

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Хусанов К., Бахадиров Г.А.

**ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ
УСТРОЙСТВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКЕ КОЖЕВЕННОГО
ПОЛУФАБРИКАТА**

Издательство Ташкентского института инженеров ирригации
и механизации сельского хозяйства (ТИИИМСХ)

Тошкент-2020

В монографии показаны важнейшие механические операции кожевенного производства – отжим и разводка. Исследованы факторы неравномерности сил расправки в процессе механической обработки и построена математическая модель устройства для расправки листового материала. Рассмотрено два вида устройств: межоперационное транспортирующее устройство, обеспечивающее автоматические линии при механической обработке кожевенного полуфабриката и межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера. Построена кинематическая схема и показаны принципы работы механизма транспортирующего устройства. Исследованы процессы захвата, втягивание и удаления влаги из кожевенного полуфабриката в зоне контакта валковой пары.

Полученный технический результат выражается тем, что предложенное межоперационное транспортирующее устройство, обеспечивающее транспортировку обрабатываемого кожевенного полуфабриката не останавливая, технологический процесс обработки обеспечивает стабильную работу автоматической линии обработки коже полуфабриката и уменьшает физический труд рабочих персоналов.

Авторы:

Кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Теоретическая и строительная механика», ТИИИМСХ К. Хусанов

Доктор технических наук, проф., Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан Г.А. Бахадиров

Рецензенты:

Профессор кафедры «Теоретическая и строительная механика», ТИИИМСХ Т. Мавлянов

Главный научный сотрудник Института механики и сейсмостойкости., сооружений им. М.Т.Уразбаева д.т.н.
Д.М. Мухаммадиев

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА I. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЯГИВАНИЯ И РАСПРАВКИ КОЖЕВЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА В ПРОЦЕССЕ РАЗВОДКИ	17
1.1 Разводка – одна из важнейших механических операций кожевенного производства.....	17
1.2 Исследование факторов, влияющих на неравномерности растягивания в процессе расправки кожевенного полуфабриката.....	23
1.3. Математическая модель устройства для расправки листового материала.....	31
1.4. Особенности винтового вала с постоянным и переменным шагом винта.....	46
1.5 Определение условия, поддерживающие постоянства угловой скорости вала.....	55
1.6 Обоснование приемлемых образцов машин применяемых в механической обработке.....	65
1.7 Выводы к главе I.....	69
ГЛАВА II. МЕЖОПЕРАЦИОННОЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО.....	71
2.1. Создание автоматических линий, соединяющих несколько механических операций по обработке кожевенного полуфабриката.....	71
2.2. Межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера.....	88
2.3. Выводы к главе II.....	93

ГЛАВА III. ДИНАМИКА ПРИЖИМНЫХ И НОЖЕВЫХ ВАЛОВ	95
3.1 Исследование процесса захвата и втягивания кожаного полуфабриката валковой парой.....	95
3.2. Исследование процесса захвата и втягивании кожаного полуфабриката с одним свободным рабочим валком	103
3.3. Исследование степени прочности ножевого вала на упругом основании.....	116
3.4. Выводы к главе III.....	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Постановлением Президента Республики Узбекистан от 3 мая 2018 года № ПП–3693 «О мерах по дальнейшему стимулированию развития и роста экспортного потенциала кожевенной–обувной и пушной–меховой отраслей» отмечены задачи для создания условий для динамичного развития кожевенной–обувной и пушной–меховой отраслей на основе углубления переработки сырья, внедрения передовых технологий, расширения экспортных поставок и формирования благоприятных условий для интеграции производства, образования и академической науки [1].

В настоящее время для развития кожевенно–обувного производства необходимо повышение качества продукции, снижение зависимости от импорта, увеличение объема производства, внедрение новых технологий, что создаст большие перспективы для деятельности малого и среднего бизнеса. Для решения указанной задачи необходимо применение современных технологий кожи, которые позволят повысить качество продукции [1,2].

В целях устойчивого, развития кожевенной промышленности республики, направленное на дальнейшее повышение конкурентоспособности отрасли на основе его модернизации, технического и технологического обновления производства ставится задача по техническому перевооружению предприятий отрасли, увеличению производства импортозамещающей продукции и др.

Несмотря на большое разнообразие типов применяемых машин, и аппаратов в кожевенном производстве сохраняется еще значительное количество немеханизированных операций. Уровень

механизации (удельный вес механизированного труда в общих затратах рабочего времени) составляет 50–75 % и только на передовых предприятиях приближается к 90 %. Кроме того, даже на механизированных операциях рабочему приходится выполнять тяжелые и монотонные ручные вспомогательные операции [3].

Для повышения конкурентоспособности продукции легкой промышленности должны быть решены общие задачи технологического обновления отрасли, повышения эффективности научно–технического обеспечения производства. Наиболее актуальной является задача технического и технологического обновления отрасли автоматизировать и объединяя несколько этапов технологического процесса кожевенного полуфабриката [4].

Низкий уровень механизации объясняется не только неполным удовлетворением кожевенных предприятий оборудованием и средствами механизации, но и объективными причинами, затрудняющими механизацию и автоматизацию многих технологических операций. К таким трудностям относятся специфика кожевенного производства, которую необходимо учитывать при разработке технологического оборудования и средств механизации.

Как известно, при изготовлении обуви, одежды и галантерейных изделий уникальным материалом является кожа, что объясняется ее совершенно специфическими свойствами, не имеющими себе аналогов, в том числе и при их воспроизведении в виде искусственных материалов. При этом качество изделий из кожи, как конечного продукта во всей технологической процессе, в

значительной степени зависит от качества самого материала, последовательности химических и механических обработки представляющего комбинацию большого числа, факторов совершенно независимых друг от друга. Они, представляет в следующем образом;

– определяются видом сырья, а также его исходными характеристиками, совокупность которых, весьма велика (прочность, толщина и неравномерности по площади, мягкость и эластичность, и прочие параметры качества кожи).

– качественные показатели готовой продукции формируются последовательно в технологическом процессе обработки кожи, которая, вступая в этот цикл, носит название "шкура" и только после большого числа операций приобретает необходимые для "кожи" признаки.

– на каждой из операций технологического процесса имеется достаточно большой число управляемых, а также неуправляемых параметров, которые существенно отражаются на свойствах готовой продукции [12–16].

Исходя из последнего, представляется интересным и целесообразным проследить за возможностью управления технологическими параметрами операций обработки кожевенного полуфабриката с тем, чтобы гарантировано получить заданные характеристики готовой продукции [5,6].

Таким образом, превращение шкуру в готовую кожу нельзя выполнять в одном технологическом процессе. Поэтому выделена часть технологического процесса кожевенного и мехового

производств, связанная только с операциями механической обработки. Они обладают некоторой общностью с точки зрения методологии подхода к изучению процессов, и дают возможность формировать целую группу механических (физических) свойств готовой продукции. Например, прочность, толщина и неравномерности по площади, мягкость и эластичность, и прочие параметры качества кожи. Все эти условия заранее задаются в требованиях к готовой продукции и определяют возможности ее дальнейшего использования в виде сырья для обувной и галантерейной промышленности. Основой технологии кожевенного и мехового производства является обработка шкур в водных растворах химических материалов с невысокой концентрацией, чередующаяся с механической обработкой полуфабриката на машинах проходного или непроходного типа [7–16].

Исследованиями, направленными на совершенствование технологических процессов и оборудования легкой промышленности, занимались большое количество авторов [17–19].

Как правило, все физико-химические процессы жидкостной обработки сырья и полуфабриката проводятся партиями, а механическая обработка поштучно. В связи с этим в процессе производства создаются места, на которых комплектуют партии полуфабриката после поштучной обработки или, наоборот, выполняют поштучную выборку и укладку полуфабриката после выгрузки партии из аппарата. Такие операции трудно поддаются механизации, в настоящее время на них приходится основные

затраты ручного труда. Одним из путей ликвидации указанных ручных операций является разработка технологии и оборудования для непрерывной поштучной обработки от сырья до получения готовой продукции [20–23].

Широко распространенным транспортным средством в отделочных цехах кожевенных заводов является тележка. Применяемые тележки отличаются по размерам и сконструированы таким образом, чтобы на них можно было уложить, возможно, больше полуфабриката, чтобы они занимали как можно меньше места, были маневренными и простыми в эксплуатации.

Среди механических операций обработки кожевенного полуфабриката выделены: мездрение, строгание, разводка, мягчение, шлифование, которые формируют качество кожи. Имеют место ряд операций резания (обрезка, обрядка, чепракование), однако, они принадлежат к группе особых операций: разделению всей шкуры на отдельные топографические участки и в большинстве случаев они выполняются вручную, в связи с этим актуален вопрос их механизации. Механическую обработку поверхности полуфабриката на предприятиях легкой промышленности проводят, как основную операцию технологического процесса, выполняемую с целью изменения геометрических размеров полуфабриката. В основе процесса лежит разрушение материала тем или иным способом, т.е. происходит разрушения поверхностных слоев кожи [24–29].

Как видно, при механической обработке кожевенного полуфабриката высока доля ручного труда, межоперационное транспортирование осуществляется вручную на тележках или другими приспособлениями. Операции механической обработки кожевенного полуфабриката чаще всего связаны с резанием, обеспечивающим снятие определенного слоя материала по всей площади. Исключение составляет работа разводных машин, когда притупленные винтообразные ножи осуществляют деформирование (растяжение) полуфабриката. Также специфической является работа тянуще-мягчительных машин, которые обрабатывают кожу путем многократного деформирования, и тем не менее, требуемая степень эластичности не всегда достигается на этой операции, что в конечном итоге влияет на ее качество. Это свидетельствует о целесообразности поиска новых способов обработки кож, которые бы позволили достигать нужной эластичности (мягкости) и тем самым повысить качество кож [30].

Для решения этих проблем необходимо разработать межоперационные транспортирующие устройства и механизмы автоматической линии для механической обработки кожевенного полуфабриката.

Автоматизация процессов предполагает создание технологических линий, представляющих модули определенного стандартного вида: транспортное средство – аппаратура или оборудование для выполнения технологического процесса или операции – автоматический укладчик – транспортное средство.

Создание автоматизированных линий невозможно без решения следующих задач:

- перевод порционной жидкостной обработки на поштучную;
- устранение пролежек;
- интенсификация сушки.

Также активно ведутся работы по созданию агрегатов для поштучной обработки, в которых процессы нанесения и внедрения составов в кожевую ткань выполняются одновременно. В качестве механизмов для нанесения рабочих составов используются пористые валы или транспортеры в сочетании с механизмами, обеспечивающими необходимое воздействие на полуфабрикат. При этом возможны различные сочетания технологических процессов, включающие не только жидкостные, но и механические операции, а также пролежку и сушку [11].

Анализ научных разработок позволяет предложить принципы создания, автоматизированного кожевенно–мехового производства:

- обработка кожевенно–мехового сырья базируется на технологии поштучной обработки полуфабриката на всех процессах и операциях с оценкой его качества на трех промежуточных этапах, т.е. отмока, дубления и красильно–жировальных процессов;

- исследователями, работающими в области создания машин, автоматов и автоматических линий в машиностроении, установлено, что по теории надежности наибольшее количество различных машин, объединенных в автоматические линии всевозможными транспортно–ориентирующими системами, не

может быть примерно больше семь операций. Поэтому целесообразно весь технологический процесс обработки кожевенно–мехового полуфабриката разделить не более на блоки по пяти–шести операций в каждом;

- системы межблочной транспортировки должны включить не только транспортеры, но и автоматические магазины – накопители для создания и расходования межоперационных заделов, устройства управления системой машин;

- для обеспечения качества обработки кожевенно-мехового полуфабриката, в том числе и на жидкостных процессах, необходимо разработать и снабдить машины проходного типа средствами контроля по необходимому числу параметров, например, толщина, масса, площадь, давление.

- управление технологическими процессами осуществляется путем точной дозировки рабочих составов с определенными свойствами, регулированию интенсивности обработки полуфабриката и управлению работой транспортно–ориентирующих устройств;

- в основе построения автоматизированной линии принятие модульного принципа, что позволит обеспечить гибкость технологии путем перекомпоновки модулей, изменения маршрута движения полуфабриката.

Как известно, традиционные методы обработки применяются ко всему ассортименту овчинного полуфабриката без учёта специфических свойств конкретного материала. Недостаток исследований и слабая изученность технологических и

эксплуатационных свойств овчин, особенно овчин новых видов обработки, приводят к тому, что готовые изделия имеют низкие значения показателей качества, и в процессе их эксплуатации возникают различные дефекты, связанные, прежде всего, с нарушением стабильности размеров и формы изделия из-за нерационального выбора методов его обработки.

Поэтому изучение свойств овчин и других полуфабрикатов способствуют правильных выбора параметров технологических машин по обработке кож и долговечности их использования [12].

На разных этапах технологического процесса обработки волокнисто–пористого композита механические воздействия на материал могут превысить допустимые величины, что приводит к потере целостности материала.

Технология обработки различных материалов с применением валковых механизмов широко применяются во многих отраслях промышленности. В легкой, текстильной, хлопкоочистительной, металлургической, резиновой, химической, целлюлозной–бумажной, пищевой и других отраслях промышленности, валковые механизмы являются основными рабочими органами ряда технологических оборудований [12, 31, 33, 36, 38].

Основным рабочим органом валковых машин является валковая пара, контактирующая с обрабатываемым материалом. Технологические процессы в валковых машинах осуществляются в результате контактного взаимодействия валков с обрабатываемым материалом. Возможность интенсивного воздействия валков на материал в зоне контакта способствует повышению эффективности технологических процессов.

Научно–исследовательские работы в области валкового оборудования в основном проводились в направлении разработки методик его проектирования или совершенствования с целью создания высокопроизводительных, эффективных и экономичных машин. Они исследовались с учетом особенностей различных листовых материалов, а также процессов обработки листовых материалов с валковыми устройствами применительно к различным видам оборудования.

Определению влияния диаметров валков на эффективность обработки и определению его параметров посвящено много работ [31-41], так как диаметр валков определяет геометрию зоны контакта. Результаты исследований о влиянии диаметров рабочих валков на остаточную влажность весьма противоречивы. От диаметра валков зависит ширина зоны контакта, время обработки, условия захвата и втягивания материала и соответственно качество его обработки, остаточная влажность материала и др.

В своей диссертации В.Я. Крючков [32] пишет, что “в настоящее время диаметры валков определяются, в первую очередь, из соображений их жесткости и практически приемлемых их размеров”.

В работе [41] также утверждается, что увеличение диаметров рабочих валков приводит к уменьшению остаточной влажности отжатого материала. Однако, согласно работам [42, 43] увеличение диаметров рабочих валков снижает эффективность процесса обработки. Результаты некоторых исследований [44] показали, что с увеличением твердости покрытий валков эффективность обработки возрастает.

После отжима осуществляют разводку кожевенного полуфабриката, иногда эти операции совмещают. Разводка состоит в разглаживании складок и морщин на кожевенном полуфабрикате с одновременным удалением из неё части влаги. В процессе разводки происходит растяжение кожи и увеличение её площади, уменьшение тягучести, а также некоторое уплотнение под давлением ножей. Рабочим органом всех разводных машин является ножевой вал с тупыми ножами. Разводка кож производится при определенной их влажности [45–51].

Распиливание, т.е. двоение кожевенного полуфабриката ножом, является одним из важнейших технологических процессов кожевенного производства. При двоении уменьшается и выравнивается толщина кожевенного полуфабриката и получается один или несколько слоев материала заданной толщины. Для двоения кожевенного полуфабриката применяются двоильно-ленточные машины с непрерывно движущимся ленточным ножом [12, 38, 51, 52].

В работе [49] проведены исследования изменения предельных показателей на операциях разводки и тяжки кожевенного и мехового полуфабриката. Установлено, что при разводке происходит уменьшение прочности, и увеличение площадь кожевенного материалы, что необходимо учитывать при назначении параметров проведения данных технологических операций.

В первой главе показаны важнейшие механические операции кожевенного производства – отжим и разводка. Исследованы

факторы неравномерности сил расправки в процессе механической обработки и построена математическая модель устройства для расправки листового материала;

Во второй главе рассмотрено два вида устройств: межоперационное транспортирующее устройство, обеспечивающее автоматические линии при механической обработке кожевенного полуфабриката и межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера. Построена кинематическая схема и показаны принципы работы механизма транспортирующего устройства.

В третьей главе рассмотрены взаимодействия рабочих валков и кожевенного полуфабриката в процессе механической обработки. Изложены при соприкосновении кожевенного полуфабриката с рабочими валками, имеющими одинаковый диаметр, и являющимся приводными они будут оказывать на кожевенный полуфабрикат действие в виде двух суммарных сил давления N , направленных нормально к поверхностям рабочих валков и двух суммарных сил трения, направленных к ним касательно. Исследована степень прочности ножевого вала на упругом основании и определены частоты собственных колебаний и критические числа оборотов ножевого вала. Составлены программы для расчета степени прочности ножевого вала на упругом основании и для расчета частоты собственных колебаний и критических оборотов ножевого вала.

ГЛАВА I

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЯГИВАНИЯ И РАСПРАВКИ КОЖЕВЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА В ПРОЦЕССЕ РАЗВОДКИ

1.1. Разводка – одна из важнейших механических операций кожевенного производства

Предлагаемое устройство для расправки листового материала относится к ликвидации морщин и складок, выравнивание кожи по площади и частичное увеличение последней.

Известно, что устройство для расправки листовых материалов содержащее два винтовых вала установленных над прижимными валами, две пары нижний и верхний транспортирующие валы, установленных один над другим, подающий и отводящий механизмы с транспортирующими валами, где подающий и отводящий механизмы выполнены в виде единого цельного конвейера с набранными струнами [12].

Однако известное устройство имеет недостаток, который заключается в том, что не обеспечивается качественная расправка листового материала, т.к. скорость входа и выхода листового материала одинаковы из-за цельности транспортирующего конвейера.

Нами были поставлена задача – повысить качества расправки и растяжки листового материала на всех участках его обработки и сообщить желаемую скорость листовому материалу после расправки.

Поставленная задача достигается тем, что в устройстве для расправки листового материала с управлением, бесконечные струны транспортирующего конвейера состоят из двух групп, которые огибают опорный вал первого расправляющего блока поочередно и обеспечивают регулировать разницу скоростей при входе и выходе листового материала в зону обработки.

Устройство содержит транспортирующий конвейер и блоки расправки и систем управления. Транспортирующий конвейер содержит валы с натянутыми бесконечными струнами, которые огибают опорный вал первого расправляющего блока. Один из групп струн посажены на кольца, установленные в канавках опорного вала первого расправляющего блока и позволяют регулировать их скорость. Блоки расправки содержат опорный и винтовые валы.

Технический результат выражается тем, что за счёт полной расправки листового материала первым и вторым расправляющими блоками достигается расправка листового материала по продольному направлению, а за счёт разницы скоростей групп струн транспортирующего конвейера производится растяжка в поперечном направлении.

На рисунке 1– изображена схема устройства для расправки листового материала с управлением, с боку; на рисунке 2 – тоже, вид сверху (*прижимные и расправляющие валы не показаны*); на рисунке 3 – размещение струн на первом расправочном блоке, вид по разрезу *A–A*; рисунке 4 – размещение струн на втором расправочном блоке, вид по разрезу *B–B*; рисунке 5 – размещение

струн на опорном валке второй части транспортирующего конвейера, вид по разрезу С–С;

Устройство для расправки листового материала с управлением содержит струнный транспортирующий конвейер, состоящий из двух групп струн 1 и 2, из двух блоков расправки I и II а также систем управления III и IV.

Струны первой группы 1, огибают канавки транспортирующего вала 3 и опорного вала 4, первого расправочного блока I. Струны второй группы 2, огибают канавки транспортирующего вала 5 и кольца 6, свободно установленных в канавках опорного вала 4, первого расправочного блока I (рисунки 1–5).

Причем, бесконечные струны первой 1 и второй 2 группы огибают опорный вал 4 первого расправляющего блока поочередно (рисунок 2).

Первый расправочный блок состоит из опорного вала 4, с кольцами 6, установленными в канавках и управляемого винтового расправляющего вала 7. Второй расправочный блок состоит из опорного вала 8 и управляемого винтового расправляющего вала 9 (рисунки 3–4).

На участке струн первой группы 1, перед первым блоком расправки I установлены опорный 11 и прижимной 12 валы. На участке струн второй группы 2, после второго блока расправки II, также установлены опорный 13 и прижимной 14 валы (рисунок 5). Устройство снабжено системой управления III и IV.

Устройство работает следующим образом: в начале работы, управляемые винтовые расправляющие валы 7 и 9, блоков расправки I и II, приподняты. Обрабатываемый листовый материал 15, находясь на струнах первой группы 1, движется с определенной скоростью \mathcal{Q}_1 . При прохождении листового материала 15 через систему управления III, подается сигнал, и винтовой расправляющий вал 7 первого блока расправки I опускается, вращаясь попутно с движением листового материала 15. Начинается расправка входной части листового материала 15.

Когда начало листового материала 15 войдет в зону системы управления IV, подается сигнал и винтовой расправляющий вал 9 второго блока расправки II опускается, вращаясь встречно движению листового материала 15. Начинается расправка выходной части листового материала 15, где листовым материалом движется со скоростью \mathcal{Q}_2 .

При выходе конца листового материала 15 из зоны системы управления III подается сигнал, и винтовой расправляющий вал 7 первого блока расправки I приподнимется. Когда конец листового материала 15 выйдет из зоны системы управления III подается сигнал, и винтовой расправляющий вал 9 второго блока расправки II приподнимется.

Выполнение бесконечных струн транспортирующего конвейера из двух групп 1 и 2, которые огибают опорный вал 4, первого расправляющего блока I, поочередно, причем струны второй группы 2, огибают канавки транспортирующего вала 5 и кольца 6, свободно установленных в канавках опорного вала 4, первого расправочного блока I, позволяют регулировать скорости \mathcal{Q}_1 и \mathcal{Q}_2 .

Регулируя линейную скорость опорного вала 13 и прижимного вала 14 достигается необходимая растяжка обрабатываемого листового материала 15 между блоками расправки I и II. При этом, свободно посаженные кольца 6 опорного вала 4 позволяют установить необходимую разницу скоростей \bar{v}_1 и \bar{v}_2 .

