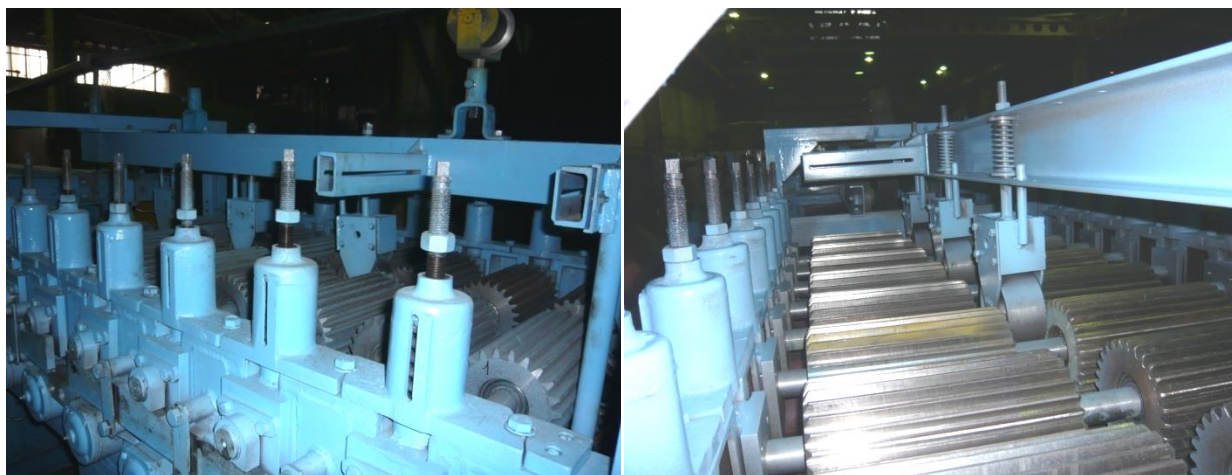


Рис. 21. Рабочие органы второй секции мяльной машины



Рис. 22. Узел для изменения глубины захождения рифель в процессе промина

Разработка и создание трепальной машины[20-25].

Разрабатывая научно-технические основы процесса трепания, рассматривали общепринятую схему с последовательной обработкой комлевых и вершинных участков стеблей (рис. 23).

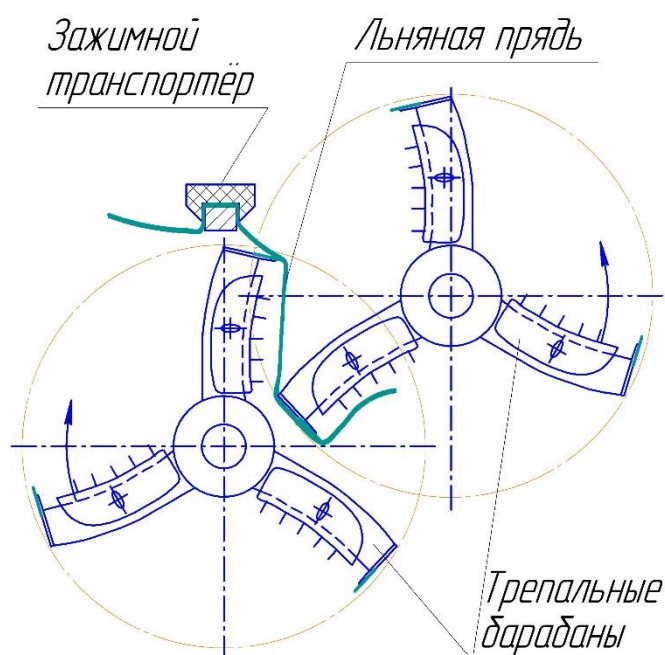


Рис. 23. Схема трепания льна

Полагали, что общая вероятность удаления костры P_N из льняных прядей в результате совершения k трепальных воздействий, каждое из которых (в среднем) характеризуется вероятностью отделения костры p , можно определить по формуле:

$$P_N = 1 - p^k. \quad (2)$$

Значение вероятности отделения костры p зависит, с учётом ранее проведённых исследований, от условий и степени прижатия волокнистой пряди с кострой к кромке била трепального барабана и от свойств льнотресты. Очевидно, что степень прижатия будет определяться силой натяжения пряди T , которую приближенно можно оценить, используя известную зависимость Эйлера:

$$T = T_o e^{f\alpha}, \quad (3)$$

где T_o – начальное натяжение, применительно к концевому участку пряди; f – коэффициент трения пряди по кромке била; α – суммарный угол обхвата прядью кромок бил в поле трепания.

Заметим, что величина T не должна превышать некоторого критического значения, определяемого разрывной нагрузкой волокна $T_{раз}$,

то есть должно выполняться условие $T < T_{раз}$.

С учётом (3) повышение T возможно либо посредством роста начального натяжения T_o , либо за счёт увеличения суммарного угла обхвата α . Рассмотрим эти условия.

Начальное натяжение T_o зависит от параметров концевой участка заостре́нной пряди и условий его нагружения. В процессе трепания масса этого участка пряди из-за удаления костры снижается, что требует для сохранения уровня T_o интенсификации его нагружения. В существующих конструкциях оперативное увеличение интенсивности нагружения достигается в основном за счёт повышения частоты вращения трепальных барабанов.