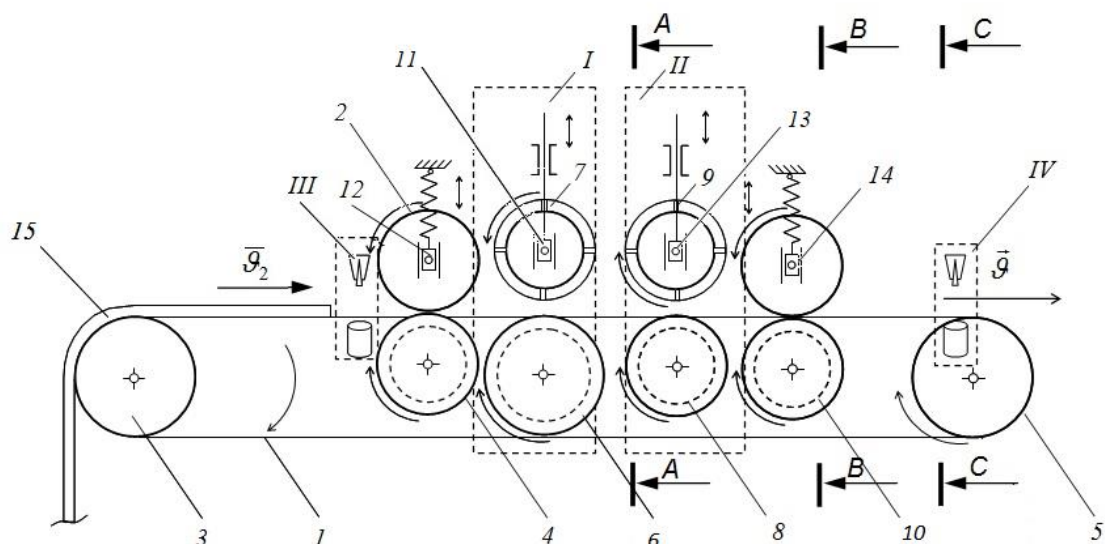


Рисунок 1. Схема устройства для расправки при транспортировании

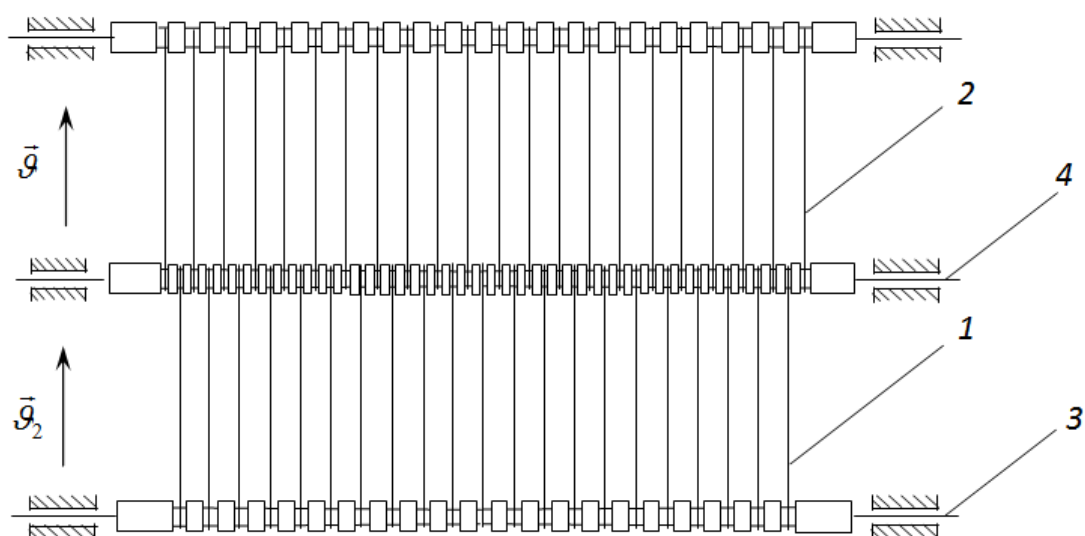


Рисунок 2. Вид размещения струн сверху

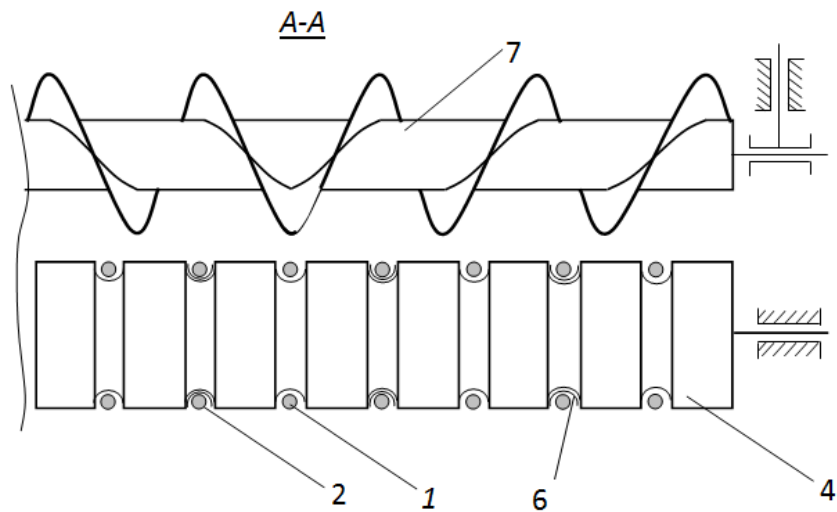


Рисунок 3. Размещение струн на первом расправочном блоке

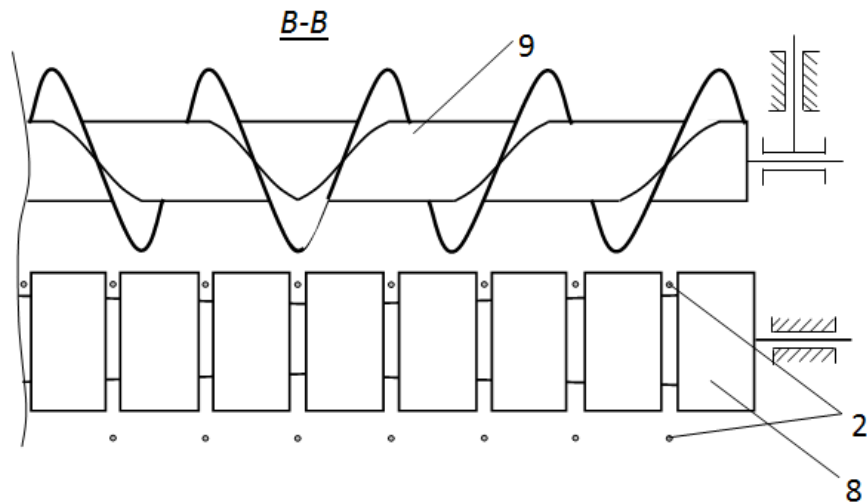


Рисунок 4. Размещение струн на втором расправочном блоке

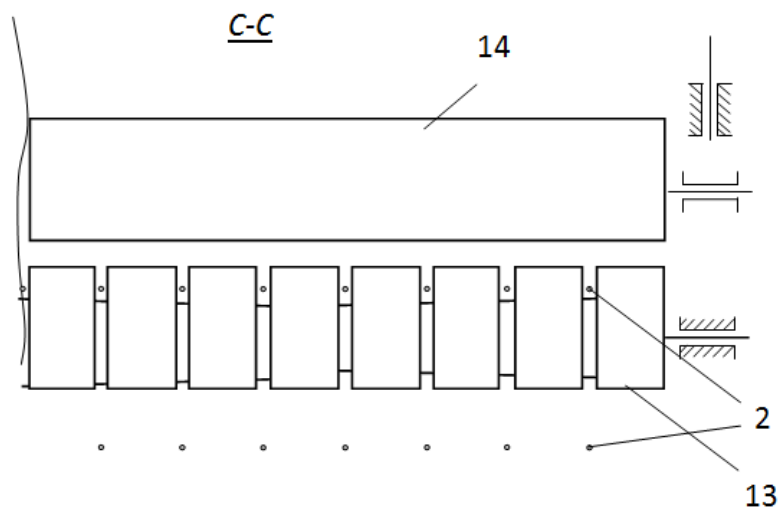


Рисунок 5. Размещение струн на опорном валке

1.2. Исследование факторов, влияющих на неравномерности растягивания в процессе расправки полуфабриката

Ранее нами была рассмотрена работа расправочного вала с винтовыми лопастями [47, 61] для случая, когда подвижный расправочный вал находится на поверхности полуфабриката, который в свою очередь лежит на поверхности транспортирующего конвейера, движущегося с постоянной поступательной скоростью. Или на поверхности рабочего вала, вращающегося с постоянной угловой скоростью для случаев:

а) когда направления линейных скоростей грани лопасти расправочного вала и полуфабриката совпадают;

б) когда направления линейных скоростей грани лопасти расправочного вала и полуфабриката направлены противоположно.

Полученные результаты применим к устройству для расправки полуфабриката, когда направления скорости полуфабриката и линейные скорости лопасти расправочного вала направлены в одну сторону (для расправочного вала 7) и противоположную сторону (для расправочного вала 9). Подъем опускание расправочных валов 7,9 и прижимных валов 2,14 осуществляются при помощи направляющих 11–14 (рисунок 1).

Сначала рассмотрим процесс обработки полуфабриката при помощи блока $A-A$ (на участке 3–7) т.е. когда направления линейных скоростей грани лопасти расправочного вала 7 и полуфабриката совпадают (рисунок 1).

Обрабатываемый материал 15 расположен на транспортере состоящего из бесконечных струни перемещается поступательно со скоростью \vec{v}_2 .

Лопастей расправочного вала 7 вращаются относительно оси вращения расправочного вала 7 с угловой скорости ω_7 против часовой стрелки с окружной скоростью грани лопасти M равной \bar{g}_7 .

Точка M лопасти расправочного вала, находящаяся на радиусе R_7 , вне центроиды опишет удлиненную циклоиду или так называемую трохойду $MM_1M_2M_3$, которая и является траекторией точки M лопасти относительно обрабатываемой поверхности.

По таким же траекториям будут перемещаться точки лопасти, расположенные на расправочном валу, следовательно, обработанная поверхность в идеальном случае будет ограничена дугами трохойд aa . В этом случае вращающаяся лопасть расправляет полуфабриката глубиной h и шириной S_b . Отношения этих размеров $[S_b : h]$, влияют на расправляемость полуфабриката. Чем оно больше, тем лучше расправляемость. В дальнейшем можно считать с достаточной точностью $S = S_b$ т.е., при максимальной хорде трохойды aa .

Длина хорды S каждой дуги трохойды соответствует перемещению полуфабриката за время его обработки одной лопастью, т.е. подаче на один лопасть, которая достаточно точно определяется из уравнения

$$S = \frac{60g_2}{n_7 d_7}, \quad \text{мм/лопасть,}$$

где n_7 - число оборотов расправочного вала в минуту; d_7 - число лопастей на валу.

Зависимость между h и S можно установить при помощи уравнения трохойды. Если направить ось x по оси вращения расправочного вала, ось y по направлению полуфабриката, то уравнение трохойды в параметрической форме примет следующий вид [12]:

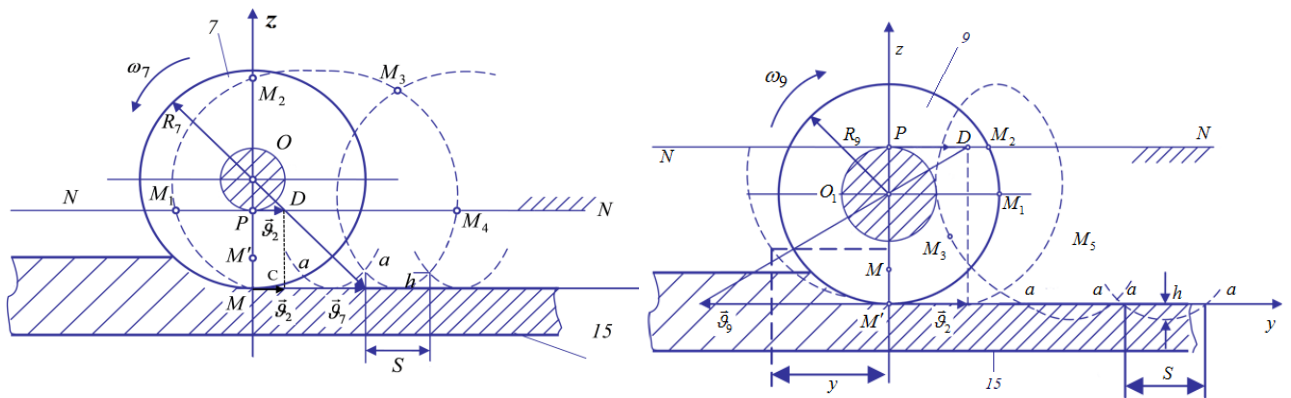
$$x = a_1 \cdot \frac{\omega_7}{2\pi} \cdot t, \\ y = \vartheta_2 t - R_7 \sin(\omega_7 t) \quad \text{и} \quad z = R_7(1 - \cos(\omega_7 t)), \quad (1.1)$$

где ω_7 – угловая скорость расправочного вала 7.

Теперь рассмотрим обработку полуфабриката при помощи блока $B-B$ (на участке 9–5) т.е., когда направления линейных скоростей грани лопасти расправочного вала 9 и полуфабриката не совпадают (рисунок 6, а).

На участке 9–5, т.е. когда направления линейных скоростей грани лопасти расправочного вала и полуфабриката направлены противоположно (рисунок 2, б).

Обрабатываемый материал 15 перемещается поступательно со скоростью $\vec{\vartheta}_2$, а лопасти MM' расправочного вала 9 вращаются относительно центра O_1 расправочного вала по часовой стрелки с окружной скоростью грани лопасти M равной $\vec{\vartheta}_9$. Для определения траектории точки M относительно перемещающегося полуфабриката обычным способом найдём центр мгновенного вращения лопасти при его движении относительно полуфабриката 15.



а) расправочный вал 7

б) расправочный вал 9

Рисунок 6. Траектории грани лопастей расправочных валов 7 и 9

Тогда, уравнение трохоиды в параметрической форме:

$$x = a_1 \cdot \frac{\omega_9}{2\pi} \cdot t, \quad y = \mathcal{G}_2 t + R_9 \sin(\omega_9 t) \quad \text{и} \quad z = R_9 (1 - \cos(\omega_9 t)), \quad (1.2)$$

где ω_9 – угловая скорость расправочного вала 9.

Для расправочного вала с постоянным шагом винтовых лопастей определим скорости их граней относительно полуфабриката для случаев;

а) когда направление линейных скоростей грани расправочного вала и полуфабриката совпадают

$$\mathcal{G}_x = a_1 \cdot \frac{\omega_7}{2\pi}; \quad \mathcal{G}_y = \mathcal{G}_2 - R_7 \omega_7 \cdot \cos(\omega_7 t); \quad \mathcal{G}_z = R_7 \omega_7 \cdot \sin(\omega_7 t),$$

$$\mathcal{G}_7 = \sqrt{\mathcal{G}_2^2 - 2\mathcal{G}_2 R_7 \cdot \omega_7 \cos(\omega_7 t) + R_7^2 \cdot \omega_7^2 + \frac{a_1^2}{4\pi^2} \cdot \omega_7^2}. \quad (1.3)$$

б) когда направление линейных скоростей грани расправочного вала и полуфабриката направлены противоположно:

$$\mathcal{G}_x = a_1 \cdot \frac{\omega_9}{2\pi};$$

$$g_y = g_2 + R_9 \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t);$$

$$g_z = R_9 \omega_9 \cdot \sin(\omega_9 t),$$

$$g_9 = \sqrt{g_2^2 + 2g_2 R_9 \cdot \omega_9 \cos(\omega_9 t) + R_9^2 \cdot \omega_9^2 + \frac{a_1^2}{4\pi^2} \cdot \omega_9^2}. \quad (1.4)$$

Для построения графиков скоростей \vec{g}_7 и \vec{g}_9 для заданного значения \vec{g}_2 $g = 0.18$, $R = 0.11$, $a = 0.2$ и используем программу EXCEL из пакета MS-Office (рисунок 7),

Таким образом, принятыми значениями \vec{g}_2 , R_7 , R_9 , скорости лопасти расправочного вала с постоянным шагом при $n = 120$ об/мин более стабильно вращается, т.е. вибрации в опорах расправочных валов 7 и 9 будет наименьшими.

Для расправочного вала с переменным шагом лопастей закон движения поверхности касания грани лопастей с полуфабрикатом имеет следующий вид [46]:

$$x = \frac{2a_1}{k_0} \left[(k_0 + 1) \frac{\omega t}{2\pi} - 1 \right], \quad (1.5)$$

где a_1 – первый ход винтовой лопасти расправочного вала с переменным ходом от середины к его краям; k_0 – коэффициент учитывающий скольжения винтовой лопасти по полуфабрикату [53].

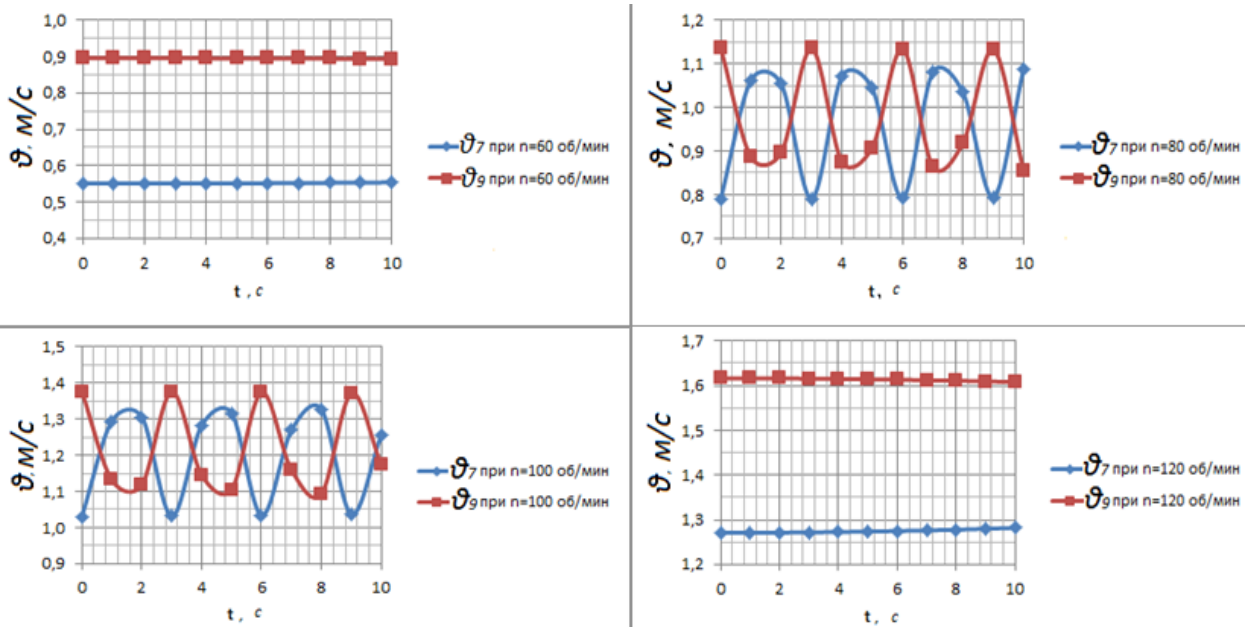


Рисунок 7. Графики изменения скоростей расправочных валов с постоянным шагом винтовых лопастей 7 и 9

Определяя из равенства (1.5) время t , и подставляя это значение в уравнения (1) и (2), получим уравнение траектории грани винтовой лопасти на участке 3–7 и 9–5, соответственно:

$$y_7 = \vartheta_2 \frac{\ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right|}{\omega_7} \cdot b_1 - R_7 \sin \left[b_1 \cdot \ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right| \right],$$

$$z_7 = R_7 \cdot \left[1 - \cos \left(b_1 \cdot \ln \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right) \right], \quad (1.6)$$

и

$$y_9 = \vartheta_2 \frac{\ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right|}{\omega_7} + R_9 \sin \left[b_1 \cdot \ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right| \right],$$

$$z_9 = R_9 \cdot \left[1 - \cos \left(b_1 \cdot \ln \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right) \right], \quad (1.7)$$

где

$$b_1 = \frac{2\pi}{\ln|k_0 + 1|}.$$

Беря производные от обеих частей равенства (1), (2) и (5), определим составляющие скорости вектора грани лопасти расправочных валов для участков 3–7 и 9–5:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{7x} &= b_1 \cdot \omega_7 \cdot (k_0 + 1) \frac{\omega_7 t}{2\pi}, & \mathcal{G}_{7y} &= \mathcal{G}_2 - R_7 \cdot \omega_7 \cdot \cos(\omega_7 t), \\ \mathcal{G}_{7z} &= R_7 \cdot \omega_7 \cdot \sin(\omega_7 t), & \mathcal{G}_{9x} &= b_1 \cdot \omega_9 \cdot (k_0 + 1) \frac{\omega_9 t}{2\pi}, \\ \mathcal{G}_{9y} &= \mathcal{G}_2 + R_9 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t), & \mathcal{G}_{9z} &= R_9 \cdot \omega_9 \cdot \sin(\omega_9 t), \end{aligned}$$

где

$$b_1 = \frac{a_1 \ln|k_0 + 1|}{k_0 \cdot \pi}.$$

Тогда скорости \mathcal{G}_7 и \mathcal{G}_9 можно определить:

$$\mathcal{G}_7 = \sqrt{b_1^2 \cdot \omega_7^2 (k_0 + 1) \frac{\omega_7 t}{\pi} + \mathcal{G}_2^2 + R_7^2 \cdot \omega_7^2 - 2R_7 \cdot \omega_7 \cdot \mathcal{G}_2 \cos(\omega_7 t)}, \quad (1.8)$$

$$\mathcal{G}_9 = \sqrt{b_1^2 \cdot \omega_9^2 (k_0 + 1) \frac{\omega_9 t}{\pi} + \mathcal{G}_2^2 + R_9^2 \cdot \omega_9^2 + 2R_9 \cdot \omega_9 \cdot \mathcal{G}_2 \cos(\omega_9 t)}. \quad (1.9)$$

Аналогичным образом, определяем ускорения грани винтовой лопасти расправочных валов для участков 3–7 и 9–5:

$$a_{7x} = b_2 \cdot \omega_7^2 \cdot (k_0 + 1) \frac{\omega_7 t}{2\pi}, \quad a_{7y} = R_7 \cdot \omega_7^2 \cdot \sin(\omega_7 \cdot t),$$

$$a_{7z} = R_7 \cdot \omega_7^2 \cdot \cos(\omega_7 \cdot t), \quad a_7 = \omega_7^2 \cdot \sqrt{R_7^2 + b_2^2 \cdot (k_0 + 1) \frac{\omega_7 t}{2\pi}},$$

и

$$a_{9x} = b_2 \cdot \omega_9^2 \cdot (k_0 + 1) \frac{\omega_9 t}{2\pi}; \quad a_{9y} = -R_9 \cdot \omega_9^2 \cdot \sin(\omega_9 \cdot t),$$

$$a_{9z} = R_9 \cdot \omega_9^2 \cdot \cos(\omega_9 \cdot t), \quad a_9 = \omega_9^2 \cdot \sqrt{b_2^2 \cdot (k_0 + 1) \frac{\omega_9 t}{2\pi} + R_9^2},$$

где

$$b_2 = \frac{b_1 \cdot \ln|k_0 + 1|}{k_0 \cdot \pi} = \frac{a_1 \cdot \ln^2|k_0 + 1|}{2k_0 \cdot \pi^2}.$$

Известно, что при влажности полуфабриката 60–65 %, значения коэффициента расправляемости равен $k_0 = 0,2$ [53], и зная, что для полной расправки складок полуфабриката расправочный вал должен совершат $\xi = \frac{K}{k_0}$ оборотов, т.е. $k_0 \ll K$.

Тогда из равенств (8) и (9) следует, что скорости \mathcal{V}_7 и \mathcal{V}_9 грани винтовых лопастей расправочных валов 7 и 9 в начале возрастают.

Для построения графиков скоростей $\vec{\mathcal{V}}_7$ и $\vec{\mathcal{V}}_9$ используем программу EXCEL из пакета MS–Office (рисунок 8),

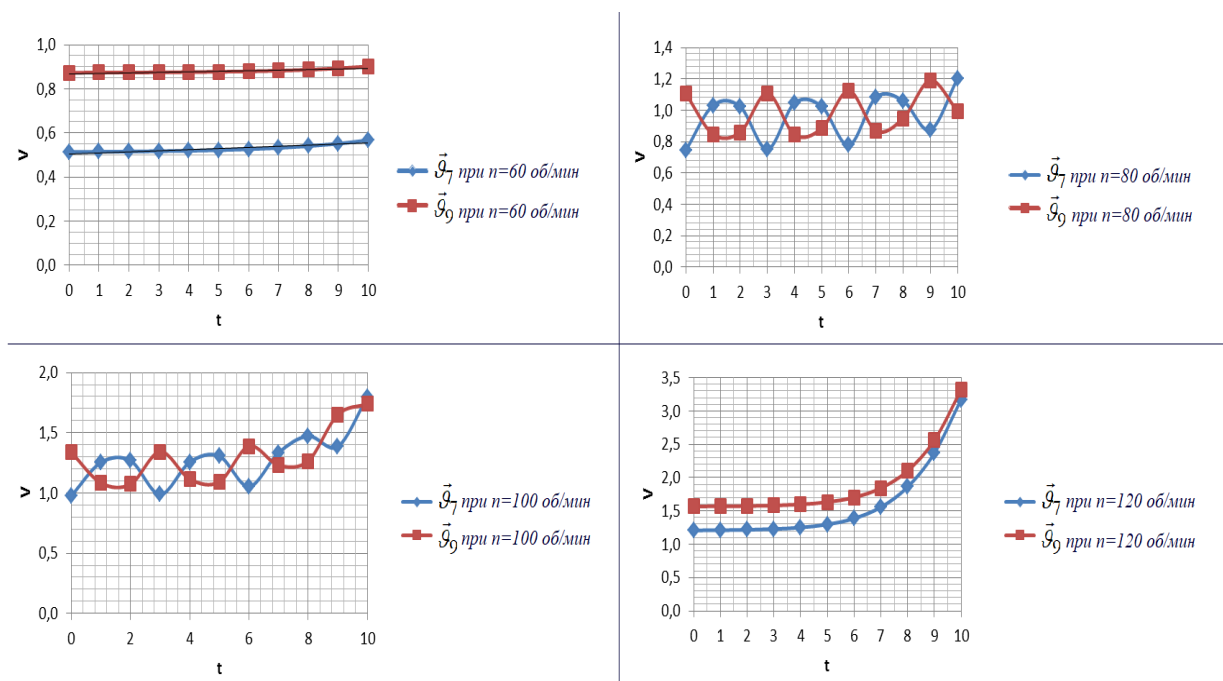


Рисунок 8. Графики изменения скоростей расправочных валов с переменным шагом винтовых лопастей 7 и 9

Из графиков для скоростей \vec{g}_7 и \vec{g}_9 для расправочного вала с переменным шагом следуют, что, при $n=60$ об/мин расправка происходит равномерно. При последующих значениях $n=80, 90, 100, 110$ об/мин расправочные валы будут вращаться с вибрациями. При $n=120$ об /мин и последующих значениях линейных скоростей расправочных валов 7 и 9 возрастают.

1.3. Математическая модель устройства для расправки листового материала

Как известно, что применения механизмов транспортирования, расправки и растяжки полуфабриката с расправляющими валами позволяют повысить качество механической обработки и выход полезной площади полуфабриката.

Известно, что для проектирования и построения устойчиво работающей машины или устройство, прежде всего необходимо подробно изучить планируемые технологические процессы и выделить их основные параметры. Для определения основных параметров рассматриваемых технологических процессов составим математическую модель системы.

Для составления математической модели рассматриваемой системы на участках 3–4 и 8–5 использованы методы математического анализа и аналитической механики [29–34]. При определении силы, действующих на рассматриваемую систему учтены выводы работы [41 –44].

В определенных кожевенно–меховых машинах кожевенный полуфабрикат при механической обработке перемещается струнно-

валковыми транспортирующими механизмами, состоящими из бесконечных струн, ведущих и ведомых валов с канавками для размещения струн. Опорный вал с канавками для струн и прижимной вал, размещенные между ведущим и ведомым валами один над другим с возможностью регулирования скорости вращения кинематическая связаны с ведомым валом (1).

Устройство содержит транспортирующий конвейер и блоки расправки. Транспортирующий конвейер содержит ведущий 5 и ведомый 3 валы с натянутыми бесконечными струнами 1. Блоки расправки содержат опорные 4, 8 и прижимные 12, 14 валы, а также опорные 11, 13 и расправочные 7, 9 валы.

Полуфабрикат, лежащий на струнах движется со скоростью движения струн, т.е. $\bar{\vartheta}_2$. При входе полуфабриката в валы 11, 12 расправочный вал 7 с винтовыми лопастями опускается и вращается в попутном направлении с полуфабрикатом 15, расправляется входная часть полуфабриката. При этом вал 9 находится в приподнятом положении. Полуфабрикат двигаясь далее войдет в валы 13 и 14, с этого момента вал 9 опускается и вращается встречно направлению движения полуфабриката, расправляя его выходную часть. Когда конец полуфабриката приближается к валкам 11 и 12, расправочный вал 7 приподнимается. Так цикл повторяется. Подъем и опускание валков 7 и 9 осуществляется специальными механизмами и устройствами, которые не показаны на рисунке 1. При этом поддерживается условие

$$\vartheta_2 = k\vartheta, \quad (1.10)$$

где \mathcal{G} – соответствует скорости транспортирующего конвейера на участке 9–5; k – коэффициент, подбираемый экспериментально, $k \geq 1$.

Сначала рассмотрим движение системы, состоящей из «кожевенный полуфабрикат + прижимной вал + расправляющий вал» на участке 3–7 (рисунок.1). Данная система имеет четыре степени свободы. Продолжая преобразования, скорости точек расправляющего вала, полученные в работе [35], определяем зависимость угловой скорости расправляющего вала со скоростью полуфабриката 15.

$$\omega_7 = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\dot{y}_2}{(R_7 + r_7)} = a_1 \cdot \dot{y}_2, \quad (1.11)$$

где

$$a_1 = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{1}{(R_7 + r_7)},$$

β – угол подъема винтовой линии, γ – угол между направлением скорости подачи кожевенного полуфабриката и направлением полной скорости точки касания лопасти расправляющего вала; $R_7 + r_7$ – диаметр вала (с учетом высоты лопастей r_7).

Расправляющий вал вращается с постоянной угловой скоростью ω_7 . Чтобы поддерживать постоянства угловой скорости расправляющего вала, необходимо к нему приложить дополнительное усилие. Если примем равенство (1.11) как дополнительная связь, управляемая (сервосвязь), то ее силы реакции будут дополнительными усилиями. Тогда рассматриваемая система имеет три степени свободы. Поэтому в качестве

независимых параметров возьмем $q_1 = y_2$ – перемещение полуфабриката 15, где $q_1 = y_2$ и $q_2 = z_1$, $q_3 = z_2$ – координаты левой и правой опоры A_1 и B_1 расправляющего вала. Неподвижную систему координат A_1xyz выбираем так, чтобы её начала совпала с левой опорой в положении равновесия (рисунок 9).

Для определения изменения этих координат и силы реакции связи (1.11) воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода [36,37]. Так как число уравнений Лагранжа при наличии идеальных и голономных связей равно числу степеней свободы системы, т.е. числу обобщенных координат следовательно, то в данном случае следует записать уравнение Лагранжа для обобщенных координат y_2, z_1 и z_2 :

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i + Q'_i, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1.12)$$

где Q'_i – обобщенные силы, обусловленные реакциями R'_i дополнительной связи (1.11).

Перейдем к определению кинетической энергии материальной системы

$$T = T_3 + T_4 + T_7 + T_{11} + T_{12},$$

где T_3 – кинетическая энергия ведомого вала 3; T_4 – кинетическая энергия опорного вала 4; T_{11} – кинетическая энергия опорного вала 11; T_{12} – кинетическая энергия прижимного вала 12; T_{15} – кинетическая энергия кожевенного полуфабриката; T_7 – кинетическая энергия расправляющего вала 7, которая согласно теореме Кенига

имеет вид:

$$T_7 = \frac{1}{2} m_7 \dot{z}_c^2 + \frac{1}{2} A \omega_{x1}^2 + \frac{1}{2} B (\omega_{y1}^2 + \omega_{z1}^2),$$

где $\omega_{x1}, \omega_{y1}, \omega_{z1}$ – проекции угловой скорости расправляющего вала на подвижные оси координат; A – момент инерции расправляющего вала относительно оси вращения; B – момент инерции расправляющего вала относительно оси перпендикулярной к оси вращения и проходящий через его центр.

Координаты центра масс вала и углы, определяющие положение оси вала, равны [53]

$$z_c = z + e \cdot \sin \omega t = z_1 \frac{\ell_2}{\ell} + z_2 \frac{\ell_1}{\ell} + e \cdot \sin \omega t, \quad \gamma_7 = \frac{z_2 - z_1}{\ell},$$

где z_c – аппликата центра масс вала; z_1, z_2 – координаты левой и правой опоры; z – аппликата точки геометрической оси вала (оси вращения), лежащей на пересечение этой оси с плоскостью, перпендикулярной к оси вращения и проходящей через центр масс; γ_7 – угол между проекциями оси вращения вала на плоскость xz и осью x ; e – расстояние от геометрической оси до центра масс расправляющего вала; ℓ – расстояние между подвижными опорами (опоры вместе валом перемещаются в вертикальной плоскости xz). Расстояние от центра масс вала C до опоры A_1 равно l_1 , до опоры B_1 равно l_2 .

Направив (как показано на рисунке 10), подвижные оси координат по главным центральным осям инерции вала, найдем проекции угловой скорости на эти оси, заметив что, угловая

скорость расправляющего вала состоит из двух составляющих: ω_{x1} – угловая скорость собственного вращения вала 7, направленная по оси x_1 ; ω_{y1} – направленная по оси y_1 с точностью до второго малости включительно и с учётом знаков проекций находим:

$$\omega_{x1} = \omega_7 = a_1 \cdot \dot{y}_2; \quad \omega_{y1} = -\dot{\gamma}_7 = -\frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{l}, \quad \omega_{z1} = 0.$$

Подставив эти значения в выражение кинетической энергии расправляющего вала и заменив $\dot{z}_c, \omega_{x1}, \omega_{y1}$ их выражениями получим:

$$T_7 = \frac{1}{2} A \cdot a_1^2 \dot{y}_2^2 + \frac{1}{2} m_7 \left[\frac{\dot{z}_1 l_2 + \dot{z}_2 l_1}{l} + e \cdot \omega_7 \cdot \cos(\omega_7 \cdot t) \right]^2 + \frac{1}{2} B \left(\frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{l} \right)^2$$

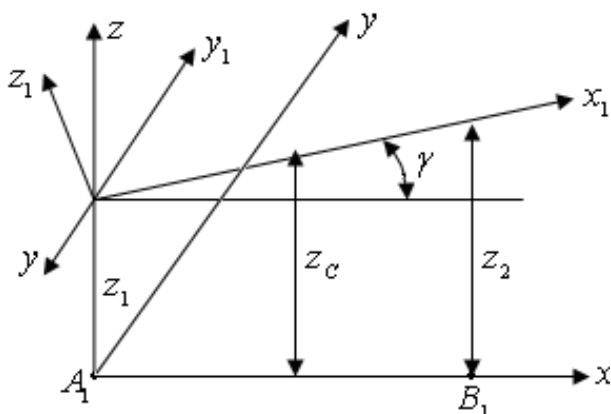


Рисунок 9. Расчётная схема для выбора системы координат расправляющего вала

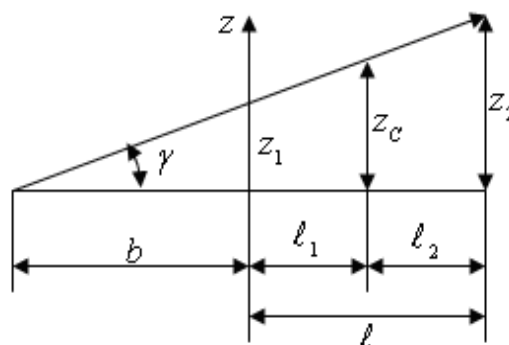


Рисунок 10. Расчётная схема определение независимых координат расправляющего вала

После простых преобразований найдем кинетическую энергию данной материальной системы:

$$T = \frac{1}{2} a_2 \dot{y}_2^2 + \frac{1}{2} m_7 \left[\frac{\dot{z}_1 l_2 + \dot{z}_2 l_1}{l} + e \cdot \omega_7 \cdot \cos(\omega_7 \cdot t) \right]^2 + \frac{1}{2} B \left(\frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{l} \right)^2 \quad (1.13)$$

$$a_1 = \frac{tg\alpha}{tg\beta} \cdot \frac{1}{(R_7 + r_7)}, \quad a_2 = \frac{J_2}{R_2} + \frac{J_4}{R_4^2} + \frac{J_8}{R_8^2} + m_3 + J_6 \cdot \frac{1}{R_6^2} + A \cdot a_1^2, \quad t = \frac{L}{\dot{y}_2},$$

Потенциальная энергия системы равна

$$\Pi = \frac{1}{2} c_1 z_1^2 + \frac{1}{2} c_2 z_2^2,$$

где c_1, c_2 – коэффициент жесткости левых и правых опор (A_1, B_1).

Учитывая (1.11), найдем частные производные кинетической энергии по обобщенным скоростям $\dot{z}_1, \dot{z}_2, \dot{y}_2$ и обобщенным координатам z_1, z_2, y_2 , а также полной производной по времени t :

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2} = a_2 \dot{y}_2 + m_7 \cdot \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \left[e a_1 \cdot \cos(\omega_7 t) - e \cdot a_1^2 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t) \right]$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_1} = m_7 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \frac{\ell_2}{\ell} - \frac{B}{\ell^2} (\dot{z}_2 - \dot{z}_1),$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_2} = m_7 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \frac{\ell_1}{\ell} + \frac{B}{\ell^2} (\dot{z}_2 - \dot{z}_1),$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2} = a_2 \ddot{y}_2 + m_7 \left[\frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \ddot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) - e \cdot a_1^2 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot (\dot{y}_2 + t \ddot{y}_2) \right]$$

$$\cdot \left[\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t) \right] \cdot e a_1 + m_7 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot e a_1 \cdot$$

$$\cdot \left[-\sin(\omega_7 t) \cdot a_1 (\dot{y}_2 + t \ddot{y}_2) - a_1 \ddot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) - a_1^2 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \cos(\omega_7 t) \cdot (\dot{y}_2 + t \ddot{y}_2) \right] =$$

$$= a_2 \ddot{y}_2 + m_7 \left[\frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e a_1 \cdot \cos(\omega_7 t) \cdot \ddot{y}_2 - e \cdot a_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) - a_1^2 \cdot e \dot{y}_2 \cdot$$

$$\cdot \sin(\omega_7 t) \cdot t \ddot{y}_2 \left[\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t) \right] \cdot e a_1 + m_7 \cdot e a_1^2 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right]$$

$$\left[-\sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2 - \sin(\omega_7 t) \cdot t \ddot{y}_2 - \ddot{y}_2 t \cdot \sin(\omega_7 t) - \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2^2 \cdot t \cdot \cos(\omega_7 t) - \right]$$

$$\begin{aligned}
& -a_1 \dot{y}_2 \cdot t^2 \cdot \cos(\omega_7 t) \cdot \ddot{y}_2] = a_2 \ddot{y}_2 + m_7 \left[\frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e a_1 \cdot \cos(\omega_7 t) \cdot \ddot{y}_2 - e \cdot a_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) - \right. \\
& - a_1^2 \cdot e \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot t \ddot{y}_2] \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot e a_1 - m_7 e a_1^2 \left[\frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} + \right. \\
& + e a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t)] [2 \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2 + 2 \sin(\omega_7 t) \cdot t \ddot{y}_2 + a_1 \dot{y}_2^2 \cdot t \cdot \cos(\omega_7 t) + a_1 \dot{y}_2 \cdot t^2 \cos(\omega_7 t) \cdot \ddot{y}_2] = \\
& = a_2 \ddot{y}_2 + m_7 \cdot e^2 a_1^2 [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot t] \ddot{y}_2 + \\
& + e a_1 \cdot m_7 \left[\frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} - e a_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \right] \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] - \\
& - m_7 \cdot e a_1^2 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot [2 \sin(\omega_7 t) t + a_1 \dot{y}_2 \cdot t^2 \cos(\omega_7 t)] \cdot \\
& \cdot [2 \sin(\omega_7 t) \dot{y}_2 + a_1 \dot{y}_2^2 \cdot t \cdot \cos(\omega_7 t)] = \{ a_2 + m_7 e^2 a_1^2 [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) t] \cdot \\
& \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] - m_7 e a_1^2 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot [2 \sin(\omega_7 t) \cdot t + \\
& + a_1 \cdot \dot{y}_2 t^2 \cdot \cos(\omega_7 t)] \} \cdot \ddot{y}_2^3 + e a_1 \cdot m_7 \frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] - m_7 e^2 \cdot \\
& \cdot a_1^3 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] - m_7 \cdot e a_1^2 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e \cdot a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \\
& \cdot [2 \sin(\omega_7 t) \dot{y}_2 + a_1 \dot{y}_2^2 \cdot t \cdot \cos(\omega_7 t)] = \{ a_2 + a_3 \cdot e a_1 \cdot [\cos(\omega_7 t) a_1 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) t] \cdot [\cos(\omega_7 t) - \\
& - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot a_1 a_3 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot [2 \sin(\omega_7 t) t + a_1 \dot{y}_2 \cdot t^2 \cdot \cos(\omega_7 t)] \} \ddot{y}_2 + \\
& + a_3 \frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 e \cdot a_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \\
& + a_3 \frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 e \cdot a_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot t \cdot \\
& \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 a_1 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + e a_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] [2 \sin(\omega_7 t) \dot{y}_2 + a_1 \dot{y}_2^2 \cdot t \cdot \cos(\omega_7 t)] = \{ a_2 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_3 \cdot ea_1 [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 \cdot L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_1 a_3 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \right. \\
& \cdot \cos(\omega_7 t) \cdot \left. \left[2 \sin(\omega_7 t) \cdot \frac{L}{\dot{y}_2} + a_1 \frac{L^2}{\dot{y}_2} \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \right] \ddot{y}_2 + \frac{a_3}{\ell} (\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1) \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - \\
& - a_3 \cdot ea_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_1 a_3 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \\
& \cdot \left[2 \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2 + a_1 L \cdot \dot{y}_2 \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \dot{y}_2,
\end{aligned}$$

где $a_3 = ea_1 \cdot m_7$.

Таким образом:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2} &= \{ a_2 + a_3 \cdot ea_1 [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot t] \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_1 a_3 \cdot \\
& \cdot \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \left[2 \sin(\omega_7 t) \cdot \frac{L}{\dot{y}_2} + a_1 \frac{L^2}{\dot{y}_2} \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \} \cdot \ddot{y}_2 + \frac{a_3}{\ell} (\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1) \cdot \\
& \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 ea_1^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2^2 \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 a_1 \cdot \\
& \cdot \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot [2 \sin(\omega_7 t) + a_1 L \cdot \cos(\omega_7 t)] \cdot \dot{y}_2. \\
\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_1} &= m_7 \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) - ea_1 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot a_1 (\dot{y}_2 + t \cdot \ddot{y}_2) \right] \cdot \frac{\ell_2}{\ell} - \frac{B}{\ell^2} (\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1) = \\
& = m_7 \frac{\ell_2^2}{\ell^2} \ddot{z}_1 + m_7 \frac{\ell_2 \cdot \ell_1}{\ell^2} \ddot{z}_2 + \frac{\ell_2}{\ell} m_7 \cdot ea_1 \cdot \cos(\omega_7 t) \cdot \ddot{y}_2 - \frac{\ell_2}{\ell} \cdot ea_1^2 \cdot m_7 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) - \frac{\ell_2}{\ell} \cdot em_7 \cdot a_1^2 \dot{y}_2 \cdot \\
& \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot t \cdot \ddot{y}_2 - \frac{B}{\ell^2} \cdot \ddot{z}_1 - \frac{B}{\ell^2} \cdot \ddot{z}_2 = \left(m_7 \frac{\ell_2^2}{\ell^2} + \frac{B}{\ell^2} \right) \ddot{z}_1 + \left(m_7 \frac{\ell_1 \ell_2}{\ell^2} \right) \ddot{z}_2 + \frac{\ell_2}{\ell} a_3 [\cos(\omega_7 t) - a_1 \dot{y}_2 t \cdot \\
& \cdot \sin(\omega_7 t)] \ddot{y}_2 - \frac{\ell_2}{2} a_3 a_1 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2^2 = (m_7 \ell_2^2 + B) \frac{\ddot{z}_1}{\ell^2} + (m_7 \ell_1 \ell_2 - B) \frac{\ddot{z}_2}{\ell^2} + \frac{\ell_2}{\ell} a_3 [\cos(\omega_7 t) - \\
& - a_1 \cdot L \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot \ddot{y}_2 - \frac{\ell_2}{\ell} a_3 a_1 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2^2 ;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_2} &= m_7 \left[\frac{\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \cdot \ddot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) - ea_1^2 \dot{y}_2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot (\dot{y}_2 + t \cdot \ddot{y}_2) \right] \frac{\ell_1}{\ell} + \frac{B}{\ell^2} (\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1) = \\
&= m_7 \cdot \frac{\ell_1 \ell_2}{\ell^2} \ddot{z}_1 + m_7 \frac{\ell_1^2}{\ell^2} \ddot{z}_2 + m_7 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot ea_1 \cdot \cos(\omega_7 t) \ddot{y}_2 - m_7 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot ea_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) - m_7 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot ea_1^2 \dot{y}_2 \cdot \\
&\cdot \sin(\omega_7 t) t \cdot \ddot{y}_2 + \frac{B}{\ell^2} \ddot{z}_2 - \frac{B}{\ell^2} \ddot{z}_1 = \left(m_7 \frac{\ell_1 \ell_2}{\ell^2} - \frac{B}{\ell^2} \right) \ddot{z}_1 + \left(m_7 \frac{\ell_1^2}{\ell^2} - \frac{B}{\ell^2} \right) \ddot{z}_2 + m_7 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot ea_1 \cdot [\cos(\omega_7 t) - \\
&- a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t) t] \ddot{y}_2 - m_7 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot ea_1^2 \dot{y}_2^2 \cdot \sin(\omega_7 t) = (m_7 \ell_1 \ell_2 - B) \frac{\ddot{z}_1}{\ell^2} + (m_7 \ell_1^2 + B) \frac{\ddot{z}_2}{\ell^2} + a_3 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot \\
&\cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot \ddot{y}_2 - a_3 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot a_1 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2^2
\end{aligned}$$

где $L = \dot{y}_2 \cdot t$.

Для определения обобщенной силы Q_{y_3} дадим системе обобщенное возможное перемещение δy_2 , а два других, т.е. δz_1 и δz_2 , примем равными нулю: $\delta y_2 \neq 0$, $\delta z_1 = 0$, $\delta z_2 = 0$. Это значит, что при неизменных значениях z_1 и z_2 кожаный полуфабрикат проходит между опорными прижимными валами. При этом, когда кожаный полуфабрикат проходит между двумя прижимными валами на кожаный полуфабрикат действуют силы давления и трения. В работе [5,6] показано определение реакции деформированного покрытия в точке контакта обрешеченных и стальных валов, связанных шестернями и вращающихся с одинаковой угловой скоростью. В зоне контакта происходит деформация упругого покрытия и транспортируемого материала, который может рассматриваться как дополнительный слой покрытия. Такое многослойное покрытие может быть охарактеризовано некоторыми интегральными показателями свойств упругости и вязкости.

Реакции деформированного покрытия в точке C_1 на площади прикосновения кожаного полуфабриката с двумя опорными прижимными валами разложены на две составляющие – нормальную dN_{12} действующую по радиусу стального вала и касательную $d\vec{F}_{12}$ перпендикулярную ей. Из условий уравнения равновесия сил действующих на валы определены значения нормальной реакции, момент трения качения M_{mp}^{12} и деформация z вдоль действия нормальной реакции N_{12} :

$$z = z_o - D \frac{\alpha^2}{2}, N_{12} = \ell R_{11} \cdot D \cdot c \cdot \left\{ \frac{1}{3} \left[(\alpha_2^2 - \mathcal{G} \alpha_2)^{\frac{3}{2}} - \alpha_2^3 \right] + \frac{\mathcal{G}}{4} (2\alpha_2^2 - \mathcal{G} \alpha_2) \right\}, \quad (1.14)$$

$$M_{\partial\partial}^{12} = \ell R_{11}^2 \cdot D \cdot c \cdot \left\{ \frac{1}{8} \left[(\alpha_2^2 - \mathcal{G} \alpha_2)^2 - \alpha_2^4 \right] + \frac{\mathcal{G}}{6} \left[(\alpha_2^2 - \mathcal{G} \alpha_2)^{\frac{3}{2}} + \frac{\alpha_2^3}{2} \right] \right\}, \quad (1.15)$$

где $D = L \left(\frac{L}{R_{11}} - 1 \right)$, $L = 2R$, $\mathcal{G} = 2\omega\tau$, $\tau = \frac{\eta}{c}$ – постоянная времени релаксации упругого покрытия вала, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ – угол обхвата; $c = \frac{E}{h}$ – модуль жесткости резины, Па/м; E – модуль упругости, Па; h – толщина покрытия, м; η – коэффициент внутреннего трения, Па·с/м.