Рассмотрим другой вариант повышения величины T – за счёт увеличения суммарного угла обхвата α . Следует отметить его меньшее влияние на величину T в сравнении с частотой вращения барабанов. Поэтому в существующей практике основным приёмом интенсификации процесса обескостривания считают повышение частоты вращения трепальных барабанов, обеспечивающей одновременно рост количества воздействий k на пряди в поле трепания.

Однако применительно к существующим отечественным конструкциям трепальных машин и упомянутым выше изменившимся свойствам обрабатываемой тресты (неровноте по длине и показателю отделяемости, повышенной влажности стеблей) указанный приём увеличения частоты вращения трепальных барабанов стал вызывать неоправданный рост волокнистых отходов, образующихся, как правило, при обработке концевых участков прядей (рис. 24).

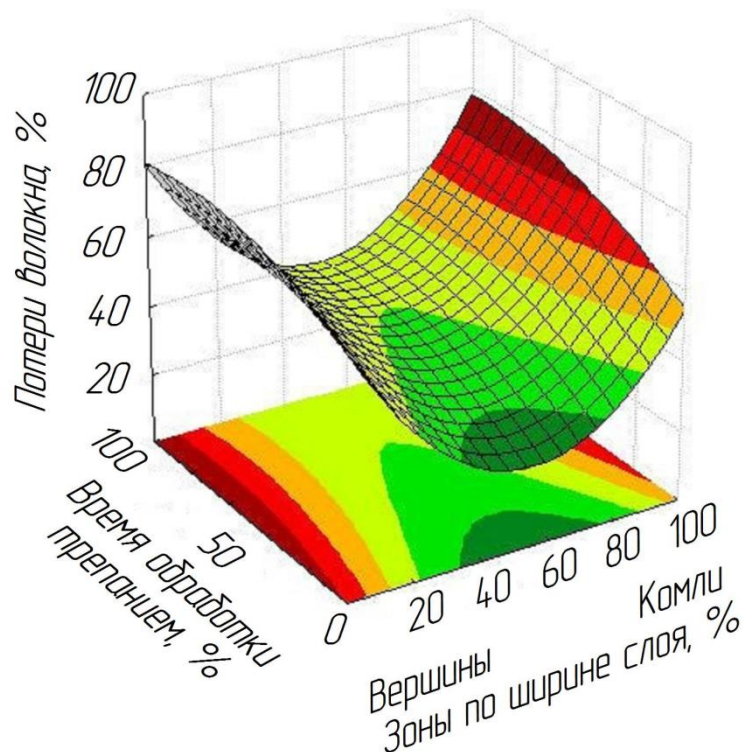


Рис. 24. Формирование волокнистых потерь, образующихся в процессе дополнительной обработки недотрёпа

Были исследованы причины этого явления. В результате проведённых изысканий оказалось, что рост нагружения концевых участков, определяющих величину T_o , происходит более интенсивно, чем средних участков пряжи. В частности, установлен значительный прирост (в два и более раз) ускорений элементов пряжи (рис. 25). При таких условиях увеличение частоты вращения трепальных барабанов вызывает «обсечку» концевых участков волокна, что и является основной причиной образования волокнистых отходов из-за обрывности прядей.

Поэтому более целесообразным направлением повышения вероятности обескостривания за счёт увеличения сил прижатия прядей к кромкам бил трепальных барабанов будет увеличение суммарного угла обхвата α .