Из уравнения (1.14) определяется α_2 , а затем из второго – момент трения качения и коэффициент трения качения $k = \frac{M_{mp}^{12}}{N_{12}}$. Близкий к линейной зависимости коэффициента трения качения от скорости, радиуса вала и постоянной времени релаксации наблюдается только при малых скоростях до некоторой критической величины [5,6]:

$$\omega_{кр} = \frac{0,32}{\eta} \cdot \sqrt[3]{q \frac{c^2}{R_{11}^2}},$$

где $q = \frac{N_{11}}{\ell}$ – интенсивность нагрузки.

Полезно отметить, что предельная величина коэффициента трения качения зависит от жесткости покрытия, усилия прижатия и радиуса вала, но не зависит от скорости и коэффициента вязкости покрытия.

Определим возможную работу сил, приложенных к расправляющему валу. На лопасти расправляющего вала действуют силы:

$S = S_7 \sin \beta + f \cdot S_7 \cos \beta + f \cdot N_7$, которая противодействует вращению вала и растягивает кожевенный полуфабрикат по направлению, перпендикулярной оси расправляющего вала.

С другой стороны силы, направленные вдоль оси расправляющего вала, образуют составляющую силу: $Q = S_7 \cos \beta - f \cdot S_7 \sin \beta$, растягивающую кожевенный полуфабрикат вдоль оси вала, где S_7 – сила сопротивления кожевенного полуфабриката к расправке; fS_7 – сила трения кожевенного полуфабриката по лопасти расправляющего вала (f – коэффициент трения); fN_7 – сила трения, возникающая на поверхности кожевенного полуфабриката в результате прижатия расправляющего вала с силой N_7 . Нетрудно заметить, что с изменением угла подъёма винтовой линии β будут меняться и величины этих сил, которые соответственно изменяют характер

воздействия лопастей на кожевенный полуфабрикат, растягивая его вдоль хребта и по направлению, перпендикулярным к нему.

На расправляющем вале практически имеется n лопастей, которые одновременно соприкасаются с кожевенным полуфабрикатом по одной образующей, то силы \vec{S} и \vec{Q} должны быть соответственно увеличены пропорционально числу точек касания, равному отношению длины ℓ расправляющего вала, на котором расположены лопасти одного направления к шагу h винтовой линии:

$$S_n = \frac{\ell}{h} (S_7 \sin \beta + f \cdot S_7 \cos \beta + f \cdot N_7),$$

$$Q_n = \frac{\ell}{h} \cdot S_7 (\cos \beta - f \cdot \sin \beta) \quad (1.16)$$

Сила Q , действующая на полуфабрикат, растягивает его. На расправляющем вале одновременно имеются лопасти с правым и левым заходом, поэтому при симметричном расположении кожевенного полуфабриката по отношению к средней линии вала это условие должна свестись к нулю.

Таким образом, обобщенная сила имеет вид:

$$Q_{y3} = -M_{\partial\partial}^{12} \cdot 1/R_{11} - fN_{12} - S_n.$$

Для вычисления обобщенной силы Q_{z1} дадим обобщенное возможное перемещение δz_1 , а две других, т.е. $\delta z_1 \neq 0$, $\delta z_2 = 0$, $\delta y_2 = 0$. Это значит, что при неизменных значениях y_2 и z_2 , расправляющий вал вокруг правой опоры поворачивается на угол $\delta\varphi_B$. Тогда обобщенная сила Q_{z1} имеет

вид: $Q_{z_1} = -G_7 \cdot 0,5 - P_A$, где G_7 – сила веса расправляющего вала, P_A – сила давления, приложенная к опору A_1 .

Для определения обобщенной силы Q_{z_2} дадим обобщенное возможное перемещение δz_2 , а две других, т.е. δz_1 и δy_2 примем равными нулю: $\delta y_2 = 0, \delta z_1 = 0$. Это значит, что при неизменных значениях y_2, z_1 расправляющий вал повернется на угол $\delta \varphi_A$ вокруг левой опоры:

$$Q_{z_2} = -0,5 \cdot G_2 - P_B$$

Подставив найденные значения кинетической и потенциальной энергии в уравнения Лагранжа (1.16), получим дифференциальные уравнения движения системы виде:

$$\begin{aligned} & \{a_2 + a_3 \cdot ea_1 [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_1 a_3 \cdot \\ & \cdot \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot \left[2 \sin(\omega_7 t) \cdot \frac{L}{\dot{y}_2} + a_1 \frac{L^2}{\dot{y}_2} \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \} \cdot \ddot{y}_2 + \frac{a_3}{\ell} (\ddot{z}_1 \ell_2 + \ddot{z}_2 \ell_1) \cdot \\ & \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 ea_1^2 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2^2 \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] - a_3 a_1 \cdot \\ & \cdot \left[\frac{\dot{z}_1 \ell_2 + \dot{z}_2 \ell_1}{\ell} + ea_1 \dot{y}_2 \cdot \cos(\omega_7 t) \right] \cdot [2 \sin(\omega_7 t) + a_1 L \cdot \cos(\omega_7 t)] \cdot \dot{y}_2 \\ & = M_{mp}^{12} \cdot \frac{1}{R_{11}} - fN_{12} - S_n + \lambda \cdot a_1, \end{aligned} \quad (1.17)$$

$$\begin{aligned} & (m_7 \ell_2^2 + B) \frac{\ddot{z}_1}{\ell^2} + (m_7 \ell_1 \ell_2 - B) \frac{\ddot{z}_2}{\ell^2} + \frac{\ell_2}{\ell} a_3 [\cos(\omega_7 t) - \\ & - a_1 \cdot L \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot \ddot{y}_2 - \frac{\ell_2}{\ell} a_3 a_1 \cdot \sin(\omega_7 t) \dot{y}_2^2 = -\frac{G_7}{2} - P_A - c_1 z_1, \end{aligned} \quad (1.18)$$

$$\begin{aligned}
& (m_7 l_1 l_2 - B) \frac{\ddot{z}_1}{\ell^2} + (m_7 l_1^2 + B) \frac{\ddot{z}_2}{\ell^2} + a_3 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot [\cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t)] \cdot \ddot{y}_2 \\
& - a_3 \frac{\ell_1}{\ell} \cdot a_1 \cdot \sin(\omega_7 t) \cdot \dot{y}_2^2 = -\frac{G_7}{2} - P_B - c_2 z_2,
\end{aligned} \tag{1.19}$$

где M_{mp}^{12} , N_{12} и S_n определяются равенствами (1.19), (1.15) и (1.16); λ – множитель Лагранжа.

Предполагая, что $l_1 = l_2$ и учитывая равенство (1.19) из равенства (1.18) и (1.19) определяем неопределенный множитель Лагранжа.

$$\begin{aligned}
\lambda = \frac{1}{a_1} \{ & a_7 [a_6 \sin(\omega_7 t) - a_4 \sin(\omega_7 t) + a_4 \cos(\omega_7 t)] a_8 \cdot \dot{y}_2^2 - a_5 a_7 [G_7 + P_A + P_B + c(z_1 + z_2)] - \\
& - \frac{a_3 l_1 a_8}{l} (\dot{z}_1 + \dot{z}_2) \dot{y}_2 + M_{\partial\partial}^{12} \cdot \frac{1}{a_1 R_{11}} + \frac{f}{a_1} N_{12} + \frac{S_n}{a_1};
\end{aligned}$$

$$\text{где } a_4 = a_3 e a_1^2; \quad a_5 = \frac{a_3 l}{2 a_1 m_7 l_2^2}; \quad a_6 = a_3^2 a_1; \quad a_6 = \frac{a_3^2 a_1}{m_7 l_2};$$

$$a_7 = \cos(\omega_7 t) - a_1 L \cdot \sin(\omega_7 t); \quad a_8 = 2 \sin(\omega_7 t) + a_1 L \cos(\omega_7 t), \quad c = c_1 + c_2.$$

Таким образом, для поддержания постоянства угловой скорости расправляющего вала 7 необходимо в процессе расправки значение λ обращаться к нулю.

Из наблюдений процесса расправки винтообразными валами (волосогонночистильные, мездрильные, строгальные, шлифованные и т.д.). Следует, что равномерность растяжения по ширине полуфабриката улучшится, если каждый участок его (вдоль оси вращения вала) будет испытывать некоторое собственное растяжение. Такое растяжение можно добиться, если увеличить угол подъёма винтовой линии β (от центра вала к его краям, сделав его непостоянным, т.е. необходимо увеличить компоненту скорости данной точки лопасти расправляющего вала,

направленного вдоль скорости данной точки лопасти расправляющего вала, направленного вдоль оси вала (при неизменности линейной скорости этой точки

$$\mathcal{G}_3 = \omega_7(R_7 + r_7),$$

где ω_7 – угловая скорость вала, R_7 – его радиус, r_7 – высота лопастей).

Однако, из второго равенства (1.16) следует, что при увеличении угла β сила, растягивающая полуфабрикат вдоль оси вала уменьшается, в связи с чем реализовать положительный эффект не удастся, также затрата электроэнергии увеличиться. Поэтому, сохраняя $\beta = const$, увеличиваем составляющие скорости вдоль оси вала.

Ранее было получено, что при $\beta = const$

$$\mathcal{G}_{40} = \mathcal{G}_{41} \cdot \operatorname{tg} \beta = \omega_7(R_7 + r_7) \cdot \operatorname{tg} \beta$$

Из этого равенства следует, что увеличение R_7 или r_7 от центра расправляющего вала к его краям и обеспечить увеличение скорости. Если увеличим R , то появляются дополнительные центробежные силы инерции, которые заставляют вибрировать расправляющего вала на плоскости xz .

1.4. Особенности винтового вала с постоянным и переменным шагом винта

Часто при механической обработке листовых материалов применяются валы с винтовыми лопастями, расходящимися от середины вала по правому и левому винтам к его краям, где рабочая кромка винтовой лопасти описывает цилиндрическую

винтовую линию. Винтовые лопасти могут быть постоянным или переменным шагом винта. При постоянном шаге винта лопасти на обрабатываемый листовый материал действуют одинаково по всей ширине их контакта. При расправке складок, с винтовыми лопастями, имеющими постоянный шаг винта, с каждым полным оборотом винта складки перемещаются от середины вала к его краям на один ход винтовой лопасти. Для полной расправки складок, листового материала вал должен совершить определенное количество вращений. Для чего требуются больше времени и большие угловые скорости вала, которые не всегда отвечают технологическим требованиям определенной механической операции [5,62,63].

С целью повышения эффективности расправления складок листового материала равномерно и одновременно по всей ширине контакта листового материала с ними от середины вала к его краям, шаг винтовых лопастей выполняют переменным [5, 64, 65].

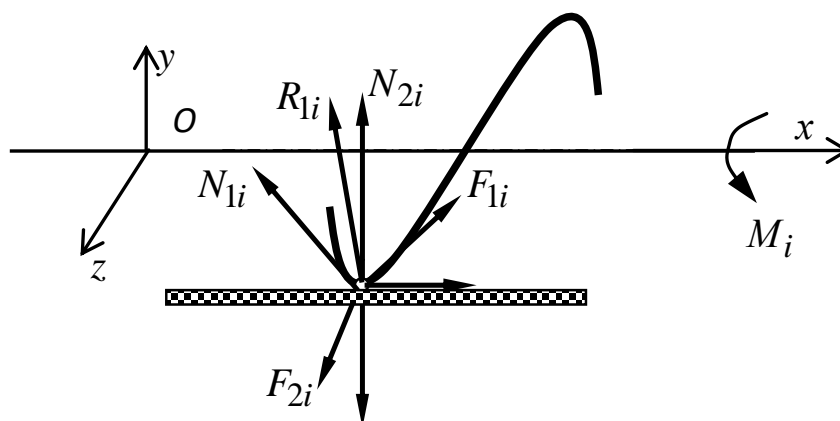


Рисунок 11. К определению параметров винтового вала

При механической обработке листового материала, движущегося на поверхности транспортирующего стола или

рабочего вала винтовым валом вращающемся с постоянной угловой скоростью линейные скорости грани лопасти винтового вала и листового материала, могут совпадать или могут быть направлены противоположно. Когда скорости совпадают траектория грани лопасти имеет вид

$$\begin{cases} y = vt + r \sin \omega t, \\ z = r(1 - \cos \omega t), \end{cases} \quad (1.20)$$

где v – скорость перемещения листового материала, t – время, r и $\varphi = \omega t$, ω – радиус и угловая скорость винтового вала, соответственно.

Когда скорости направлены противоположно

$$\begin{cases} y = vt - r \sin \omega t, \\ z = r(1 - \cos \omega t). \end{cases} \quad (1.21)$$

При этом, когда шаг винтовых лопастей постоянный, то закон движения точки касания грани лопасти с листовым материалом тоже описывается прямой $x = a_1 t$. Для винтового вала с переменным шагом винтовых лопастей закон движения точки касания грани лопасти с листовым материалом для (1.20) и (1.21) имеет следующий вид:

$$x = \frac{a_1 \left[(k_0 + 1) \frac{\omega t}{2\pi} - 1 \right]}{k_0}, \quad (1.22)$$

где a_1 – первый ход винтовой лопасти, винтового вала, от середины к его краям; k_0 – коэффициент учитывающий скольжение винтовой лопасти по листовому материалу, в направлении оси вращения винтового вала.

После некоторых преобразований, взяв от обеих частей уравнения (1.22) натуральные логарифмы, получим,

$$\ln\left(\frac{k_0 x}{a_1} + 1\right) = \frac{\omega_1 t}{2\pi} \ln(k_0 + 1),$$

откуда следует,

$$t = \frac{2\pi \ln\left(\frac{k_0 x}{a_1} + 1\right)}{\omega \ln(k_0 + 1)}. \quad (1.23)$$

Подставляя (1.23) в (1.20) получим уравнения траектории грани лопасти относительно поверхности обрабатываемого полуфабриката для случая, когда направления линейных скоростей грани лопасти винтового вала и полуфабриката направлены противоположно:

$$y = \frac{2\pi v_2 \ln\left(\frac{k_0 x}{a_1} + 1\right)}{\omega \ln(k_0 + 1)} + r \sin \frac{2\pi \ln\left(\frac{k_0 x}{a_1} + 1\right)}{\ln(k_0 + 1)}, \quad z = r \left(1 - \cos \frac{2\pi \ln\left(\frac{k_0 x}{a_1} + 1\right)}{\ln(k_0 + 1)} \right), \quad (1.24)$$

или аналогично, подставляя (1.23) в (1.21), получим уравнения траектории грани лопастей относительно поверхности обрабатываемого полуфабриката для случая, когда направления линейных скоростей грани лопасти винтового вала и полуфабриката совпадают.

При этом достигается перемещения точки (площадки) касания лопасти со складкой листового материала независимо от его ширины за $n = \frac{K}{k_0}$ оборотов вала (где K – коэффициент расправляемости складок листового материала; $k_0 \leq 1$ –

коэффициент, учитывающий скольжение листового материала по поверхности винтовой лопасти в направлении оси вращения вала).

Теперь рассмотрим силовое взаимодействие лопасти рабочего органа и складок обрабатываемого листового материала (рисунок 11). Здесь на боковую рабочую поверхность i -го хода лопасти действуют: сила сопротивления складок листового материала к расправлению \overline{N}_{1i} , направленная нормально к точке (площадке) касания; сила трения \overline{F}_{1i} , возникающая в точке касания поверхности винтовой лопасти, действующая по касательной к поверхности лопасти и направленная противоположно скорости движения лопасти относительно листового материала; осевая сила реакции опор расправочного вала \overline{G}_i , направленная по оси вращения вала; сила прижима \overline{N}_{2i} , направленная перпендикулярно вектору окружной скорости грани лопасти в точке касания с листовым материалом; сила трения \overline{F}_{2i} , возникающая в точке касания грани винтовой лопасти за счет прижима к ней листового материала, направленная противоположно вектору окружной скорости винтовой лопасти; сила сопротивления складок листового материала к расправлению \overline{N}_{1i} , направленная нормально к точке касания; сила трения \overline{F}_{1i} , возникающая в точке касания поверхности (передней грани) винтовой лопасти, действующая по касательной к поверхности лопасти и направленная противоположно скорости движения лопасти относительно листового материала.

Из рисунка 11 имеем,

$$G_i - R_i \cos(\alpha_i + \beta) = 0, \quad (1.25)$$

$$\frac{1}{2\pi} R_y - F_{2i} - R_i \sin(\alpha_i + \beta) = 0, \quad (1.26)$$

$$N_{2i} - \frac{1}{2m} (R_z + P) = 0, \quad (1.27)$$

$$M_i - F_{2i}r - R_i r \sin(\alpha_i + \beta) = 0, \quad (1.28)$$

где R_i – равнодействующая сил N_{1i} и F_{1i} на переднюю поверхность винтовой лопасти в точке касания; α_i – угол подъема винтовой лопасти или угол между координатной осью Oy и касательной, проведенной в точке касания листового материала с гранью винтовой лопасти; n – количество точек касания листового материала с винтовыми лопастями от середины расправочного вала к его краю; R_y ; R_z – реакции опор расправочного вала (на рисунке не показана); P – вес расправочного вала; M_i – крутящий момент, приложенный к оси расправочного вала;

$$\beta = \arctg f, \quad (1.29)$$

угол трения; где f – коэффициент трения листового материала и поверхности лопасти.

Из рисунка 11 с учетом формул (1.25) – (1.29) определим силу расправки T_i , которая по величине равна осевой силе G_i и противоположно направлена к ней,

$$T_i = R_i \cos(\alpha_i + \beta), \quad (1.30)$$

где R_i - равнодействующая сил N_{1i} и F_{1i} на поверхность лопасти, $F_{1i} = fN_{1i}$. После некоторых преобразований, с учетом полученных формул имеем,

$$T_i = \frac{2\pi k_o M_i \operatorname{tg} \alpha_i}{a_1 \operatorname{tg}(\alpha_i + \beta)} \left[\frac{1}{(k_o + 1)^{\frac{\varphi}{2\pi} + \xi - 1} - (k_o + 1)^{\frac{\varphi}{2\pi} + i - 2}} \right] - \frac{fN_{2i}}{\operatorname{tg}(\alpha_i + \beta)}. \quad (1.31)$$

Из графических зависимостей, построенных на основании полученных формул видно (рисунки 12 и 13), что с увеличением шага винтовой лопасти, соответственно увеличивается и угол подъема винта расходящегося от середины вала к его краям. Сила расправки, которая определяется проекцией нормали на ось винтового вала также уменьшается обратно пропорционально увеличению угла подъема винта. Это отрицательно влияет на технологический процесс механической обработки листового материала с винтовыми лопастями с переменным шагом. Так как, с увеличением шага уменьшается точки касания лопастей с листовым материалом по линии контакта. При этом уменьшается величина силы расправки. При расправке складок листового материала за счет воздействия передней грани лопасти винтового вала с увеличением угла подъема лопасти расправочного вала α_i значение силы расправки T_i уменьшается.

Известно, что максимальный эффект при механической обработке листового материала в зависимости от технологических требований достигается при определенном постоянном угле подъема винтовой лопасти [1, 65].

С целью сохранения положительных особенностей валов с винтовыми лопастями с постоянным и переменным шагом лопастей и повышения производительности технологического оборудования нами рекомендован новый рабочий орган с винтовыми лопастями. Рабочий орган выполнен из двух усеченных конусов с винтовыми лопастями, с вершинами в середине и связаны между собой сферическим шарниром. Винтовые лопасти рабочего органа, содержащего соединенные усеченные конусы расходятся от середины рабочего органа по правому и левому винтам к его краям. Где рабочие кромки винтовых лопастей описывают коническую винтовую линию.

Необходимо отметить, что изменение шага винтовых лопастей могут подчиняться различным закономерностям. В частном случае шаг постоянный. В целом шаг винтовых лопастей может быть переменным, увеличивающийся или уменьшающийся, в зависимости от заданной закономерности. Также и угол подъема винтовых лопастей может быть постоянным или переменным по заданному закону.

Усеченные конусы винтового вала могут быть расположены под различными углами между собой, а также могут быть не связаны сферическим шарниром и расположены отдельно. При необходимости для некоторых разновидностей листового материала, исходя из технологических требований, угол подъема винтовой линии может быть выполнен переменным, зависящим от параметров конуса.

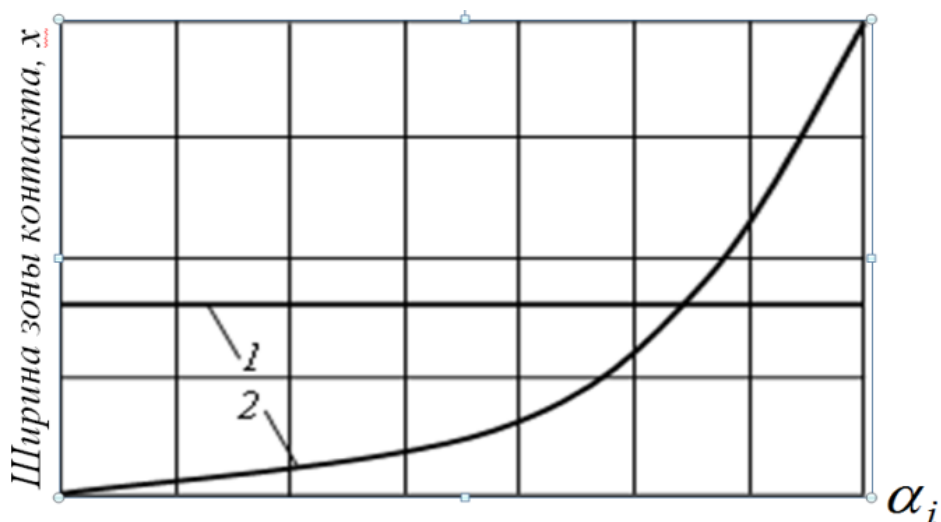


Рисунок 12 - График изменения угла подъема лопасти в зависимости от ширины зоны контакта

- 1 - рабочая кромка лопасти коническая винтовая линия,
- 2 - рабочая кромка лопасти цилиндрическая винтовая линия

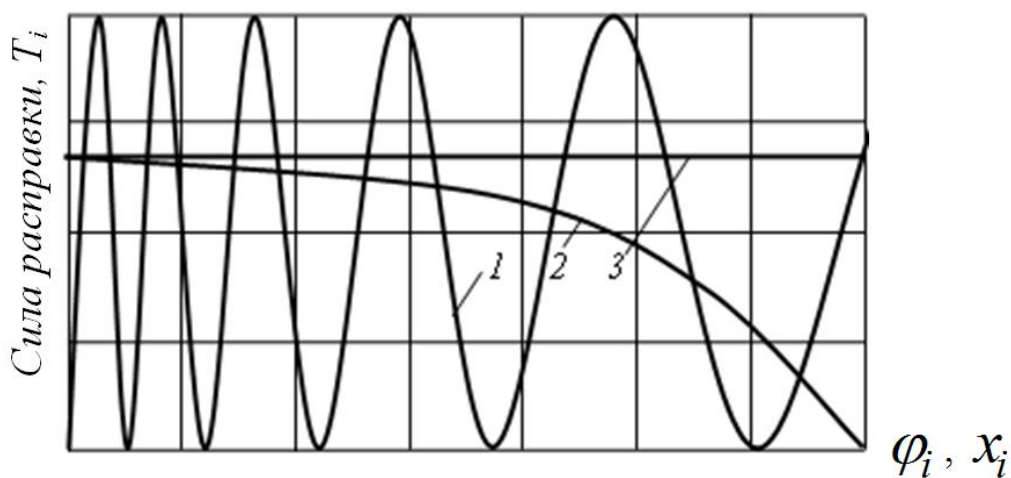


Рисунок 13 - График изменения силы расправки от угла поворота винтового вала

- 1 - изменение шага винтовой лопасти,
- 2 - рабочая кромка лопасти цилиндрическая винтовая линия,
- 3 - рабочая кромка лопасти коническая винтовая линия

Полученные результаты позволяют подбирать направления и величины сил расправки, действующих со стороны лопастей

рабочего органа при механической обработке листового материала, исходя из технологических требований.