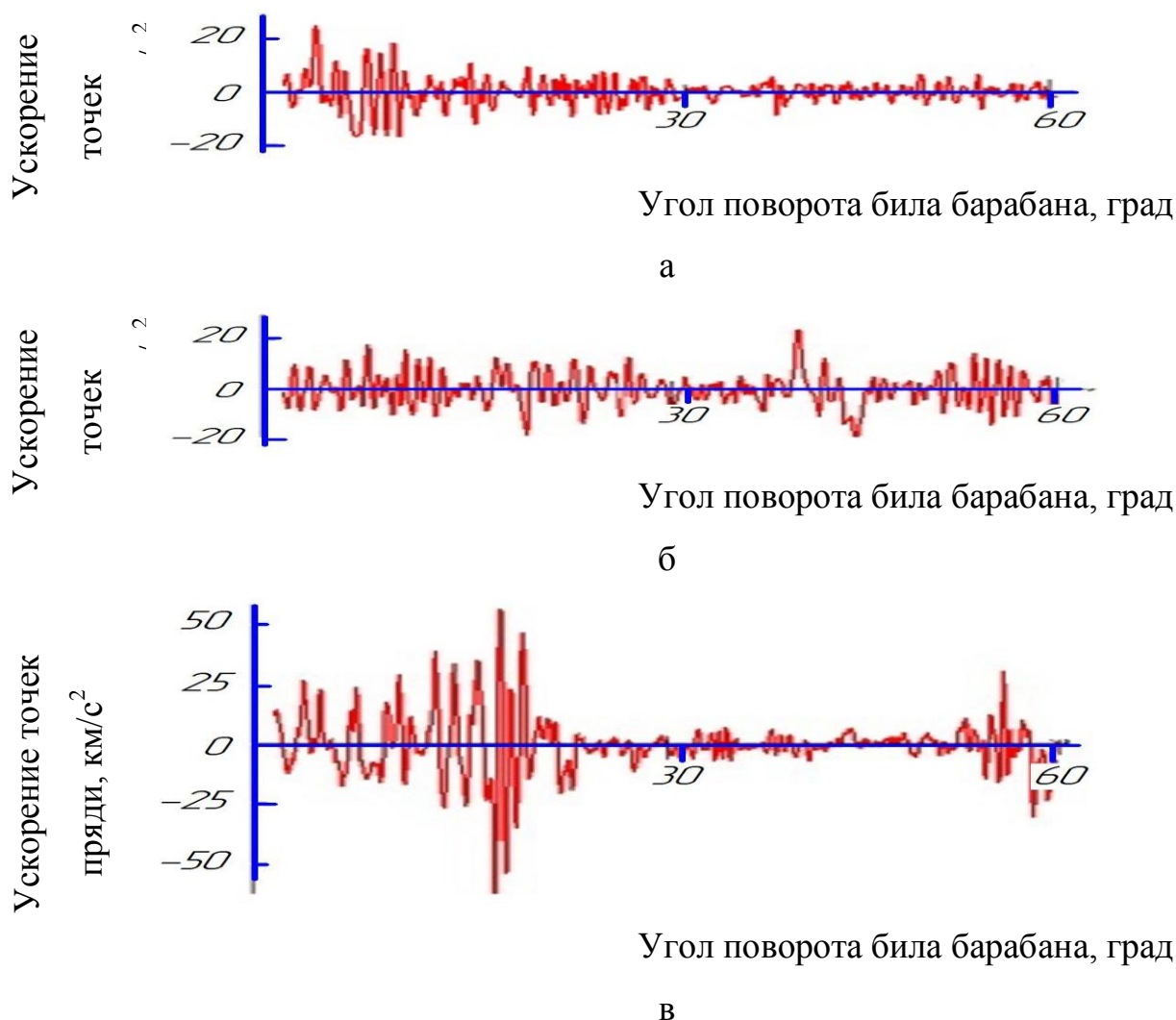


Рис. 25. Изменение ускорений точек пряди по её длине: а – у зажима; б – в средней части; в – у свободного конца

На основе полученных результатов были обоснованы основные технологические рекомендации по совершенствованию и организации процесса трепания. Они включали в себя следующее.

На первом этапе процесса необходимо, прежде всего, обеспечить условия сохранности волокнистых прядей от их разрыва $T < T_{раз}$. Для этого приоритетом является уменьшение массы прядей в поле трепания за счёт удаления насыпной костры посредством щадящей обработки трепанием в условиях малой частоты вращения трепальных барабанов.

На следующем этапе, после существенного уменьшения массы прядей, а значит и снижения T_o , требуется рост суммарного угла обхвата α ,

но при условии сохранности волокон от разрыва ($T < T_{раз}$). Такое оказалось возможным посредством увеличения количества точек опор пряди в поле трепания. Для этого было предложено использовать специальные тыльные планки к билам с изменяющейся по длине барабана величиной их вылета h (рис. 26).

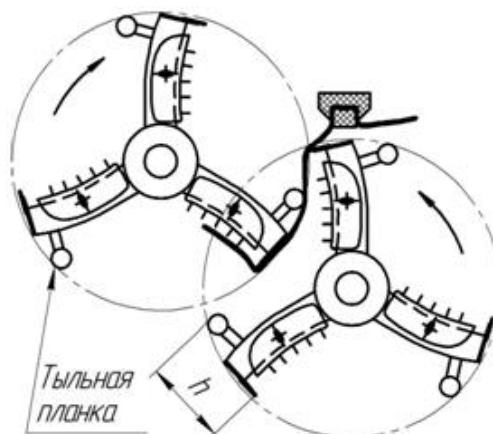


Рис. 26. Трепальные барабаны с дополнительными тыльными планками для увеличения углов обхвата прядью в поле трепания

В процессе исследований было уделено также внимание более надежной фиксации прядей сырца в зажимном транспортёре трепальной машины. Это особенно важно в условиях прохождения слоя относительно первой четверти длины барабанов. С этой целью были использованы рекомендации по изменению конструкции прижимных роликов транспортёра (рис. 27)[25]. В частности, поверхность роликов предложено выполнить с углублением в средней части их ширины. В этом случае качество зажима улучшается за счет дополнительного действия боковых частей профильного ремня зажимного транспортёра.

Указанные технологические новшества сравнили с зарубежными аналогами фирм Depoortere, Union и Vanhauwaert. Установлено, что наши решения позволяют не менее эффективно реализовывать процесс трепания варьируемого по свойствам льна за счёт более глубокой дифференциации воздействий.



Рис. 27. Прижимные ролики усовершенствованной конструкции

В конечном итоге была предложена трепальная машина (рис. 28), содержащая две секции для обработки комлевых (№ 1 и № 2) и две секции для обработки вершинных частей слоя (№ 3 и № 4). Новизной конструкции машины является использование в секциях барабанов с разным количеством бил. В секциях 1 и 3 применяются трехбильные барабаны, а в секциях 2 и 4 – четырехбильные.

На барабанах, начиная с первой трети их длины, имеются специальные тыльные планки, обеспечивающие постепенное повышение суммарного угла обхвата волокном рабочих и тыльных кромок в поле трепания за счёт параметра h .

В новой конструкции трепальной машины предусмотрена возможность регулировки её основных технологических параметров: скорости перемещения зажимного транспортера, частоты вращения трепальных барабанов и величины двойного протрепа.

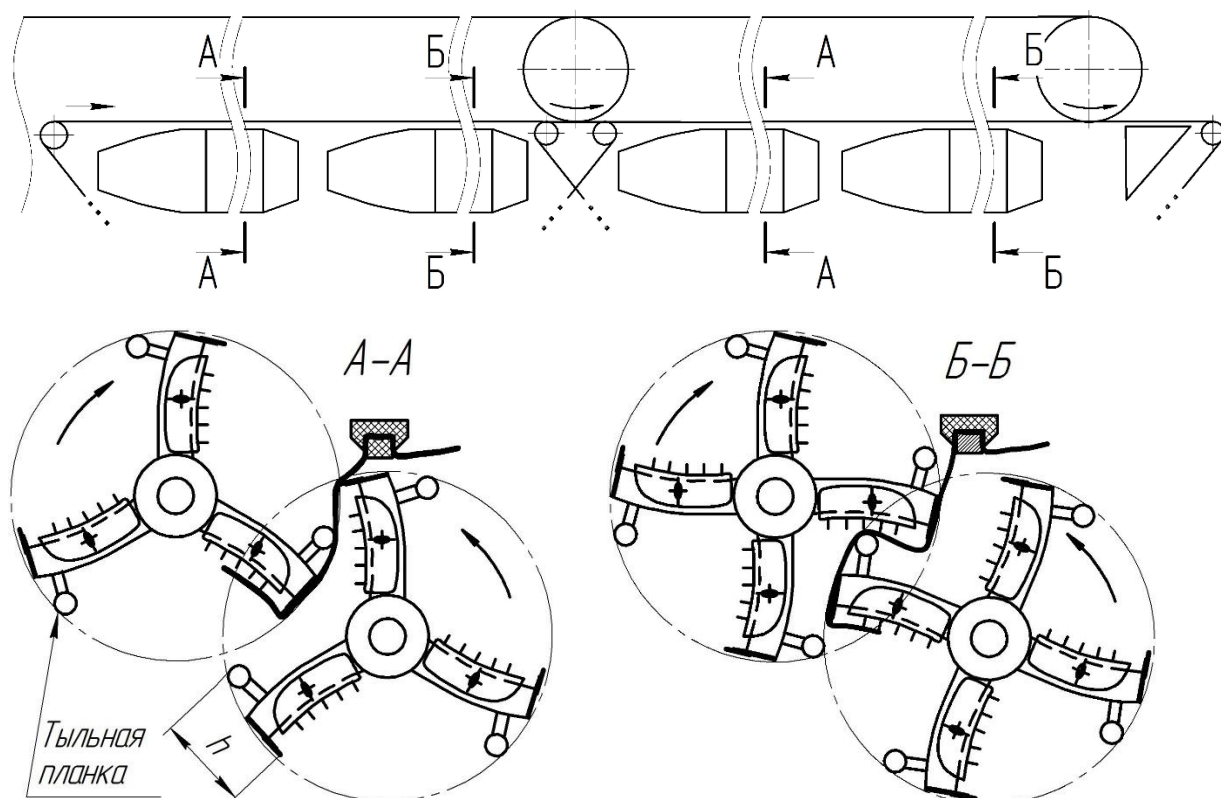


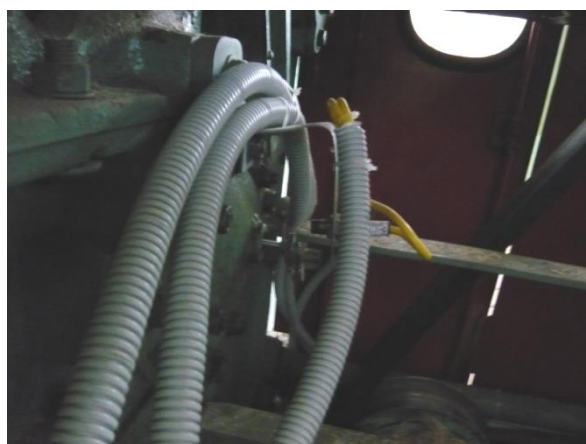
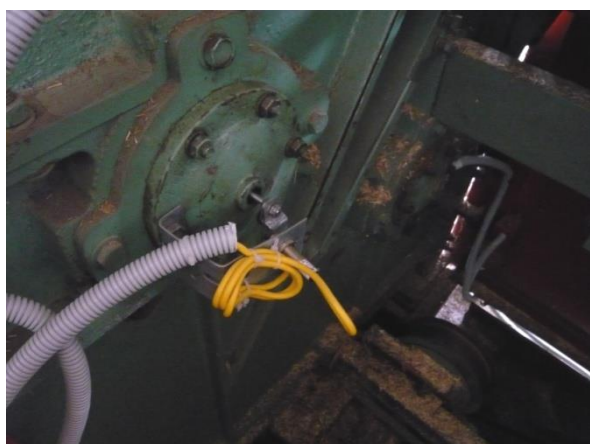
Рис. 28. Схема предложенной трепальной машины