1.5. Определение условия, поддерживающие постоянство угловой скорости вала

Теперь рассмотрим движения кожи на участке 9–5, т.е. движения системы «расправляющий вал – полуфабрикат – прижимной вал». На этом участке как в предыдущем участке кожа движется со скоростью \dot{y}_2 . При помощи верхнего прижимного вала 14 поддерживается условие

$$\vartheta_2 = k \cdot \vartheta, \quad (\vartheta > \vartheta_2) \quad (1.32)$$

где ϑ – соответствует скорости транспортирующего конвейера на участке 9–5. По существу, (1.32) является управляемой связью (сервосвязями). Составим дифференциальные уравнения движения с управляющими связями (1.32), принятыми в работе [47].

Положение рассматриваемой системы на транспортирующем конвейере определяется обобщенными координатами: $\tilde{q}_1 = y_3$ – перемещение полуфабриката вдоль оси y на рассматриваемой участке; $\tilde{q}_2 = z_{11}$, $\tilde{q}_3 = z_{12}$ координаты соответственно левой и правой опор расправляющего вала 11, $\tilde{q}_5 = \varphi_{14}$ – угол поворота прижимного вала 14.

Перейдем к вычислению кинетической энергии материальной системы:

$$T = T_2 + T_5 + T_8 + T_9 + T_{13} + T_{14}, \quad (1.33)$$

где T_2 – кинетическая энергия полуфабриката; T_5 – кинетическая энергия ведущего вала 5; T_8 – кинетическая энергия опорного вала 8; T_9 – кинетическая энергия расправляющего вала 9; T_{13} и T_{14} – кинетические энергии прижимных валов 13 и 14.

В дальнейшем предполагаем, что расправляющий вал 9 совершает движение на плоскости xz :

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 \mathcal{Q}_2^2; \quad T_5 = \frac{1}{2} J_5 \omega_5^2; \quad T_8 = \frac{1}{2} J_8 \omega_8^2;$$

$$T_9 = \frac{1}{2} m_9 \dot{z}_c^2 + \frac{1}{2} A_9 \omega_x^2 + \frac{1}{2} B_9 (\omega_{y1}^2 + \omega_{z1}^2), \quad T_{13} = \frac{1}{2} J_{13} \cdot \omega_{13}^2, \quad T_{14} = \frac{1}{2} J_{14} \cdot \omega_{14}^2 \quad (1.34)$$

где m_2^1 – масса полуфабриката; m_9 – масса расправляющего вала 9; \dot{z}_c – проекция скорости центра масс расправляющего вала на оси z ; $\omega_{x1}, \omega_{y1}, \omega_{z1}$ – проекции угловой скорости вала 9 на подвижные оси координат; $\omega_5, \omega_8, \omega_{13}$ и ω_{14} – угловые скорости валов 5, 8, 13 и 14 соответственно; A_9 – момент инерции вала 9, относительно оси симметрии x ; B_9 – момент инерции вала 9 относительно оси, перпендикулярной к оси вращения и проходящий через его центра масс.

Учитывая, что координаты и скорости расправляющего вала связаны соотношениями:

$$z_c^{(9)} = z_9 + e_1 \cdot \sin(\omega_9 \cdot t) = \frac{z_3 \cdot l_2}{l} + z_4 \frac{l_1}{l} + e_1 \cdot \sin(\omega_9 \cdot t)$$

$$\dot{z}_c^{(9)} = \frac{l_2}{l} (\dot{z}_3 \cdot l_2 + \dot{z}_4 \cdot l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 \cdot t), \quad \gamma_3 = \frac{z_4 - z_3}{l_9};$$

$$\omega_{x1} = \omega_9 + \dot{\beta} \sin \gamma \approx \omega_9, \quad \omega_{y1} = -\dot{\gamma}_3, \quad \omega_{z1} = 0.$$

где z_c – координата центра тяжести вала 9; γ_3 – угол между осью вала 9 и её проекции на плоскость xy ; $\omega_{x1}, \omega_{y1}, \omega_{z1}$ – проекции угловой скорости вала на подвижные оси координат (рисунок 9), e_1 – расстояние от геометрической оси до центра масс расправляющего вала.

Подставив эти значения в выражении кинетической энергии расправляющего вала 9, получим:

$$T_9 = \frac{1}{2} m_9 \left[\frac{1}{l} (\dot{z}_3 \cdot l_2 + \dot{z}_4 \cdot l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 \cdot t) \right]^2 + \frac{1}{2} A_9 \cdot \omega_9^2 + \frac{1}{2} B_9 \left(\frac{\dot{z}_4 - \dot{z}_3}{l_9} \right)^2$$

Учитывая, что прижимные валы 5, 13 и 14 совершают вращательное движение вокруг неподвижной оси, получим:

$$T_5 = \frac{1}{2} J_5 \frac{\dot{y}^2}{R_5^2}; \quad T_{13} = \frac{1}{2} J_{13} \frac{\dot{y}^2}{R_{13}^2}; \quad T_{14} = \frac{1}{2} J_{14} \frac{\dot{y}^2}{R_{14}^2}.$$

Как на участке 3–7, определяем зависимость между угловой скорости ω_9 , ($\omega_9 = const$) и скорости кожи \dot{y} :

$$\omega_9 = \frac{tg \gamma}{tg \beta} \cdot \frac{\dot{y}}{(R_9 + r_9)} = a_3 \dot{y}, \quad (1.35)$$

где

$$a_3 = tg \gamma / (tg \beta (R_9 + r_9)).$$

В данном случае ω_9 вращается в противоположенную сторону движения кожи.

Подставив все найденные значения в выражении (1.34), запишем кинетическую энергию системы:

$$T_9 = a_4 \dot{y}_2^2 + \frac{1}{2} m_9 \left[\frac{1}{l} (\dot{z}_3 \cdot l_2 + \dot{z}_4 \cdot l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t) \right]^2 + \frac{1}{2} A_9 \cdot \omega_9^2 + \frac{1}{2} B_9 \left(\frac{\dot{z}_4 - \dot{z}_3}{l_9} \right)^2 \quad (1.36)$$

где

$$a_4 = \frac{1}{2} \left(m_2 + A \cdot a_3^2 + \frac{J_5}{R_5^2} + \frac{J_8}{R_8^2} + \frac{J_{13}}{R_{13}^2} + \frac{J_{14}}{R_{14}^2} \right); \quad \omega_9 = a_3 \cdot \dot{y}.$$

Предположим, что управляющая связь (1.32) осуществляется способом, при котором реакция управляющей связи отлична от нуля на возможных перемещениях, определяемых условием $\delta \cdot y_2 - k \cdot \delta y \neq 0$.

Теперь за обобщенные координаты принимаем y, z_3 и z_4 , т.е

$$q_1 = y, \quad q_2 = z_3, \quad q_3 = z_4 \quad (\tilde{q}_1 = y_2, \quad \tilde{q}_2 = z_3, \quad \tilde{q}_3 = z_4, \quad \tilde{q}_4 = \varphi_5).$$

Введем функцию $\tilde{q} = q \cdot k + C$ ($C - \text{const}$) тождественно удовлетворяющую уравнение связи (1.32). Тогда уравнения движения можно записывать в виде:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T^*}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T^*}{\partial q_i} = Q_i^* + \sum_{j=1}^3 \mu_j \left(\sum_k \frac{\partial \tilde{q}_k}{\partial q_i} \cdot \frac{\partial \tilde{q}}{\partial q_j} \right); \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1.37)$$

где

$$T^* = a_4 \cdot k^2 \cdot \dot{y}^2 + \frac{1}{2} m_9 \left[\frac{1}{l} (\dot{z}_3 \cdot l_2 + \dot{z}_4 \cdot l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 \cdot t) \right]^2 + \frac{1}{2} A_9 \cdot \omega_9^2 + \frac{1}{2} B_9 \left(\frac{\dot{z}_4 - \dot{z}_3}{l_9} \right)^2; \quad (1.38)$$

$$\omega_9 = a_3 \cdot k \dot{y}.$$

Вычислим частные и полные производные от кинетической энергии T^* по обобщенным скоростями, координатами и временем t :

$$\begin{aligned} \frac{\partial T^*}{\partial \dot{y}} &= 2a_4 k^2 \dot{y} + m_9 \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot [a_3 k \cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot e_1 \sin(\omega_9 t) \cdot a_3 k] + \\ &+ 2A_9 \cdot a_3^2 \cdot k^2 \cdot \dot{y} = 2[a_4 \cdot k^2 + A_9 \cdot a_3^2 \cdot k^2] \cdot \dot{y} + m_9 \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t) \right] \cdot \\ &\cdot a_3 \cdot k [\cos(\omega_9 \cdot t) - a_4 \cdot \sin(\omega_9 \cdot t)]. \end{aligned}$$

ИЛИ

$$\frac{\partial T^*}{\partial \dot{y}} = a_6 \cdot \dot{y} + a_7 \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t) \right] \cdot [\cos(\omega_9 t) - a_4 \sin(\omega_9 t)];$$

где $a_4 = a_3 k \cdot e_1$; $a_5 = a_4 \cdot a_3 k$; $a_6 = 2(a_4 k^2 + A_9 \cdot a_3^2 k^2)$; $a_7 = m_9 \cdot a_3 \cdot k$.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T^*}{\partial \dot{y}} &= \{a_6 + a_4 \cdot a_7 [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot L_1 \cdot \sin(\omega_9 t)] \cdot [\cos(\omega_9 t) - a_4 \sin(\omega_9 t)] - \\ &- a_8 \frac{L_1}{\dot{y}} \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot [\sin(\omega_9 t) + a_4 \cos(\omega_9 t)] \} \cdot \ddot{y} + a_7 \frac{\ddot{z}_3 l_2 + \ddot{z}_4 l_1}{l} \cdot \\ &\cdot [\cos(\omega_9 t) - a_4 \sin(\omega_9 t)] - \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot [\sin(\omega_9 t) + a_4 \cos(\omega_9 t)] \cdot a_8 \dot{y} \end{aligned}$$

где $a_8 = a_7 \cdot a_3 \cdot k$, $L_1 = \dot{y} \cdot t$

$$\frac{\partial T^*}{\partial \dot{z}_3} = m_9 \left[\frac{1}{l} (\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot \frac{l_2}{l} - B_9 \cdot \frac{\dot{z}_4 - \dot{z}_3}{l} \cdot \frac{1}{l};$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial T^*}{\partial \dot{z}_3} &= m_9 \left\{ \frac{1}{l} (\ddot{z}_3 l_2 + \ddot{z}_4 l_1) + [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot t \cdot \dot{y} \sin(\omega_9 t)] a_4 \ddot{y} - a_5 \sin(\omega_9 t) \dot{y}^2 \right\} \frac{l_2}{l} - \\ &- \frac{B_9}{l^2} (\ddot{z}_4 - \ddot{z}_3) = \left(\frac{m_9 l_2^2}{l^2} + \frac{B_9}{l^2} \right) \ddot{z}_3 + \left(\frac{m_9 l_1 l_2}{l^2} - \frac{B_9}{l^2} \right) \ddot{z}_4 + \frac{l_2}{l} m_9 [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot t \cdot \dot{y} \sin(\omega_9 t)] a_4 \ddot{y} - \\ &- m_9 a_5 \frac{l_2}{l} \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 = a_9 \ddot{z}_3 + a_{10} \ddot{z}_4 + \frac{l_2 m_9 a_4}{l} \cdot [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot L_1 \sin(\omega_9 t)] \ddot{y} - a_{11} \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 \end{aligned}$$

где

$$a_9 = \frac{m_9 \cdot l_2^2 + B_9}{l^2}, \quad a_{10} = \frac{m_9 \cdot l_1 \cdot l_2 - B_9}{l^2}, \quad a_{11} = \frac{m_9 \cdot a_5 \cdot l_2}{l^2},$$

$$a_{12} = \frac{l_1^2 \cdot m_9 + B_9}{l^2}, \quad a_{13} = \frac{l_1 \cdot m_9 \cdot a_4}{l}. \quad L_1 = \dot{y} \cdot t$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T^*}{\partial \dot{z}_4} &= m_9 \left[\frac{1}{l} (\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t) \right] \cdot \frac{l_1}{l} + \frac{B_9}{l} (\dot{z}_4 - \dot{z}_3) \cdot \frac{1}{l} = \\ &= \frac{l_1}{l} \cdot m_9 \left[\frac{1}{l} (\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1) + e_1 \cdot \omega_9 \cdot \cos(\omega_9 t) \right] + \frac{B_9 (\dot{z}_4 - \dot{z}_3)}{l^2}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial T^*}{\partial \dot{z}_3} &= \frac{l_1}{l} m_9 \left\{ \frac{1}{l} (\ddot{z}_3 l_2 + \ddot{z}_4 l_1) + [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot t \cdot \dot{y} \sin(\omega_9 t)] \cdot a_4 \ddot{y} - a_5 \sin(\omega_9 t) \dot{y}^2 \right\} + \\ &+ \frac{B_9}{l^2} (\ddot{z}_4 - \ddot{z}_3) = \frac{l_1 \cdot m_9}{l^2} (\ddot{z}_3 l_2 + \ddot{z}_4 l_1) + \frac{l_1 \cdot m_9}{l} \cdot a_4 [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot t \cdot \dot{y} \cdot \sin(\omega_9 t)] \cdot \ddot{y} - \\ &- \frac{l_1}{l} m_9 \cdot a_5 \cdot \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 + \frac{B_9}{l^2} (\ddot{z}_4 - \ddot{z}_3) = \left(\frac{l_1 \cdot l_2}{l^2} m_9 - \frac{B_9}{l^2} \right) \ddot{z}_3 + \left(\frac{l_1^2 \cdot m_9}{l^2} - \frac{B_9}{l^2} \right) \ddot{z}_4 + \\ &+ \frac{l_1 \cdot m_9 \cdot a_4}{l} [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot t \cdot \dot{y} \sin(\omega_9 t)] \ddot{y} - \frac{l_1 \cdot m_9 \cdot a_4}{l} \cdot \sin(\omega_9 t) \dot{y}^2 = a_{10} \ddot{z}_3 + a_{12} \ddot{z}_4 + \\ &+ a_{13} [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot L_1 \cdot \dot{y} \cdot \sin(\omega_9 t)] \cdot \ddot{y} - a_{13} \cdot \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 \end{aligned}$$

Потенциальная энергия системы равна

$$\Pi = \frac{1}{2} c_3 \cdot z_3^2 + \frac{1}{2} c_4 \cdot z_4^2 \quad (1.39)$$

где c_3 и c_4 – коэффициенты жесткости левых и правых опор A_2 и B_2 расправляющего вала 9.

Обобщенные силы вычислим аналогичном образом как на участке 3–7.

На расправляющий вал 9 действует силы:

$$S_9 = \frac{l}{h} (S_9^1 \cdot \sin \beta + S_9^1 \cdot f_9 \cdot \cos \beta + f_9 \cdot N_9), \quad (1.40)$$

$$Q_9 = \frac{l}{h} \cdot S_9^1 (\cos \beta - f_9 \cdot \sin \beta),$$

где S_9^1 – сила сопротивления полуфабриката процессу обработки;

$f_9 \cdot S_9^1$ – сила трения полуфабриката по лопастям расправляющего вала (f_9 – коэффициент трения); $f_9 \cdot N_9'$ – сила трения, возникающая на плоскости полуфабриката в результате прижатия к ножевому валу полуфабриката с силой N_9' ; h – шаг ножей много ходового расправляющего вала; n – число ножей; \vec{S}_9 – сила, которая противодействует вращению вала и растягивает полуфабрикат по направлению, перпендикулярной оси расправляющего вала; \vec{Q} – сила, которая растягивает полуфабриката вдоль оси вала.

Теперь покажем действующие силы на прижимные валы 13 и 14 вращающейся с одинаковой угловой скоростью. В контакте происходит деформация резинового покрытия и транспортируемого материала, который может рассматриваться как дополнительный слой покрытия.

Реакцию деформированного покрытия в точке лежащей плоскости покрытия разложим на две составляющие нормальную dN , действующую по радиусу стального вала, и касательную dT , перпендикулярную ей [38]. В данной работе сначала определяя деформацию z вдоль действия нормальной реакции, найдено нормальный направляющий по дуге контакта:

$$\sigma = c \left(y_o - D \frac{\alpha^2}{2} \right) + \xi \cdot \omega \cdot D \cdot \alpha \quad (1.41)$$

где c – модуль жесткости резины, Па/м, $c = E/h$, E – модуль упругости, h – толщина покрытия, ξ – коэффициент внутреннего трения, Па·с/м,

$$D = l \cdot \left(\frac{l}{R_{13}} - 1 \right); \quad \omega = \frac{d\alpha}{dt},$$

Рассмотрим уравнений равновесия сил, действующих на валы. При этом пока будем учитывать только нормальные силы в контакте. Тогда сила прижатия валов и момент трения качения определяется следующими зависимостями:

$$N_{13} = l \cdot R_1 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sigma(\alpha) \cos \alpha \cdot d\alpha; \quad (1.42)$$

$$M_{mp}^{(13)} = l \cdot R_{13}^2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sigma \cdot (\alpha) \sin \alpha \cdot d\alpha$$

Как показано на работе [5,6] значения N_{13} и M_{mp} имеют вид:

$$N_{13} = l \cdot R_1 \cdot D \cdot e_1 \cdot \left\{ \frac{1}{3} \left[(\alpha_2^2 - \mathcal{G} \alpha_2)^{3/2} - \alpha_2^3 \right] + \frac{\mathcal{G}}{4} (2\alpha_2^2 - \mathcal{G} \alpha_2) \right\};$$

$$M_{mp} = l \cdot R_1^2 \cdot D \cdot C \left\{ \frac{1}{8} \left[(\alpha_2^2 - \mathcal{G} \cdot \alpha_2)^2 - \alpha_2^2 \right] + \frac{\mathcal{G}}{6} (\alpha_2^2 - \mathcal{G} \cdot \alpha_2)^{3/2} + \frac{\alpha_2^3}{2} \right\}. \quad (1.43)$$

где $\mathcal{G} = 2\omega \cdot \tau$, $\tau = \frac{\eta}{C}$ – постоянная время реакции покрытия вала.

Из первого уравнения определяется α_2 , затем из второго – момент трения качения и плечо трения $k = M_{mp} / N$.

Более подробные теоретические исследования и экспериментальная проверка [12] показывают, что близкая к линейной зависимость коэффициента трения качения от скорости, радиуса вала и постоянной времени релаксации наблюдается только при малых скоростях, до некоторой критической величины:

$$\omega = \frac{0.32}{\eta} \cdot \sqrt[3]{q \frac{C^2}{R^2}} \quad (1.44)$$

Однако необходимо отметить, что предельная величина коэффициента трения качения зависит от жесткости покрытия, усилия прижатия и радиуса вала и не зависит от скорости и коэффициента вязкости покрытия, рисунок 9.

Тогда обобщенные силы по обобщенным координатам имеют следующий вид:

$$Q_y = S_{13} + M_{mp}^{(13)} \frac{1}{R_{11}} - F_{mp}^{(13)},$$

$$Q_{z_1} = P_{13} + \frac{G_{13}}{2} - c_3 z_3, \quad Q_{z_2} = -P_{13} - \frac{G_{13}}{2} - c_3 z_3.$$

Определим касательных сил реакций управляемых связей (1.35):

$$\sum_j \mu_j \left(\sum_i \frac{\partial \tilde{q}_i}{\partial q_m} \cdot \frac{\partial \tilde{q}_i}{\partial q_j} \right); \quad (m, j = 1, 2, 3; i = 1, 2, 3, 4)$$

при $m=1, \mu_1 \left(\frac{1}{k^2} + a_3^2 \cdot k^2 \right) + \mu_2 \cdot 0 + \mu_3 \cdot 0,$

при $m=2, \mu_1 \cdot 0 + \mu_2 \cdot 1 + \mu_3 \cdot 0,$

при $m=3, \mu_1 \cdot 0 + \mu_2 \cdot 0 + \mu_3 \cdot 0.$

Все найденные значения подставим в уравнение (1.40) и получим:

$$\begin{aligned} & \{ a_6 + a_4 \cdot a_7 [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot L_1 \cdot \sin(\omega_9 t)] \cdot [\cos(\omega_{\omega_9} t) - a_4 \sin(\omega_9 t)] - \\ & - a_8 \cdot \frac{L_1}{y} \cdot \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \cdot \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot [\sin(\omega_9 t) + a_4 \cos(\omega_9 t)] \} \cdot \ddot{y} + a_7 \frac{\ddot{z}_3 l_2 + \ddot{z}_4 l_1}{l} \cdot \\ & \cdot [\cos(\omega_9 t) - a_4 \sin(\omega_9 t)] - \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \cdot \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot [\sin(\omega_9 t) + a_4 \cos(\omega_9 t)] \cdot a_8 \dot{y} = \\ & = S_9 + M_{mp}^{(9)} \cdot \frac{1}{R_9} - F_{mp}^{(9)} + \mu_1 \left(\frac{1}{k^2} + a_3^2 \cdot k^2 \right); \quad (1.45) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_9 \ddot{z}_3 + a_{10} \ddot{z}_4 + \frac{l_2 \cdot m_9 \cdot a_4}{l} \cdot [\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot L_1 \cdot \sin(\omega_9 t)] \cdot \ddot{y} - a_{11} \cdot \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 = \\ = P_9 + \frac{G_9}{2} - c_3 z_1 + \mu_2 \quad (1.46) \end{aligned}$$

$$a_{10}\ddot{z}_3 + a_{12}\ddot{z}_4 + a_{13}[\cos(\omega_9 t) - a_3 k \cdot L_1 \cdot \dot{y} \sin(\omega_9 t)] \cdot \ddot{y} - a_{13} \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 =$$

$$= -P_9 - \frac{G_9}{2} - c_4 z_2 + \mu_3, \quad (1.47)$$

где

$$a_8 = a_7 \cdot a_3 \cdot k, \quad a_9 = \frac{m_9 \cdot l_2^2 + B_9}{l^2}, \quad a_{10} = \frac{m_9 \cdot l_1 \cdot l_2 - B_9}{l^2},$$

$$a_{11} = \frac{m_9 \cdot a_5 \cdot l_2}{l^2}, \quad a_{12} = \frac{l_1^2 \cdot m_9 + B_9}{l^2}, \quad a_{13} = \frac{l_1 \cdot m_9 \cdot a_4}{l}. \quad L_1 = \dot{y} \cdot t$$

Принимая, что на участке 9 – 3 достигнуто, что полуфабрикат имеет постоянную скорость, тогда из равенств (1.45) и (1.47) получим:

$$\frac{a_7}{l} (\ddot{z}_3 l_2 + \ddot{z}_4 l_1) \cdot [\cos(\omega_9 t) - a_4 \sin(\omega_9 t)] - \left[\frac{\dot{z}_3 l_2 + \dot{z}_4 l_1}{l} + e_1 \cdot \omega_9 \cos(\omega_9 t) \right] \cdot$$

$$\cdot [\sin(\omega_9 t) + a_4 \cos(\omega_9 t)] \cdot a_8 \dot{y} = S_9 + M_{mp}^{(9)} \cdot \frac{1}{R_9} - F_{mp}^{(9)} + \mu_1 \left(\frac{1}{k^2} + a_3^2 \cdot k^2 \right),$$

$$a_9 \ddot{z}_3 + a_{10} \ddot{z}_4 - a_{11} \cdot \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 = P_9 + \frac{G_9}{2} - c_3 z_3 + \mu_2, \quad (1.48)$$

$$a_{10} \ddot{z}_3 + a_{12} \ddot{z}_4 - a_{13} \sin(\omega_9 t) \cdot \dot{y}^2 = -P_9 - \frac{G_9}{2} - c_4 z_4 + \mu_3.$$

Из расчётной схемы (рисунок 9) следует, что

$$z_4 = \frac{z_3(l_1 + l_2)}{l_1}; \quad \dot{z}_4 = \frac{l_1 + l_2}{l_1} \cdot \dot{z}_3; \quad \ddot{z}_4 = \frac{l_1 + l_2}{l_1} \cdot \ddot{z}_3. \quad (1.49)$$

Подставляя эти значения в систему дифференциального уравнения (1.48) и после несложных преобразований, получим

$$\ddot{z}_3 + a_{15} \cdot z_3 = -\frac{P_9 + G_0}{2} \cdot \frac{1}{a_{14}} \quad (1.50)$$

где
$$a_{14} = a_{10} + a_{12} \frac{l_1 + l_2}{l_1}, \quad a_{15} = \frac{c_4(l_1 + l_2)}{l_1 \cdot a_{14}}.$$

Уравнение (1.50) даёт дифференциальные уравнения вынужденного колебания. Подставляя, значения \ddot{z}_3 и \ddot{z}_4 с учётом (1.49) в систему дифференциальных уравнений (1.48) можно определить касательные силы реакций управляемых связей (1.35), которые обеспечивают желаемую скорость полуфабриката на участке 9–5.