Для этого в процессе проведения НИОКР была апробирована на практике система бесконтактных датчиков, адаптированных к системе управления указанными параметрами (рис. 29). Был также создан и проверен узел изменения величины двойного протрепа, работа которого также адаптирована к внешней системе его управления (рис. 30).

В процессе испытания новой трепальной машины была подтверждена известная зависимость скоростных режимов её работы от влажности перерабатываемой тресты. С учетом возможной работы нового МТА без предварительного подсушивания сырья, была констатирована необходимость поточного контроля влажности тресты, значение которой важно для управления мяльной и трепальной машинами. Поэтому был разработан новый способ контроля влажности и устройство для его реализации в условиях перемещающегося слоя. Его установку предложено осуществить перед слоеутоняющей машиной (рис. 31 и 32).



а



б

Рис. 29. Датчики для контроля скоростных режимов работы трепальной машины: а) контроль частоты вращения шкива зажимного транспортера; б) контроль частоты вращения трепальных барабанов в разных секциях трепальной машины



Рис. 30. Узел изменения положения вилки двойного протрепа в зоне перехвата прядей льняного сырца между секциями трепальной машины

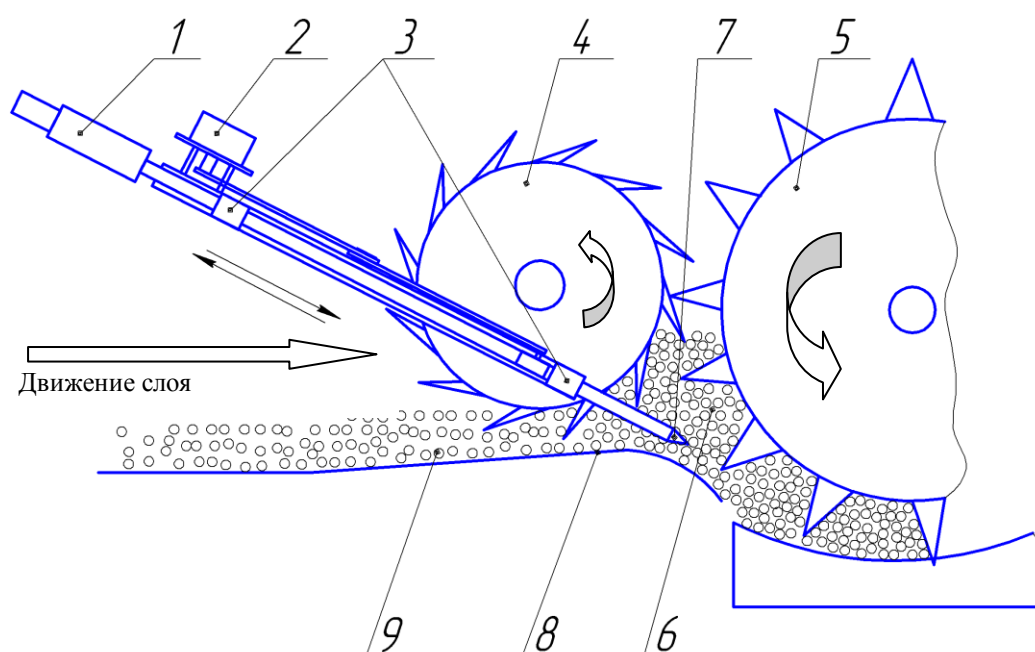


Рис. 31. Схема контроля влажности

1 – влагомер; 2 – привод влагомера; 3 – направляющие; 4 – дозирующие диски; 5 – приёмные диски; 6 – зона с постоянной плотностью материала; 7 – чувствительный элемент влагомера; 8 – раскладочный стол; 9 – слой льнотресты

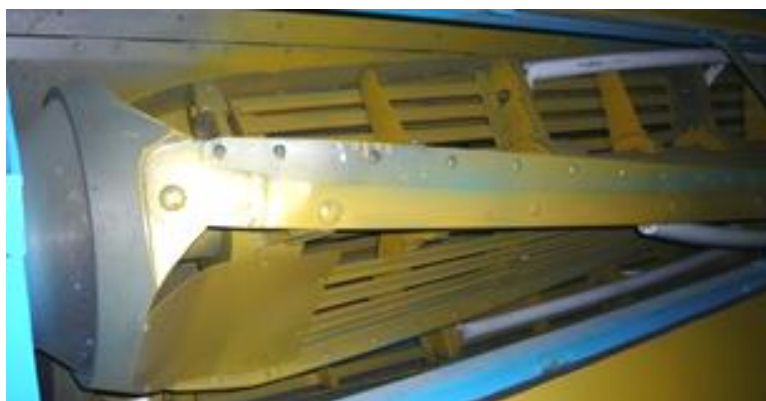


Рис. 32. Средство контроля влажности тресты в процессе перемещения слоя

Конструкторская разработка и изготовление новой трепальной машины, по предложенной КГТУ схеме, была осуществлена Ивановским механическим заводом им. Г.К. Королёва. Её внешний вид представлен на рисунке 33. Установленные в ней барабаны представлены на рисунке 34.



Рис. 33. Внешний вид трепальной четырехсекционной машины



а



б

Рис. 34. Трепальные барабаны для секций: а – для первой и третьей;
б – для второй и четвёртой

По результатам заводских испытаний трепальной машины её конструкция и узлы для адаптации с внешней системой управления были рекомендованы для использования при создании нового МТА.

Разработка вариантов систем управления работой машин, входящих в состав нового МТА [13, 26].

Применительно к созданным конструкциям машин, входящих в состав нового мяльно-трепального агрегата, были предложены два варианта систем управления их работой.

Первый, наиболее простой из них, основан на принципе «подсказки» оператору о возможных рациональных режимах работы, при которых будет обеспечен требуемый результат переработки тресты. Такой принцип управления и саму систему его реализации следует считать системой принятия решения (СППР) оператором.

При таком варианте управления важным является решение задачи по выявлению вариантов режима работы машин, обеспечивающих максимальное значение выхода длинного волокна при, требуемых по стандарту, содержанию в волокне костры и недоработанных прядей применительно к перерабатываемым льняным стеблям. Непосредственный выбор вариантов, рекомендуемых системой, осуществляется оператором.

Функционирование СППР реализуется следующим образом (рис. 35). К моменту поступления слоя стеблей тресты к МТА информация о её свойствах, полученная от блока бесконтактного контроля передаётся в ЭВМ для последующего использования. Дополнительно к ней поступает информация о влажности тресты. На ЭВМ данные обрабатываются с помощью нейросетевого или иного (сходного по эффективности) анализа. В итоге система обеспечивает получение информации о вариантах с рациональными режимами и параметрами работы машин. Данные выводятся на сенсорную панель. Оператор МТА, анализируя

Обеспечиваются условия безопасной эксплуатации всех машин. По результатам агротехнических и технологических испытаний с использованием льняной стланцевой тресты номера 1,25 и 1,75 установлено, что:

- в среднем по всем испытываемым партиям производительность линии по тресте составила примерно 1,6 т/ч;
- в результате испытаний выявлено, что изменчивость степени утонения с использованием слоеутоняющей машины составляет 1,69 раза, то есть степень утонения слоя возможно изменить с 6,5 до 11 раз;
- показатель пригодности слоя составил: для партии №1 – от 0,60 до 0,78, а для партии №2 – от 0,64 до 0,81. В среднем по всем партиям пригодность слоя при использовании новых машин составила 0,795;
- умин для испытываемых партий в среднем составил 31%;
- для новой трепальной машины степень дифференциации интенсивности воздействий составила 213 (для используемой в настоящее время на льнозаводах – 110).

Установлено улучшение основных технологических показателей. По выходу длинного волокна наблюдался рост до 32%. По уровню недоработанного волокна – снижение на 15,7%. Качество волокна, получаемого при переработке, оказалось не ниже номера 11.

Полученные положительные результаты позволили сделать вывод, что новые машины, составляющие линию для получения трепаного льняного волокна, удовлетворяют требованиям технического задания, выданного Минсельхозом РФ, согласно государственного контракта № 1556/13 от 14.10.2008 г. По этим параметрам испытания следует считать успешными.

Комиссия рекомендовала Минсельхозу РФ осуществить установку нового оборудования на одном из льнозаводов России. Выбор льнозавода, на котором будут апробированы новые машины, должен быть осуществлен

с учетом требований Минсельхоза РФ, предложений льнозаводов, а также с учётом рекомендаций разработчика линии и завода-изготовителя.

В настоящее время новый агрегат МТА-3Л установлен на Даниловском льнозаводе Ярославской области для последующей эксплуатации (рис. 37).



Рис. 37. Новый мяльно-трепальный агрегат МТА-3Л в цеху Даниловского льнозавода (вид: начиная с последней секции мяльной машины и четырёхсекционная трепальная машина)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стабильное обеспечение льняной текстильной промышленности отечественным сырьём является актуальной задачей, особенно в условиях импортозамещения. Поэтому для технологического развития предприятий по первичной обработке льна необходимы инновационные разработки, обеспечивающие снижение себестоимости и повышение качества

трёпаного льняного волокна.

Анализ применяемых на практике машинных технологий, приёмов подготовки сырья и особенностей свойств поступающей на льнозаводы льняной тресты выявил следующее. Используемые МТА для сохранения требуемой производительности, не обеспечивают должного количества и интенсивности воздействий при переработке льна. Это привело к значительному росту (до 50...60 %) доли недоработанных волокнистых прядей. Основной причиной этого явилось существенное повышение неоднородности свойств тресты и её плохая подготовка к трепанию.