1.7. Обоснование приемлемых образцов машин применяемых в механической обработке

Из проведенного исследования следует, что приемлемых образцов машин применяемых механической обработке при создании автоматической линии необходимо снабдить машины проходного типа средствами контроля, учитывающие следующие параметры: толщина, масса, площадь, давление, длина.

В качестве межоперационного транспортирующего устройства предлагается межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера, который показан на рисунке 6. Принцип работы дано в пункте 1.2

Его основными звеньями являются прижимные валы (8, 9) и ножевой (расправочный) вал (7). Поэтому в данном отчете приведены числовые расчёты основных параметров ножевого вала:

- степени прочности ножевого вала, на упругом основании;
- частоты собственных колебаний и критические числа оборотов ножевого вала;

- кинематические характеристики ножевого вала;
- условия, поддерживающие постоянство угловой скорости вала.

Один из факторов крепление ножей на поверхности вала требуется определить напряжение от действия центробежных сил и силу, отрывающую стальной нож.

Определяем напряжения от действия центробежных сил в сплошном стальном ножевом валу диаметром 200 мм, вращающемся со скоростью 2000 об/мин.

Имеем

$$R = 10 \text{ см}; n = 2000 \text{ об/мин}; \nu = 0,3; \gamma = 0,0078 \text{ кг/см}^2;$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} = 209,3 \text{ сек}^{-1}.$$

Радиальные и кольцевые напряжения для стали получаем:

$$\sigma_{\text{макс}} = 0,43 \cdot \frac{\gamma \omega^2}{g} \cdot R^2 = 0,43 \cdot \frac{0,0078 \cdot 209^2}{981} \cdot 10^2 = 14,934 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Далее определяем силу, отрывающую стальной нож (на 1 пог. см его длины) при следующих данных : нож выступает за пределы канавки на 30 мм, имеет толщину 3 мм и зачеканен в канавке на высоту 5 мм. Диаметр вала 200 мм, скорость вращения 2000 об/мин.

Определяем вес 1 пог. см ножа (при $\gamma = 0,0078 \text{ кг/см}^2$) :

$$G = 3,5 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 0,0078 = 0,0082 \text{ кг/пог.см.}$$

Радиус вращения центра тяжести ножа

$$e = 10 - 0,5 + 0,5 \cdot 3,5 = 11,25 \text{ см.}$$

Угловая скорость

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} = 209 \text{ сек}^{-1}.$$

Зная эти величины находим центробежную силу

$$P_u = \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot e = \frac{0,0082}{981} \cdot 209^2 \cdot 11,25 = 4,1076 \text{ кг/пог.см},$$

т. е. почти в пятьсот раз больше веса ножа.

Напряжение в зачеканке

$$\sigma = \frac{P_u}{F} = \frac{4,1076}{0,5 \cdot 1} = 8,2 \text{ кг/см}^2.$$

В настоящее время изобретатели работают над созданием оригинальных расправочных валов.

Устройства, выполненные в виде вала (рисунок 14) с находящимися на его поверхности расправочными элементами, расходящимися по винтовой линии от середины цилиндрического основания к его краям [18], широко используются для расправки кожевенного полуфабриката при его обработке на отжимных и разводных машинах. Для таких устройств характерно использование в качестве расправочных элементов спиральных ножей, что является причиной интенсивного механического воздействия этих элементов на поверхность объекта обработки и ограничивает возможность изменения интенсивности воздействия (только за счет регулирования усилия прижатия к материалу), создает вероятность повреждения лицевой поверхности материала, в связи с чем подобные устройства используют только в оборудовании предварительной механической обработки кожевенно-мехового полуфабриката.

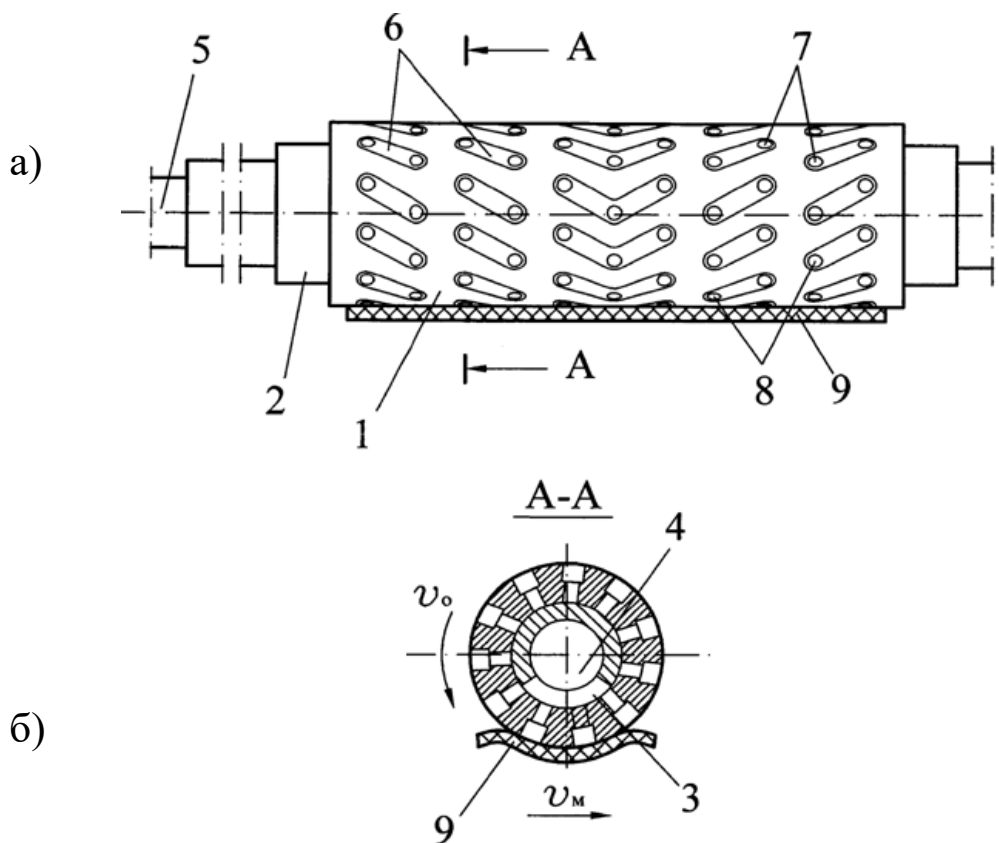


Рисунок 14. Расправочное устройство, вид спереди

1—кольцевая обечайка; 2—неподвижная вставка с вырезом;
 3,4—центральные полости с трубопроводом; 5 — для
 отсасывания воздуха; 6,7—расправочные элементы,
 8 — отверстия; 9 —расправляемый материал

Ближайшим аналогом предлагаемого технического решения является расправочное устройство, состоящее из цилиндрического основания и расположенных на его поверхности расправочных элементов в виде ножей, кромки которых жестко закреплены в выфрезерованных в основании вала канавках, расходящихся по винтовым линиям в противоположных направлениях от середины основания [49].

Недостатком такого устройства, в случае его использования для расправки материала, является и сложность конструкции.

Расправочное устройство для кожевенно–мехового полуфабриката, состоящее из цилиндрического основания и расположенных на его поверхности расправочных элементов, расходящихся по винтовым линиям в противоположных направлениях от середины основания, отличающееся тем, что основание выполнено сборным и состоит из наружной кольцевой обечайки, получающей движение от привода и неподвижной вставки с вырезом, образующим полость, соединенную с трубопроводом для отсасывания воздуха, а расправочные элементы представляют собой канавки на поверхности обечайки и соединены с полостью неподвижной вставки.

Устройство отличающееся тем, что канавки на поверхности цилиндрического основания выполнены в виде отдельных выемок, соединенных с полостью радиальными отверстиям

1.8. Выводы к главе I

1. Из графиков построенных для скоростей $\vec{\vartheta}_7$ и $\vec{\vartheta}_9$ следует что, при $\omega_7 = \omega_9 = 136 \text{ рад/с}$ для винтового вала с переменным шагом в течении от 0–8 секундах равномерно расправляется полуфабрикат. Поэтому расправка должна продолжаться до восьми секунд и винтовой вал необходимо приподнять.

2. При применении винтовых валов для расправки продольных складок листового материала, для полной расправки

складок винтовой расправочный вал должен совершить определенное количество вращений, так как винтовые лопасти, имеющие постоянный шаг винта, с каждым полным оборотом винта перемещают складки полуфабриката от середины расправочного вала к его краям на один ход винтовой лопасти.

3. Линейные скорости лопасти расправочного вала с постоянным шагом при $\omega = 157 \text{ рад/с}$ более стабильно меняется, т.е. вибрации в опорах расправочных валов 7 и 9 будет наименьшими. Линейные скорости лопасти расправочного вала с переменным шагом при $\omega = 136 \text{ рад/с}$ в промежутке времени 0–8 секундах стабильно расправляет полуфабриката от середины расправочного вала к его краям на один ход винтовой лопасти.

4. Научно обосновано, что опоры расправочного вала совершают вынужденные колебания, а также предложены методы определения значений сил реакций управляющих связей.

5. Рассмотрены и анализированы случаи транспортирования (подачи) и движения обрабатываемого кожевенного полуфабриката между рабочими валами с учетом их крутящего момента, а также со свободным захватом.

6. Выведены уравнения и получены графические решения зависимости радиуса рабочего вала от угла захвата со свободным захватом обрабатываемого материала и с учетом крутящего момента рабочих валов.

ГЛАВА II

МЕЖОПЕРАЦИОННОЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

2.1. Создание автоматических линий, соединяющих несколько механических операций по обработке кожевенного полуфабриката

Представлены результаты создания межоперационных транспортирующих устройств для автоматической линии при механической обработке кожевенного полуфабриката между несколькими технологическими машинами для обработки кож. При этом на данной линии все обрабатываемые машины должны быть проходными. Показаны принципы работы механизма транспортирующих устройств. Основными механизмами данного транспортера являются ножевые и прижимные валов. Поэтому исследованы определения угловой скорости ножевого вала, скорости и ускорения лопеса ножевого вала, и обеспечения желаемой скорости кожевенного полуфабриката.

Целью работы является разработка межоперационного транспортирующего устройства при помощи, которого создать автоматические линии, соединяющие несколько технологических машин для обработки кожи уменьшить ручной труд рабочих, повысить экономическую эффективность и обеспечить непрерывные работы технологического процесса.

Наиболее актуальными задачами кожевенного производства в условиях рыночных отношений являются улучшение качества и

снижение себестоимости выпускаемой продукции, повышение конкурентоспособности товаров и эффективности их производства, а также соблюдение требований экологических норм. Все это должно быть достигнуто за счет существенного совершенствования всего технологического оборудования и в частности, оборудования для механической обработки кожи, применения многофункциональных машин, т.е. создания автоматических линий, соединяющих несколько механических операций по обработке кожевенного полуфабриката вместо оборудования, выполняющего по одной операции. Так как производственные процессы представляют собой интегрированный набор тех или иных машинных операций, реализуемых конкретным комплектом технологического оборудования, то очевидно, наиболее эффективное, с точки зрения экономических показателей и качества продукции, оборудование должно базироваться на самом оптимальном машинном процессе, то есть реализовывать передовую технологию.

Процесс производства кожи уже не меняется в течение многих лет и основную его часть занимает ручной труд [4,11]. Для создания автоматических линий, соединяющих несколько операций по обработке кожевенного полуфабриката, обеспечивающих повышение качества выпускаемой продукции и эффективность её производства необходимо изучать последовательность основных процессов и операций кожевенного производства. Среди механических операций обработки кожевенного полуфабриката выделены следующие: мездрение, строгание, отжим, разводка,

смягчение, шлифование, которые определяют качество кожи. Механическую обработку поверхности кожевенного полуфабриката на предприятиях легкой промышленности проводят как основную операцию технологического процесса, выполняемую с целью изменения геометрических размеров кожевенного полуфабриката [3, 6, 54–57].

На каждом этапе механической обработки кожевенного полуфабриката из операций, перечисленных выше, загрузку, разгрузку и удержание кожевенного полуфабриката выполняют операторы. Кроме того, межоперационное транспортирование осуществляется вручную на тележках или другими приспособлениями.

Автоматизация линии предполагает создание технологических линий, представляющих модули определенного вида: транспортное средство – аппаратура или оборудование для выполнения технологического процесса или операции – автоматический укладчик – транспортное средство.

Предлагаемое транспортирующее устройство находится между двумя технологическими машинами для механической обработки кожевенного полуфабриката (например, отжимная и разводная машины). Из отжимной машины кожевенный полуфабрикат передается через роликовый транспортер на первую группу струн транспортера и перемещается со скоростью \vec{g}_1 . Далее кожевенный полуфабрикат через вторую группу струн транспортера, двигаясь со скоростью \vec{g}_2 , передается на разводную машину. Технический результат выражается тем, что

предложенный транспортёр, не останавливая технологический процесс обработки кожевенного полуфабриката, обеспечивает стабильную работу автоматической линии обработки кожевенного полуфабриката. На данной линии отжимная и разводная машины должны быть проходными (это означает на такой машине кожа один раз обрабатывается. т.е. спереди входит, а задней стороны выходит). Созданная автоматическая линия отжима и разводки кожевенного полуфабриката на валочной машине с целью удаления влаги из кожевенного полуфабриката, расправления складок, морщин и увеличения площади кожевенного полуфабриката дает желаемый результат.

Задача данного транспортера – повышение производительности труда за счет автоматизации процесса транспортировки и частичной расправки листового материала в процессе транспортировки, а также сообщение желаемой скорости листовому материалу после частичной расправки.

Рама установлена на ножничные подъемники (на рисунке 14 показано 14 и 15 элементы устройства), которые обеспечивают возможность регулирования высоты приема и передачи листового материала. Бесконечные струны транспортирующего конвейера состоят из двух групп, которые огибают опорный вал расправляющего блока поочередно и обеспечивают возможность регулирования разницы скоростей при входе и выходе листового материала из зоны обработки. Устройство содержит транспортирующий конвейер, блок расправки и систему управления.

Межоперационное транспортирующее устройство содержит струнный транспортирующий конвейер, состоящий из двух групп струн (1 и 2), из расправочного блока I, а также системы управления II.

Струны первой группы 1, огибают канавки транспортирующего вала 3 и опорного вала 4, расправочного блока I. Струны второй группы 2, огибают канавки транспортирующего вала 5. Кольца 6, свободно установлены в канавках опорного вала 4, расправочного блока I.

На участке струн второй группы 2, над опорным валом 5, также установлен прижимной вал 10 (рисунок 15).

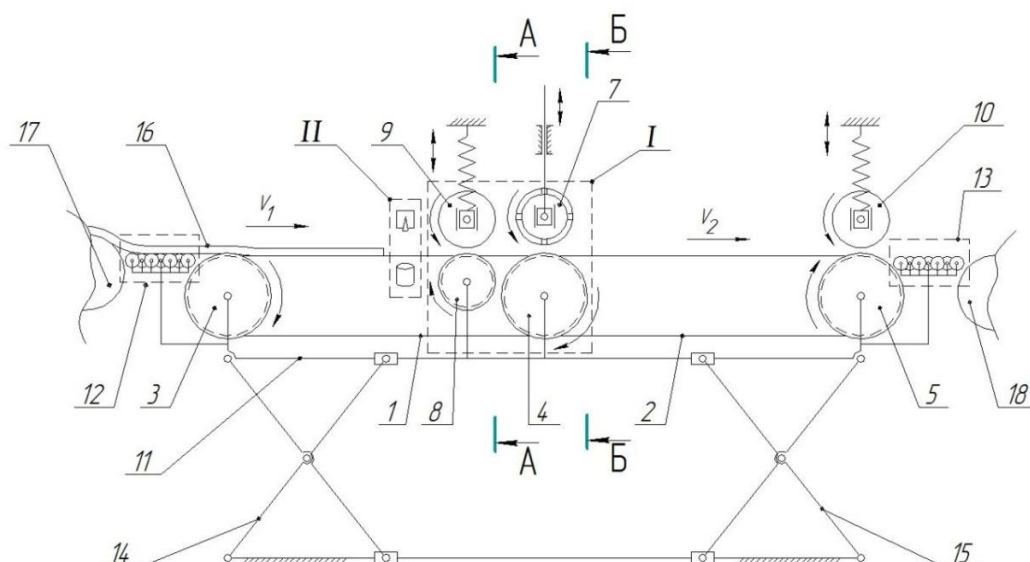


Рисунок 15. Схема межоперационного транспортирующего устройства, вид с боку

Причем, бесконечные струны первой 1 и второй 2 группы огибают опорный вал 4 расправляющего блока I, поочередно. Опорные валы 3, 4, 5 и 8 установлены на раме 11. На участке струн первой группы 1, перед опорным валом 3, к раме 11, крепится роликовый транспортер 12.

На участке струн второй группы 2, за опорным валом 5, к раме 11, крепится роликовый транспортер 13 (рисунок 16).

Рама 11 установлена на два ножничных подъемника 14 и 15. Ножничные подъемники 14 и 15, обеспечивают возможность регулировки высоты приема и подачи листового материала 16, между двумя обрабатывающими машинами 17 и 18 (на рисунке 15).

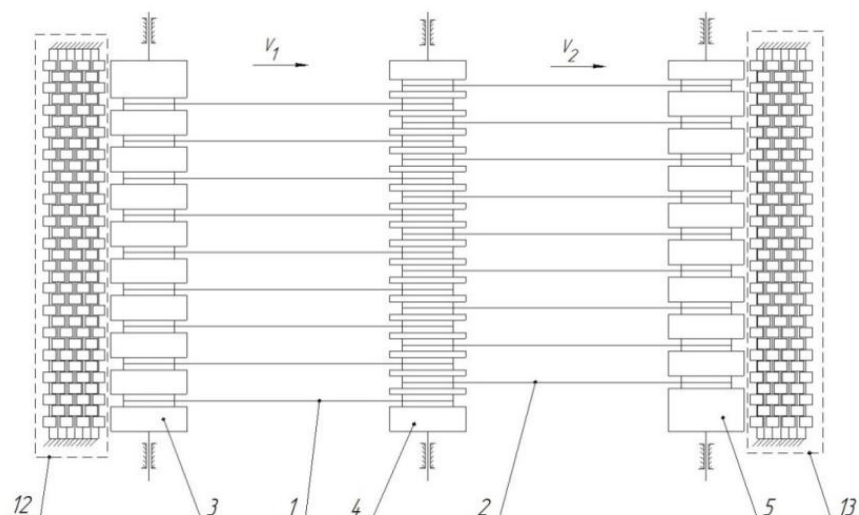


Рисунок 16. Схема межоперационного транспортирующего устройства, вид сверху

(прижимной и расправляющий валы не показаны)

На участке струн первой группы 1, перед расправочным блоком I, установлены опорный 8 и прижимной 9 валы (рисунок 17).

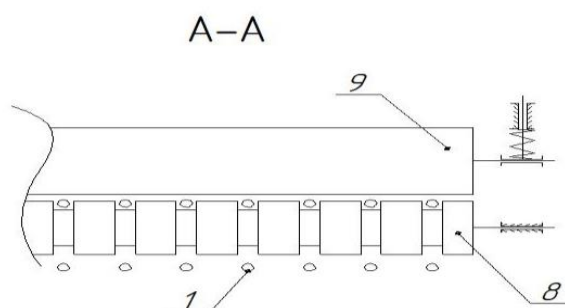


Рисунок 17. Размещение струн на расправочном блоке, вид по разрезу А-А струн,

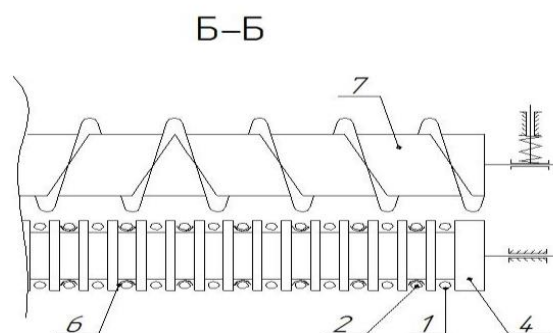


Рисунок 18. Размещение струн, вид по разрезу Б-Б

Расправочный блок I, состоит из опорного вала 4, с кольцами 6, установленными в канавках и управляемого винтового расправляющего вала 7 (рисунок 18).

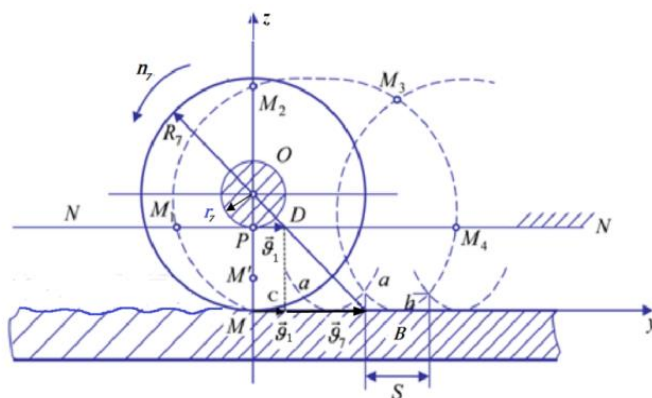
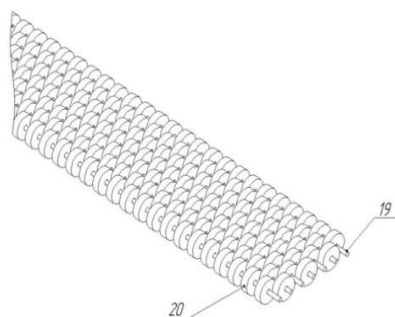


Рисунок 19. Роликовый транспортер расправочного вала 7

Рисунок 20. Траектория грани лопасти

Роликовые транспортеры 12 и 13 состоят из параллельно установленных осей 19, на осях установлены ролики 20, которые могут свободно вращаться на оси 19, причем ролики 20, соседних осей, установлены в шахматном порядке друг относительно друга. Такое расположение роликов 20, предотвращает проваливание листового материала 16, в межроликовое пространство и обеспечивает перемещение листового материала 16, с минимальным трением (рисунок 19). Устройство снабжено блоком управления II (на рисунке 15).

Устройство работает следующим образом.

В начале работы управляемый винтовой расправляющий вал 7, расправочного блока I приподнят. Обрабатываемый листовый материал 16, из обрабатывающей машины 17, через роликовый транспортер 13, поступает на струны первой группы 1 и движется с определенной скоростью \mathcal{Q}_1 . При прохождении листового материала 16, через систему управления II, подается сигнал, и винтовой расправляющий вал 7, расправочного блока I опускается, вращаясь попутно с движением листового материала 16. Начинается расправка листового материала 16.

Когда конец листового материала 16, выйдет из зоны системы управления II, подается сигнал и винтовой расправляющий вал 7, расправочного блока I, поднимается и листовый материал 16, на струнах второй группы 2, начинает движение со скоростью \mathcal{Q}_2 , по роликовому транспортеру 13, поступает на обрабатывающую машину 18. Прижимной вал 10 обеспечивает равномерную подачу листового материала 16, на обрабатывающую машину 18.