Предприятия отрасли в такой ситуации стали рассматривать возможности приобретения и использования импортной техники. Однако апробация закупленных образцов выявила их недостатки, связанные со спецификой отечественного сырья (повышенная влажность, неоднородность свойств и пониженная длина стеблей). Оказалась проблемой стоимость зарубежного оборудования, которая – в 3...4 раза больше, чем у отечественных агрегатов.

При таких условиях потребовалось создание нового оборудования, работа которого обеспечивала бы адаптацию к свойствам исходного льняного сырья на основе применения систем прогнозирования результатов его переработки и автоматизации управления для достижения оптимальных режимов работы МТА.

Для повышения пригодности слоя льняной тресты к трепанию и увеличения выхода длинного волокна обоснованы технические решения по совершенствованию конструкции слоеформирующей машины посредством использования дополнительных узлов: блока контроля свойств тресты, узла встряхивания слоя стеблей, платформы для перемещения комлеподбивателя, механизма сгруживания перед утонением и привода, обеспечивающего изменение степени утонения слоя (с вариантами дискретной или непрерывной регулировки).

Предложено управлять режимами слоеформирующей и других машин, составляющих мяльно-трепальный агрегат в зависимости от свойств перерабатываемой льняной тресты.

Одной из причин низкой эффективности промина концевых участков стеблей льнотресты является неравномерность высоты профиля слоя по его ширине, что является следствием морфологических особенностей строения стеблей льна и их растянутости.

При использовании конструкций зарубежных двухсекционных мяльных машин наличие узла перехвата слоя при использовании стеблей с пониженной длиной и растянутостью приводит к снижению пригодности стеблей к трепанию.

В конструкциях отечественных односекционных мяльных машин, различия толщины слоя по его ширине и формирующиеся из-за этого угловые колебания слоя не позволяют формировать требуемую глубину захождения рифлей для концевых более тонких участков слоя.

Для повышения эффективности промина предложена новая схема двухсекционной мяльной машины. При её работе на заключительном этапе процесса концевые участки подвергаются дополнительному промину с использованием рифлей, конструкция которых снижает вероятность возникновения опасных натяжений волокнистых прядей. Дополнительно к этому исключается условия для возникновения не эффективных угловых колебаний валков. Это достигается за счёт того, что средняя часть слоя не взаимодействует с валками, а фиксируется в зажимном транспортёре.

С целью регулировки глубины захождения рифлей и степени прижатия валков в процессе промина разработана оригинальная конструкция опор валков. В отличие от известных аналогов её применение впервые позволило оперативно менять режимы работы мяльной машины без останова МТА.

Используемые в настоящее время трепальные машины при переработке стланцевой неоднородной по свойствам тресты не обеспечивают требуемых значений выхода и качества длинного волокна в соответствии с отраслевыми нормативами. Выявлена необходимость увеличения количества воздействий на обрабатываемый материал в процессе трепания с возможностью повышенной дифференциации по их интенсивности.

Наиболее целесообразным способом интенсификации обескостривания льна при трепании является совмещение вариантов обработки, основанных на изменении частоты вращения трепальных барабанов и увеличении углов обхвата прядью кромок элементов конструкции барабана в активной зоне. Эффективным приёмом указанного увеличения, наряду с известными решениями, предложено считать рост числа бил на барабане и установку на них специальных тыльных планок с изменяющейся высотой вылета. Целесообразно применение четырёхсекционной трепальной машины.

Для прогнозирования результатов переработки в качестве основных выходных параметров предложено использовать выход трёпаного волокна, содержание в нем костры и долю недоработанных прядей. В основе поиска рациональных условий переработки возможно применение нейросетевого анализа, отличительной особенностью которого является возможность оперативного дообучения системы в производственных условиях.

Для эффективной переработки льнотресты в конструкциях новых машин предусмотрены узлы для оперативного изменения режимов их работы. Они адаптированы с системой управления МТА на основе поточного контроля свойств тресты.

Управление режимами работы МТА возможно с применением двух видов систем: поддержки принятия решений СППР или АСУ. Они

функционируют в зависимости от свойств обрабатываемой стеблей: цвета, структурных параметров совокупности стеблей в ленте и их влажности.

Разработанные варианты реализации СППР и САУ предложены для практического использования при внедрении нового МТА, созданного по результатам исследований КГТУ совместно с Ивановским заводом им. Г.К. Королёва.

Разработанные машины для переработки льна и вариант их агрегатирования успешно прошли государственные испытания и в настоящее время новый МТА-3Л установлен на Даниловском льнозаводе Ярославской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ № 791 «Об установлении запрета на допуск товаров легкой промышленности, происходящих из иностранных государств, в целях осуществления закупок для обеспечения федеральных нужд». – 11 августа 2014 г.
2. Каково волокно – таково и полотно [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства РФ: официальный сайт. – М., 2014. – Режим доступа http://www.mcx.ru/news/news/v7_show/10123.285.htm, свободный. – Загл. с экрана.
3. Владимир Путин призвал проводить политику импортозамещения лёгкой промышленности [Электронный ресурс] // Портал о текстильной и легкой промышленности России. – М., 2014. – Режим доступа <http://www.souzlegprom.ru/ru/press-tsentr/novosti/novosti-otrasli/849-vladimir-putin-prizval-provodit-politiku-importozameshcheniya-v-legkoj-promyshlennosti.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Пашин Е. Л. Агропроизводство и технологическое качество льна. – Кострома: ВНИИ по переработке лубяных культур, 2004. – 207 с.
5. Способ получения длинного лубяного волокна : патент № 2461669 РФ: МПК D 01 B 1/14 / Пашин Е. Л.; опубл. 20.09.2012. Бюл. № 26.

6. Пашин Е. Л. Перспективы развития технологии получения льноволокна // Вестник аграрной науки, № 12, 1992, с. 38–40.
7. Пашин Е. Л. Возможности автоматизации управления работой трепальной машины при переработке льна: деп. в Укр. ИНТЭИ 11.01.93. № 33, Ук 93, с. 24.
8. Пашин Е. Л., Лапшин А. Б., Маянский С. Е. Механическая подготовка льна для получения трепаного волокна (проблемы и направления совершенствования): монография – Кострома: ВНИИ по переработке лубяных культур, 2006. – 212 с.
9. Маянский С. Е., Пашин Е. Л. Анализ и совершенствование процессов подготовки льна к трепанию: монография. – Кострома: КГТУ, 2011. - 259 с.
10. Пашин Е. Л., Лапшин А. Б., Вихарев С. М., Антонов С. И. Технические решения по модернизации оборудования для получения трепаного льняного волокна: брошюра - Кострома: ВНИИ по переработке лубяных культур, 2002. – 77 с.
11. Ипатов А. М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур : учеб. пособие для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1989. - 144 с.
12. Пашин Е. Л., Енин М. С., Румянцева И. А. Разработка новой слоеформирующей машины агрегата для получения трепаного льна // Техника и оборудование для села. № 5, 2015, с. 9-12.
13. Румянцева И. А., Пашин Е. Л. Системы контроля параметров качества льнотресты для управления процессом её переработки: монография. – Кострома : КГТУ, 2014. - 207 с.
14. Способ формирования слоя стеблей лубяных культур : патент № 2496927 РФ, МПК D 01 B 1/32 / Пашин Е. Л., Енин М. С., Румянцева И. А.; опубл. 27.10.2013. Бюл. № 30.

15. Енин М. С. Разработка и обоснование параметров процесса и машины для предварительной обработки льняного сырца: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02, 05.02.13. Кострома, КГТУ, 2010. - 244 с.
16. Маянский С. Е., Пашин Е. Л., Енин М. С. Сравнительный анализ рифлей мяльных пар // Деп. в ВИНТИ, 31.03.2011, №155–В2011. 17 с.
17. Устройство для регулирования глубины захождения рифлей мяльных валков : патент № 2434084 РФ, МПК ⁷ D 01 B 1/10, D 01 B 1/18 / Маянский С. Е., Пашин Е. Л.; опубл. 20.11.2011. Бюл. № 32.
18. Устройство для регулирования глубины захождения рифлей мяльных валков: патент на полезную модель № 149020 РФ, МПК ⁷ D 01 B 1/10, D 01 B 1/18 / Пашин Е. Л., Румянцева И. А.; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35.
19. Енин М. С., Пашин Е. Л. Обоснование конструкции мяльной машины для нового агрегата по переработке льна // Наука и техника для села. 2014. № 11. С. 18–20.
20. Левитский И. Н. Новое в обескостривании лубоволокнистых материалов : в 2 т., т. 1. Кострома: Управление по делам печати и массовой информации Администрации Костромской области, 1994 - 215 с.
21. Лапшин А. Б., Пашин Е. Л. Развитие теории процесса трепания льна: монография – Кострома, КГТУ, 2004 - 204 с.
22. Бойко С. В., Пашин Е. Л. Теоретические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна : монография – Кострома, КГТУ, 2008 - 213 с.
23. Енин М. С., Пашин Е. Л., Орлов А. В. Совершенствование процесса и технических средств подготовки и обработки льняного сырца: монография – Кострома, КГТУ, 2014. - 195 с.
24. Пашин Е. Л., Енин М. С. Разработка новой трепальной машины агрегата для получения длинного льняного волокна // Наука и техника для села. 2015. № 8. С. 12-15.

25. Коваленко Н. И., Разин С. Н., Пашин Е. Л. Основы моделирования зажимного транспортирующего механизма трепальной машины для переработки льна: монография – Кострома, КГТУ, 2013. - 119 с.
26. Маянский С. Е. Развитие теории процессов и совершенствование машинной технологии подготовки льна к трепанию: дис. ... д.т.н.: 05.19.02, 05.02.13. Кострома, КГТУ, 2012. - 445 с.
27. Протокол № 1 государственных приёмочных испытаний машин, входящих в состав линии для получения трепаного льна. – Минсельхоз РФ, 2010. – 29 с.

E.L. Pashin