Выполнение бесконечных струн транспортирующего конвейера из двух групп 1 и 2, которые огибают опорный вал 4, расправляющего блока I, поочередно, причем струны второй группы 2, огибают канавки транспортирующего вала 5 и кольца 6, свободно установленных в канавках опорного вала 4, расправочного блока I, позволяют регулировать скорости \mathcal{Q}_1 и \mathcal{Q}_2 .

Принятые условия направления линейных скоростей грани лопастей расправочного вала 7 и кожевенного полуфабриката совпадают (рисунок 20). Обрабатываемый материал 16

(на рисунке 1) расположен на бесконечной струне и перемещается поступательно со скоростью \vec{g}_1 . Лопастей MM' расправочного вала 7 вращаются относительно центра O против часовой стрелки с окружной скоростью равной \vec{g}_7 . Как известно, скорость точки лопасти ножевого вала зависит от угловой скорости вала и расстояния от точки лопасти до оси вращения вала. Учитывая это обстоятельство, определим траекторию точки и скорость точки M расправочного вала относительно перемещающего кожевенного полуфабриката. Рассмотрим два случая, когда лопасти MM' расправочного вала 7 имеет постоянный шаг и лопасти MM' расправочного вала 7 имеют переменный шаг.

Учитывая, что винтовой вал совершает плоское движение, определим зависимости скорости кожевенного полуфабриката \vec{g}_1 и скорости лопасти расправочного вала \vec{g}_7 . Для этого установим положение мгновенного центра скоростей точки P ($g_p = 0$). Определяем на рисунке 19 скорости \vec{g}_1 и \vec{g}_7 . Соединим центр расправочного вала O с точкой M (начало векторов \vec{g}_1 и \vec{g}_7). и точкой B (конец вектора \vec{g}_7). Далее, с конца вектора \vec{g}_1 проведем перпендикуляр и определим точки пересечения P и D , находящиеся соответственно на прямых линиях OM и OB . Если сообщим всей системе скорость, направленную влево и равную \vec{g}_1 , тогда кожевенный полуфабрикат остановится.

Любая точка лопасти расправочного вала будет обладать скоростью вращения относительно точки O и переносной скоростью

\vec{g}_1 вместе с точкой O . К точке P приложены две скорости g_p и \vec{g}_1 , равные по величине, но направленные в противоположную сторону. Следовательно, абсолютная скорость точки P равняется нулю, и является центром мгновенного вращения лопасти относительно кожанного полуфабриката. Из подобия треугольников OPD и OMB имеем:

$$\frac{\overline{OP}}{\overline{OM}} = \frac{g_1}{g_7} \quad \text{и} \quad \overline{OP} = \overline{OM} \frac{g_1}{g_7} = R_7 \frac{g_1}{g_7} = const. \quad (2.1)$$

Следовательно, в данном случае подвижная центроида является окружностью радиуса r_7 (соответствующая ей площадь заштрихована на рисунке 19).

Положение точки P относительно обрабатываемого кожанного полуфабриката определяется расстоянием

$$\overline{MP} = \overline{OM} - \overline{OP} = R_7 - r_7 = R_7 \left(1 - \frac{g_1}{g_7} \right) = const. \quad (2.2)$$

Следовательно, неподвижной центроидой является прямая NN .

Как показано в работе [12], точка M лопасти расправочного вала, находящаяся на радиусе R_7 , вне центроида опишет удлиненную циклоиду или так называемую трохоиду $MM_1M_2M_3$, которая и будет являться траекторией точки M лопасти относительно обрабатываемой поверхности. По таким же траекториям будут перемещаться точки лопасти, расположенные на расправочном валу, следовательно, обработанная поверхность в идеальном случае будет ограничена дугами трохоид aa .

В этом случае вращающиеся лопасти, выдавливая часть полуфабриката, образуют на поверхности полуфабриката впадину, имеющую глубину h и ширину S_b . Оба размера влияют на чистоту (гладкость) поверхности, которую можно оценивать величиной отношения $[S_b : h]$. Чем оно больше, тем ровнее обрабатываемая поверхность. В дальнейшем можно считать с достаточной точностью $S = S_b$.

Длина хорды S каждой дуги трохойды соответствует перемещению кожаного полуфабриката за время его обработки одной лопастью, т.е. подаче на одну лопасть, которая достаточно точно определяется из уравнения

$$S = \frac{60 \mathcal{G}_2}{n_7 d_7} \text{ мм/лоп}, \quad (2.3)$$

где n_7 – число оборотов расправочного вала в минуту; d_7 – число лопастей на валу.

Зависимость между h и S можно установить при помощи уравнения трохойды. Если направить оси координат, как на рисунке 19 (ось x направлена по оси вращения расправочного вала), то уравнение трохойды в параметрической форме примет следующий вид:

$$y = \mathcal{G}_2 t - R_7 \sin(\omega_7 t) \quad \text{и} \quad z = R_7 (1 - \cos(\omega_7 t)), \quad (2.4)$$

где ω_7 – угловая скорость расправочного вала 7.

Для расправочного вала с постоянным шагом винтовых ножей определим скорости и ускорения граней ножей относительно кожаного полуфабриката для случаев, когда направление

линейных скоростей ножевого вала и коженного полуфабриката совпадают

$$\mathcal{G}_x = a_1 \cdot \frac{\omega_7}{2\pi}; \quad \mathcal{G}_y = \mathcal{G}_2 - R_7 \omega_7 \cdot \cos(\omega_7 t); \quad \mathcal{G}_z = R_7 \omega_7 \cdot \sin(\omega_7 t)$$

$$\mathcal{G}_7 = \sqrt{\mathcal{G}_2^2 - 2\mathcal{G}_2 R_7 \cdot \omega_7 \cos(\omega_7 t) + R_7^2 \cdot \omega_7^2 + \frac{a_1^2}{4\pi^2} \cdot \omega_7^2}, \quad (2.5)$$

$$a_x = 0; \quad a_y = R_7 \cdot \omega_7^2 \cdot \sin(\omega_7 \cdot t); \quad a_z = R_7 \cdot \omega_7^2 \cdot \cos(\omega_7 \cdot t); \quad a = R_7 \cdot \omega^2$$

Известно [12], что ход винтовой линии (расстояние между соседними витками винтовой линии, измеренное вдоль образующего цилиндра) определяется по формуле:

$$h = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

где β – угол подъема винтовой линии.

Для винтового вала с переменным шагом винтовых ножей [31] закон движения поверхности касания грани ножей с полуфабрикатом имеет следующий вид [38]:

$$x = \frac{2a_1}{k_0} \left[(k_0 + 1)^{\frac{\omega t}{2\pi}} - 1 \right], \quad (2.6)$$

где a_1 – первый ход винтовой лопасти расправочного вала с переменным ходом от середины к его краям; k_0 – коэффициент, учитывающий скольжение винтовой лопасти по полуфабрикату.

Определяя время t из равенства (2.6)

$$t = \frac{2\pi \cdot \ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right|}{\omega_7 \cdot \ln(k_0 + 1)},$$

и подставляя ее значения в уравнения (2.1) и (2.2), получим уравнение траектории грани винтовой лопасти на участке 3 – 7 и:

$$y_7 = \mathcal{G}_2 \frac{\ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right|}{\omega_7} \cdot b_1 - R_7 \sin \left[b_1 \cdot \ln \left| \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right| \right], \quad (2.7)$$

$$z_7 = R_7 \cdot \left[1 - \cos \left(b_1 \cdot \ln \frac{k_0 x}{2a_1} + 1 \right) \right], \quad (2.8)$$

где
$$b_1 = \frac{2\pi}{\ln |k_0 x + 1|}.$$

Беря производные от обеих частей равенства (2.6), (2.7) и (2.8), определим составляющие скорости вектора грани лопасти расправочных валов для участков 3–7 :

$$\mathcal{G}_{7x} = b_1 \cdot \omega_7 \cdot (k_0 + 1)^{\frac{\omega_7 t}{2\pi}},$$

$$\mathcal{G}_{7y} = \mathcal{G}_2 - R_7 \cdot \omega_7 \cdot \cos(\omega_7 t),$$

$$\mathcal{G}_{7z} = R_7 \cdot \omega_7 \cdot \sin(\omega_7 t),$$

где
$$b_1 = \frac{a_1 \ln |k_0 x + 1|}{k_0 \cdot \pi}.$$

Тогда скорость \mathcal{G}_7 можно определить :

$$\mathcal{G}_7 = \sqrt{b_1^2 \cdot \omega_7^2 (k_0 + 1)^{\frac{\omega_7 t}{2\pi}} + \mathcal{G}_2^2 + R_7^2 \cdot \omega_7^2 - 2R_7 \cdot \omega_7 \cdot \mathcal{G}_2 \cos(\omega_7 t)}, \quad (2.9)$$

Аналогичным образом, определяем ускорения грани винтовой лопасти расправочных валов участков 3 – 7

$$a_{7x} = b_2 \cdot \omega_7^2 \cdot (k_0 + 1)^{\frac{\omega_7 t}{2\pi}}; \quad a_{7y} = R_7 \cdot \omega_7^2 \cdot \sin(\omega_7 \cdot t); \quad a_{7z} = R_7 \cdot \omega_7^2 \cdot \cos(\omega_7 \cdot t)$$

и
$$a_7 = \omega_7^2 \cdot \sqrt{R_7^2 + b_2^2 \cdot (k_0 + 1)^{\frac{\omega_7 t}{2\pi}}}. \quad (2.10)$$

где

$$b_2 = \frac{b_2 \cdot \ln |k_0 x + 1|}{k_0 \cdot \pi} = \frac{a_1 \cdot \ln^2 |k_0 x + 1|}{2k_0 \cdot \pi^2}.$$

Известно, что при влажности кожевенного полуфабриката 60–65 %, значения коэффициентов расправляемости равны $k_0 = 0,2$ [53], и зная, что для полной расправки складок кожевенного полуфабриката расправочный вал должен совершить $\xi = \frac{K}{k_0}$ оборотов ($k_0 \ll K$).

Для построения графиков скоростей \vec{g}_7 используем программу EXCEL из пакета MS – Office

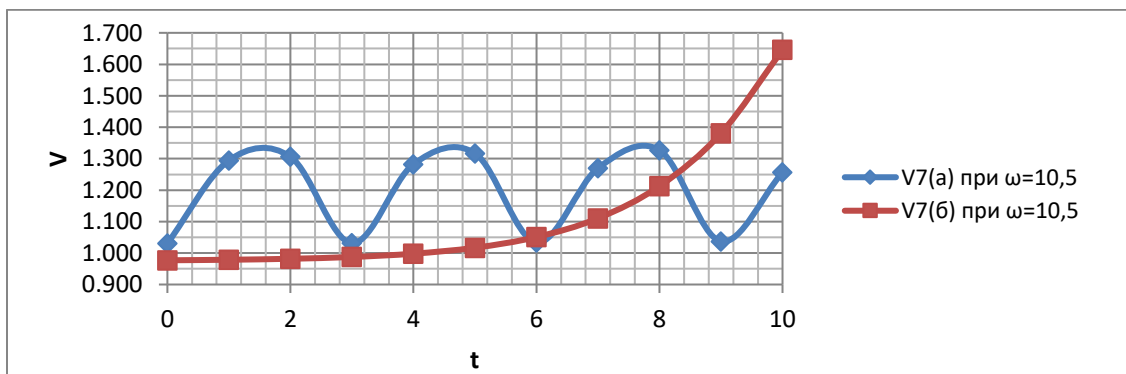
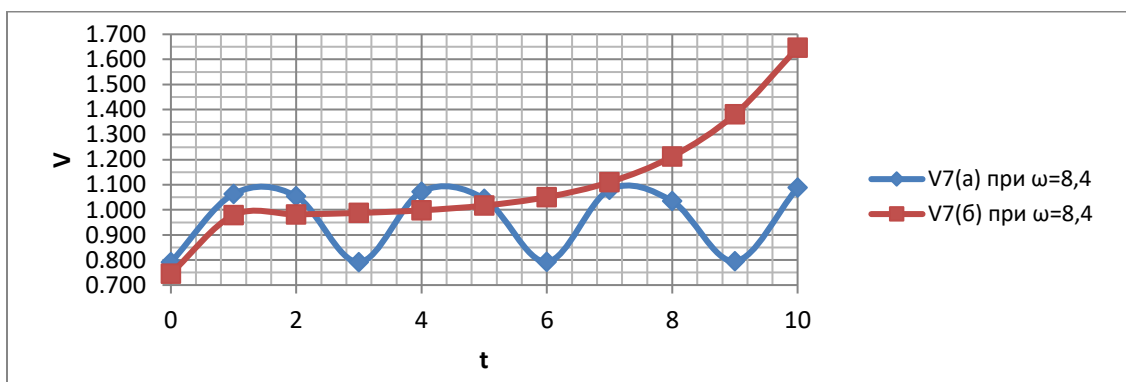
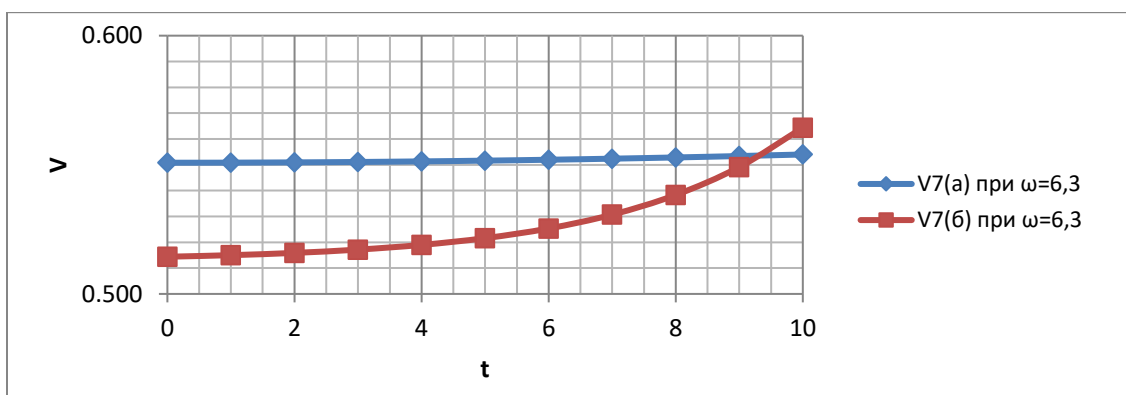
V7(a) при постоянном шаге
V7(б) при переменном шаге

V2= 0,18
R7 = 0,11 $k_0=$ 0,2
 $a_1 =$ 0,2 $b_1=$ 0,006

$\omega =$	6,3	8,4	10,5	12,6	16,8	20
t	V7(a) при $\omega=6,3$	V7(б) при $\omega=6,3$	V7(a) при $\omega=8,4$	V7(б) при $\omega=8,4$	V7(a) при $\omega=10,5$	V7(б) при $\omega=10,5$
0	0,551	0,514	0,791	0,746	1,031	0,977
1	0,551	0,515	1,063	0,979	1,295	0,979
2	0,551	0,516	1,054	0,982	1,306	0,982
3	0,551	0,517	0,791	0,988	1,031	0,988
4	0,551	0,519	1,072	0,998	1,282	0,998
5	0,552	0,522	1,044	1,017	1,317	1,017
6	0,552	0,525	0,792	1,051	1,034	1,051
7	0,552	0,531	1,080	1,111	1,270	1,111
8	0,553	0,538	1,034	1,213	1,327	1,213
9	0,553	0,549	0,795	1,381	1,037	1,381
10	0,554	0,564	1,088	1,646	1,256	1,646

t	V7(a) при	V7(б) при	V7(a) при	V7(б) при	V7(a) при	V7(б) при
-----	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

	$\omega=12,6$	$\omega=12,6$	$\omega=16,8$	$\omega=16,8$	$\omega=20$	$\omega=20$
0	1,271	1,208	1,752	1,671	2,118	2,024
1	1,271	1,211	2,010	1,676	2,226	2,031
2	1,271	1,216	2,029	1,689	2,410	2,056
3	1,272	1,227	1,753	1,724	2,456	2,133
4	1,273	1,249	1,989	1,812	2,316	2,361
5	1,274	1,294	2,046	2,028	2,144	2,976
6	1,275	1,384	1,758	2,512	2,152	4,395
7	1,276	1,552	1,968	3,484	2,331	7,261
8	1,278	1,854	2,061	5,252	2,460	12,624
9	1,280	2,362	1,767	8,278	2,398	22,356
10	1,282	3,166	1,945	13,308	2,212	39,832



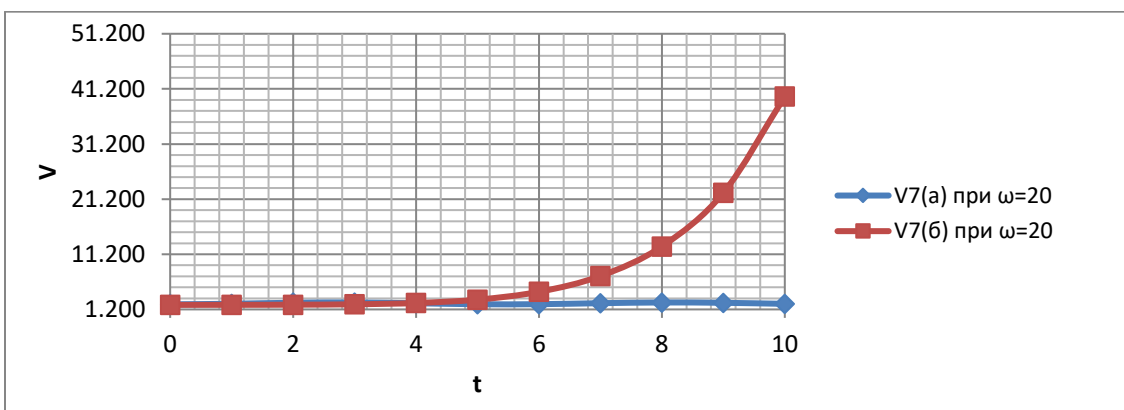
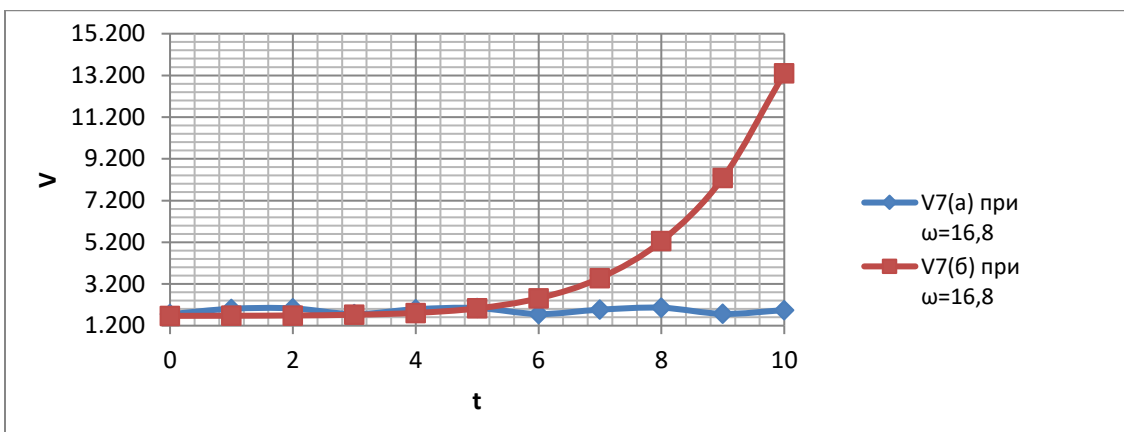
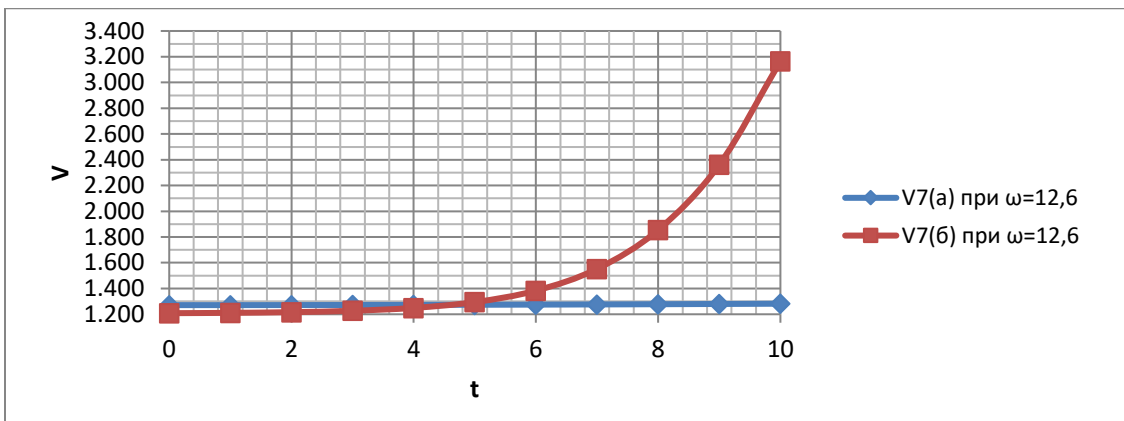


Рисунок 21. Графики изменения скоростей расправочного вала 7 при различных значениях угловой скорости расправочного вала:

V7(a) – изменения скорости расправочного вала 7 с постоянным шагом;

V7(б) – изменения скорости расправочного вала 7 с переменным шагом.

Из построенных графиков следует, что с изменением угловой скорости винтового вала скорости точек лопасти винтового вала меняются.

Когда угловая скорость винтового вала при постоянном шаге равна: $\omega = 6,3 \text{ рад/с}$, $\omega = 12,6 \text{ рад/с}$ и $\omega = 20 \text{ рад/с}$ графики будут прямыми. При этом ускорение точки прикосания лопасти винтового вала с кожевным полуфабрикатом имеет одну составляющую, т.е. центростремительное ускорение. В этом случае, на лопасти винтового вала действуют только центробежные силы инерции.

Поэтому в этом случае сила трения, возникающая от точки прикосания кожевного полуфабриката и точек лопасти вала, будет наименьшей. Кроме этого силы сопротивления момента трения качения, возникающие из-за коэффициента трения качения, тоже будут наименьшими.

Когда винтовой вал имеет переменные шаги, во всех графиках после 6–8 секунды скорость лопасти резко увеличивается. При этом ускорение точек лопасти винтового вала состоит из двух (касательных и нормальных) составляющих, соответственно сила инерции также имеет две составляющие. При этом в точке касания кожевного полуфабриката с лопастями вала силы трения и момент сопротивления будут наибольшими.

Поэтому для рассматриваемого устройства рекомендуется выбрать винтовой вал с постоянным шагом.

Предложенный транспортёр, не останавливая технологический процесс обработки листового материала, обеспечивает стабильную работу автоматической линии, состоящую из “первой механически

обрабатывающей машины–транспортирования–второй механически обрабатывающей машины” при обработке кожевенного полуфабриката. На данной линии первая и вторая, обрабатывающая машины должны быть проходными.

2.2. Межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера

Известно устройство для расправки листовых материалов содержащее два винтовых вала установленных над прижимными валами, две пары нижний и верхний транспортирующие валы, установленных один над другим, две группы конвейеров с набранными струнами, систему управления винтовыми валами, два блока расправки [11].

Однако известное устройство имеет недостаток, который заключается в том, что данное устройство невозможно использовать между двумя обрабатывающими машинами в непрерывном технологическом процессе обработки кожи без участия рабочих.

Задача полезной модели – повышение производительности труда за счет автоматизации процесса транспортировки и частичной расправки листового материала в процессе транспортировки и увеличение скорости транспортировки после частичной расправки листового материала.

Поставленная задача решается тем, что межоперационное транспортирующее устройство устанавливается между двумя обрабатывающими машинами, рама установлена на ножничные

подъемники, которые обеспечивают возможность регулирования высоты приема и передачи листового материала, бесконечные струны транспортирующего конвейера состоят из двух групп, которые огибают опорные валы расправляющего блока поочередно и обеспечивают возможность регулировать разницу скоростей при входе и выходе листового материала из зоны обработки.

Устройство содержит транспортирующий конвейер и блок расправки и систему управления. Транспортирующий конвейер содержит валы с натянутыми бесконечными струнами, которые огибают опорные валы расправляющего блока. Блок расправки содержит опорные, прижимной и винтовой валы.

Технический результат заключается в том, что за счёт автоматизации процесса, транспортировка кожи производится без участия рабочих, расправляющим блоком достигается частичная расправка листового материала по поперечному направлению, а за счет разницы скоростей групп струн транспортирующего конвейера производится частичная расправка в продольном направлении.

На рисунке 1 – изображена схема межоперационного транспортирующего устройства с регулируемой длиной и углом наклона транспортера, вид с боку.

Схема межоперационного транспортирующего устройства с регулируемой длиной и углом наклона транспортера, вид сверху (прижимные и расправляющий валы не показаны) и размещение струн на расправочном блоке I, вид по разрезу А–А , размещение струн, вид по разрезу Б–Б и роликовый транспортер, вид изометрия показаны на рисунках 13, 14, 15, 16.

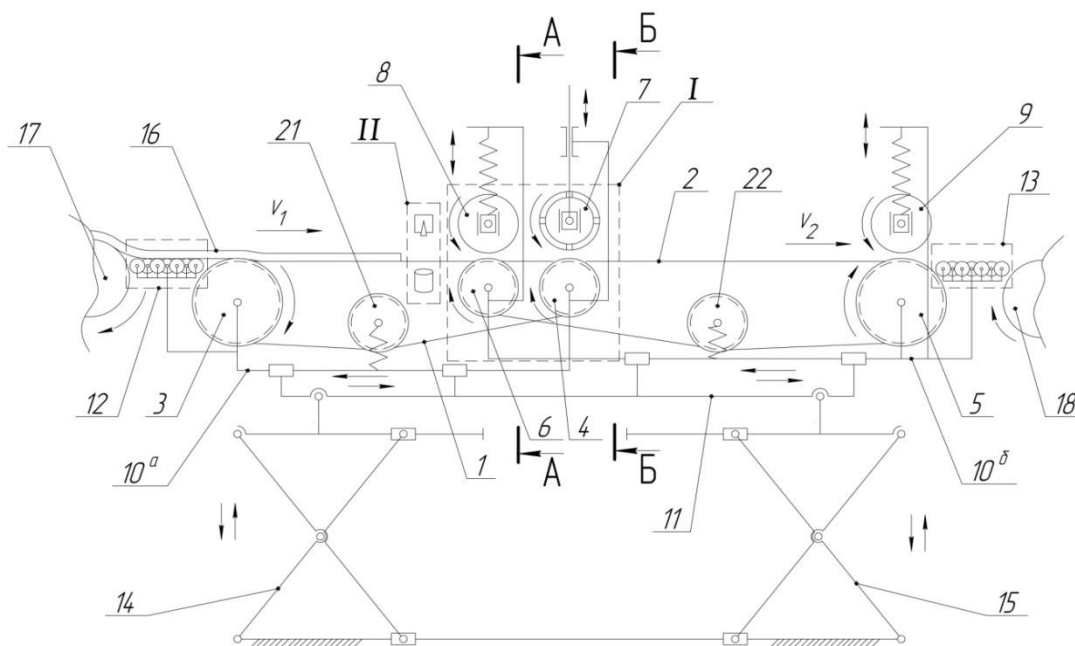


Рисунок 22. Схема межоперационного транспортирующего устройства с регулируемой длиной и углом наклона транспортера, вид с боку.

Межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера содержащее: струнные транспортеры с первой и второй группой бесконечных струн (1, 2), расправочный блок I, а также систему управления II.

Бесконечные струны первой группы (1), огибают канавки опорных валов (3, 4), расправочного блока I. Бесконечные струны второй группы (2), огибают канавки опорных валов (5, 6).

Причем, бесконечные струны первой и второй группы (1, 2) огибают опорные валы (4, 6) расправочного блока I, поочередно.

Расправочный блок I, состоит из опорных валов (4, 6), и управляемого винтового расправляющего вала (7), установленного над опорным валом (4), и прижимного вала (8), установленного над опорным валом (6) (рисунок 22).

На участке бесконечных струн первой группы (1), перед расправочным блоком I, установлена система управления II. На участке бесконечных струн второй группы (2), над опорным валом (5), установлен прижимной вал (9) (рисунок 22).

Опорные валы (3,4) установлены на дополнительной раме (10^а). Опорные валы (5,6) установлены на дополнительной раме (10^б). Дополнительные рамы (10^а и 10^б) установлены на раме (11), с возможностью продольного перемещения вдоль рамы (11) друг относительно друга. На участке бесконечных струн первой группы (1), перед опорным валом (3), к дополнительной раме (10^а), крепится роликовый транспортер (12). На участке бесконечных струн второй группы (2), за опорным валом (5), к дополнительной раме (10^б), крепится роликовый транспортер (13).

Рама (11) установлена на ножничных подъемниках (14 и 15) выполненных с возможностью независимой работы. Ножничные подъемники (14 и 15), обеспечивают возможность регулировки угла наклона двух групп бесконечных струн (1, 2), высоты приема и подачи листового материала (16), между двумя обрабатывающими машинами (17,18) (рисунок 22).

Роликовые транспортеры (12, 13) выполнены в виде параллельно установленных осей (19), на которые установлены ролики (20), выполненные с возможностью свободного вращения вокруг осей (19), причем ролики (20), соседних осей (19), установлены в шахматном порядке друг относительно друга. Такое расположение роликов (20), предотвращает проваливание листового материала (16), межроликовое пространство и

обеспечивает перемещение листового материала (16), с минимальным трением.

Для обеспечения требуемого натяжения групп струн (1, 2) на дополнительные рамы (10^а, 10^б) установлены натяжные валы (21, 22) (рисунок 22).

Устройство работает следующим образом.

Перед началом работы межоперационного транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера устанавливается между двумя обрабатывающими машинами (17, 18). С помощью ножничных подъёмников (14, 15) подбирают оптимальную длину, высоту и угол наклона двух групп бесконечных струн (1,2).

В начале работы управляемый винтовой расправляющий вал (7), расправочного блока I, приподнят. Обрабатываемый листовый материал (16), из обрабатывающей машины (17), по роликовому транспортеру (12), поступает на бесконечные струны первой группы (1), и движется с определенной скоростью \mathcal{G}_1 . При прохождении листового материала (16), через систему управления II, подается сигнал, и винтовой расправляющий вал (7), расправочного блока I опускается, вращаясь попутно с движением листового материала (16). Начинается расправка листового материала (16).

После выхода конца листового материала (16), из зоны действия системы управления II, подается сигнал и винтовой расправляющий вал (7), расправочного блока I, поднимается и

листовой материал (16), на струнах второй группы (2), начинает движение со скоростью \mathcal{G}_2 , и по роликовому транспортеру (13), поступает на обрабатывающую машину (18).

Прижимной вал (8) обеспечивает равномерную подачу листового материала (16), на обрабатывающую машину (18).

Выполнение бесконечных струн транспортирующего конвейера из двух групп (1, 2), которые огибают опорные валы (4, 6) расправляющего блока I, поочередно, позволяет регулировать скорости \mathcal{G}_1 и \mathcal{G}_2 .

Предлагаемое, межоперационное транспортирующее устройство с регулируемой длиной и углом наклона транспортера, позволит не останавливая, технологический процесс обработки листового материала, обеспечить стабильную работу автоматической линии, состоящей из “отжим–транспортирование–разводка” при обработке кож полуфабриката. Здесь отжимная и разводная машины должны быть проходными.

Выводы к главе II.

1. Высоко производительная работа современного предприятия невозможна без правильно организованных и надежно работающих средств промышленного транспорта.

2. Полученный технический результат выражается тем, что предложенное межоперационное транспортирующее устройство, обеспечивающее транспортировку обрабатываемого кожевенного полуфабриката не останавливая, технологический процесс

обработки обеспечивает стабильную работу автоматической линии обработки коже полуфабриката и уменьшает физический труд рабочих персоналов.

3. Анализ научных разработок позволяет предложить принципы создания, автоматизированного кожевенно–мехового производства:

– исследователями, работающими в области создания машин, автоматов и автоматических линий в машиностроении, установлено, что по теории надежности наибольшее количество различных машин, объединенных в автоматические линии всевозможными транспортно–ориентирующими системами, не может быть больше 6.

Поэтому целесообразно весь технологический процесс обработки кожевенно–мехового полуфабриката разделить не более 6 операций в каждом;

– для обеспечения качества обработки кожевенно-мехового полуфабриката, в том числе и на жидкостных процессах, необходимо разработать и снабдить машины *проходного* типа средствами контроля по необходимому числу параметров, например, толщина, масса, площадь, давление;

– управление технологическими процессами осуществляется путем точной дозировки рабочих составов с определенными свойствами, регулированию интенсивности обработки полуфабриката и управлению работой транспортно-ориентирующих устройств.

ГЛАВА III

ДИНАМИКА ПРИЖИМНЫХ И НОЖЕВЫХ ВАЛОВ

3.1. Исследование процесса захвата и втягивания кожевенного полуфабриката валковой парой

В процессах механической технологии, особенно если кожевенный полуфабрикат после жидкостных операций тщательно не выстилается на козлах или стеллажах, на местах перегибов образуются складки. Если кожевенный полуфабрикат со складками проходит между валковой парой, то на местах складок образуется замины, которые снижают качество обработки кожевенного полуфабриката, уменьшают выход его полезной площади. Следует еще учесть, что в кожевенном производстве в себестоимости готовой кожи удельный вес стоимости сырья составляет 65–70 % [50]. Поэтому выработка или отделка кожевенного полуфабриката без пороков, с меньшими потерями имеет большое значение.

Диаметры рабочих валков не достаточно обоснованы. В процессе обработки они существенно влияют на качество выпускаемой продукции [17, 32].

Условия захвата, втягивания и пропуска слоя материала между валками разработаны рядом авторов [33, 56, 57, 58 и др.].

Рассмотрим взаимодействия рабочих валков и кожевенного полуфабриката в процессе механической обработки. При соприкосновении кожевенного полуфабриката с рабочими валками, имеющими одинаковый диаметр, и являющимся приводными они будут оказывать на кожевенный полуфабрикат действие в виде

двух суммарных сил давления N , направленных нормально к поверхностям рабочих валков и двух суммарных сил трения, направленных к ним касательно (рисунок 22). Действие сил трения в процессах механической технологии играет важную роль.

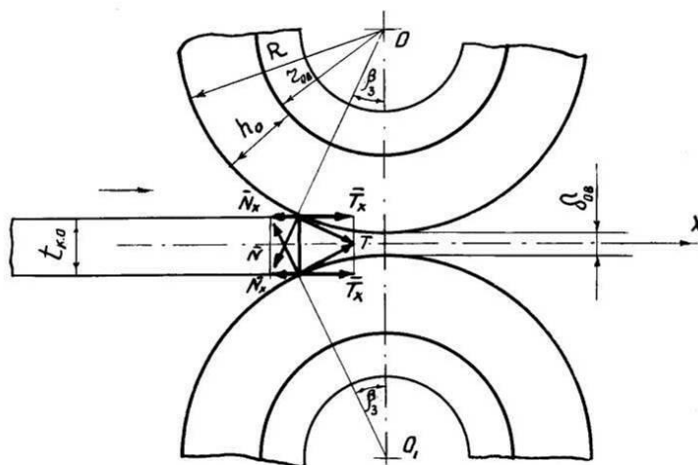


Рисунок 23. Схема действия стягивающих и выталкивающих сил на кожевенный полуфабрикат в начальный момент захвата (валки приводные)

Суммирование элементарных сил давления по дуге деформации, направленных нормально к поверхности соприкосновения валка с материалом, дает суммарную силу давления N ; суммирование элементарных сил трения по дуге деформации дает суммарную силу трения T .

Из рисунка 23 видно, что, силы трения T стремятся втянуть кожевенный полуфабрикат в зазор валковой пары, а силы нормального давления N противодействуют этому. Очевидно, что способность захвата зависит от соотношения стягивающих и выталкивающих сил. Для возникновения захвата кожевенного полуфабриката валковой парой необходимо, чтобы горизонтальные

составляющие сил трения T_x были больше или равны горизонтальным составляющим сил давления N_x ;

$$N_x \leq T_x. \quad (3.1)$$

Горизонтальные составляющие силы выразим через силы N и T :

$$T = f_3 N, \quad (3.2)$$

где f_3 - коэффициент трения между материалом и покрытием рабочих валков в начальной момент захвата.

Неравенство (3.1) с учетом (3.2) запишем в следующем виде (рисунок 23):

$$N_x \leq f_3 N \cos \beta_3, \quad (3.3)$$

где β_3 – угол захвата валковой пары,

$$N \sin \beta_3 \leq f_3 N \cos \beta_3, \quad \operatorname{tg} \beta_3 \leq f_3,$$

$$\beta_3 \geq \operatorname{arctg} f_3 \quad (3.4)$$

Таким образом, мы получили выражение угла захвата β_3 валковой пары в зависимости от коэффициента трения f_3 .

Из рисунка 23 получим

$$R = OD / \cos \beta_3, OD = R \cos \beta_3, \quad (3.5)$$

где $R = r + h_o$ – наружный радиус рабочего валка валковой пары;

r – радиус металлической части рабочего валка;

h_o – толщина покрытия рабочего валка.

С другой стороны, из рисунка 23 получаем

$$OD = \frac{2R + \delta_{os} - t_o}{2}, \text{ или } 2OD = 2R + \delta_{os} - t_o, \quad (3.6)$$

где δ_{os} – предварительный зазор между рабочими валками;
 t_o – начальная толщина кожевенного полуфабриката.

Подставляя (3.5) в (3.6), получаем

$$2R \cos \beta_3 = 2R + \delta_{os} - t_o, \quad R(2 \cos \beta_3 - 2) = \delta_{os} - t_o.$$

откуда

$$R = \frac{t_o - \delta_{os}}{2(1 - \cos \beta_3)}. \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) с учетом (3.4) принимает следующий вид:

$$R \geq \frac{t_o - \delta_{os}}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}, \quad (3.8)$$

или, подставляя выражение $R = r_{os} + h_o$, получаем

$$r \geq \frac{t_o - \delta_{os}}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]} - h_o. \quad (3.9)$$

Неравенства (3.8) и (3.9) являются граничными условиями захвата кожевенного полуфабриката валковой парой.

Номограмма, построенная по формуле (3.8), представлена на рисунке (24) (u и v – обозначения комбинаций). Из зависимости (3.8) и номограммы видно, что изменение предельного значения радиуса рабочих валков R прямо пропорционально величине предварительного зазора δ_{os} и толщине обрабатываемого кожевенного полуфабриката t_o и обратно пропорционально изменению значения коэффициента трения кожевенного полуфабриката по поверхности рабочего валка.

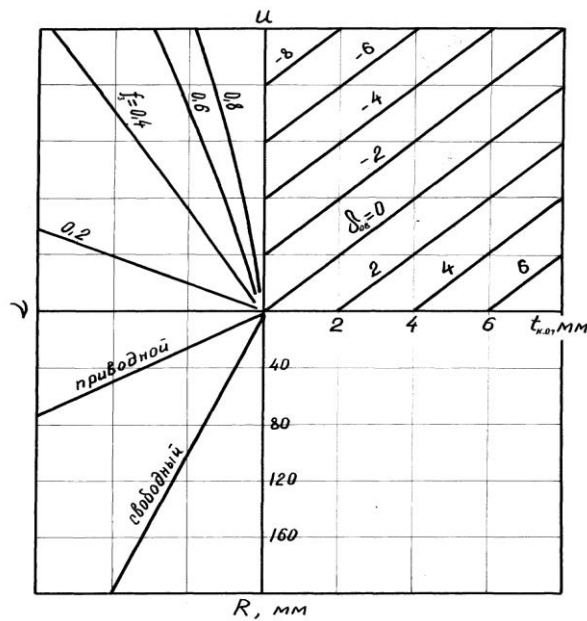


Рисунок 24. Номограмма зависимости радиуса валков от $t_{к.о.}$, δ_{OB} , f_3

Для обеспечения равномерной обработки кожевенного полуфабриката т.е. для устранения образования складок и пороков, валковая пара должна втягивать в себя и пропускать кожевенный полуфабрикат с одним слоем. Для выполнения этого требования в момент захвата и в процессе обработки на местах касания валковой пары со складками кожевенного полуфабриката должно иметь место (рисунок 25)

$$N_x \geq T_x. \quad (3.10)$$

Выражение (3.10) запишем в следующем виде:

$$N \sin \varphi_3 \geq f_3 N \cos \varphi_3,$$

где φ_3 – угол между радиусом, проведенным в точке касания валка с кожевенным полуфабрикатом, и линией, соединяющей центры рабочих валков. Откуда

$$\operatorname{tg} \varphi_3 \geq f_3,$$

$$\varphi_3 \leq \operatorname{arctg} f_3. \quad (3.11)$$

Из рисунка 25 получим

$$R = \frac{OB}{\cos \varphi_3}, \quad (3.12)$$

$$2OB = 2r + t_1 + 2h_1 - 3t_o, \quad (3.13)$$

где t_1 , h_1 – толщина деформированного кожевенного полуфабриката и покрытия рабочего валка, соответственно по линии соединяющей центры рабочих валков.

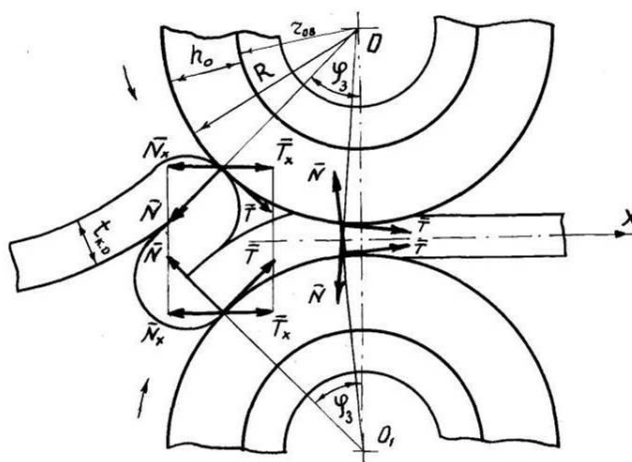


Рисунок 25. Схема действия втягивающих и выталкивающих сил на кожевенный полуфабрикат в процессе обработки в случае образования складок (валки приводные)

В выражении (3.13) последнее слагаемое правой части $3t_o$, – это наименьшая толщина кожевенного полуфабриката при которой возможно образование складок.

Подставляя выражения (3.11) и (3.13) в (3.12) получаем

$$R \leq \frac{2r + t_1 + 2h_1 - 3t_o}{2 \cos(\operatorname{arctg} f_3)}, \quad (3.14)$$

или с учетом (3.5) выражение (3.14) запишем в следующем виде:

$$R \leq \frac{2R - 2h_0 + t_1 + 2h_1 - 3t_o}{2 \cos(\arctg f_3)},$$

$$2R \cos(\arctg f_3) = 2R - 2h_0 + t_1 + 2h_1 - 3t_o,$$

откуда

$$R \leq \frac{2h_0 - 2h_1 + 3t_o - t_1}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}. \quad (3.15)$$

Величины t_1 и h_1 зависят от физико-механических свойств кожевенного полуфабриката, материала покрытия рабочих валков и давления между ними:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= t_o(1 - \varepsilon_\kappa) \\ h_1 &= h_0(1 - \varepsilon_n) \end{aligned} \right\}, \quad (3.16)$$

где $\varepsilon_\kappa, \varepsilon_n$ – коэффициенты относительного сжатия кожевенного полуфабриката и материала покрытия соответственно

Подставляя значения t_1 и h_1 в (3.15), получаем

$$R \leq \frac{2h_0\varepsilon_n + t_o(2 + \varepsilon_\kappa)}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}, \quad (3.17)$$

Или с учетом (3.5) выражение (3.17) запишем в виде

$$r \leq \frac{2h_0\varepsilon_n + t_o(2 + \varepsilon_\kappa)}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]} - h_0. \quad (3.18)$$

На рисунке 26 представлена номограмма, построенная по зависимости (3.17), при значениях коэффициента $\varepsilon_\kappa = 0,5$.

Объединяя выражения (3.8) и (3.17), (3.9) и (3.18) получаем

$$\frac{2h_0\varepsilon_n + t_o(2 + \varepsilon_n)}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]} \geq R \geq \frac{t_o - \delta_{oe}}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}, \quad (3.19)$$

$$\frac{2h_0 + \varepsilon_n + t_o(2 + \varepsilon_k)}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]} - h_0 \geq r \geq \frac{t_o - \delta_{об}}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]} - h_0.$$

Выражения (3.19) и (3.20) являются условиями захвата кожевенного полуфабриката валковой парой и пропуска между ними с одним слоем, т.е. при выполнении этих условий валковая пара без скольжения (без пробуксировки) захватывает обрабатываемый кожевенный полуфабрикат, имеющиеся складки расправляются и втягиваются в валки с одним слоем.

Используя номограммы (рисунки 24 и 26) можно легко определить значение радиуса рабочих валков R , обеспечивающее захват и втягивание кожевенного полуфабриката в зону контакта валковой пары с одним слоем.

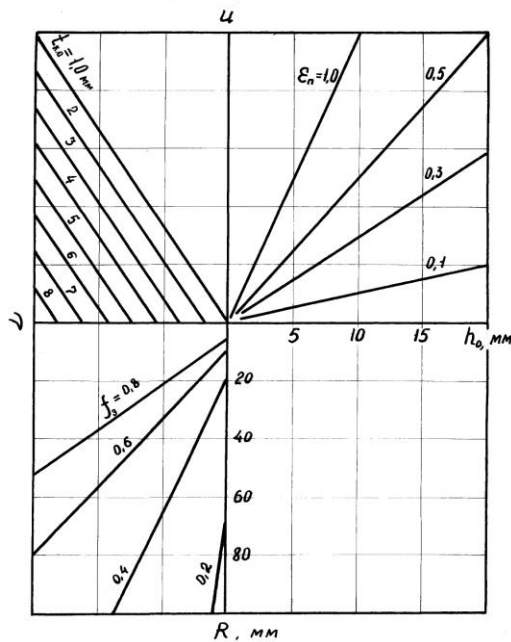


Рисунок 26. Номограмма зависимости радиуса валков от $h_0, \varepsilon_n, t_{к.о.}, f_3$ при $\varepsilon_k = 0,5$

Для этого достаточно из номограммы, изображенной на рисунке 24, определить предельное минимальное значение R_{min} для

максимальной толщины кожевенного полуфабриката $t_{o.max}$ и из номограммы, изображенной на рисунке 26 определить предельное максимальное значение R_{max} для минимальной толщины кожевенного полуфабриката $t_{o..min}$. Значения R при $R_{min} < R < R_{max}$ обеспечивают захват и втягивание кожевенного полуфабриката в зону контакта валковой пары с одним слоем.

Например, определим значение R для качественной обработки кожевенного полуфабриката толщина которых в зависимости от топографических участков колеблется в пределах 3–8 мм.

При $\varepsilon_k = 0,5$, $\varepsilon_n = 0,5$, $h_0 = 1,5$ мм, $\delta_{ov} = -13,5$ мм, $f_3 = 0,5$ получим $R_{min} = 101,8$ мм, $R_{max} = 106,7$ мм, т.е. при значениях $R = 101,8 - 106,7$ мм обеспечивается захват и втягивание с одним слоем кожевенного полуфабриката с толщиной 3–8 мм.

3.2. Исследование процесса захвата и втягивании кожевенного полуфабриката с одним свободным рабочим валком

В случае, показанном на рисунке 27, принудительное вращение имеет только один валок, допустим, – нижний, а верхний – свободный приводится во вращение только за счет нижнего вследствие трения между обрабатываемым кожевенным полуфабрикатом и поверхностью валка. При этом верхний рабочий валок работает по схеме тормозного колеса [60]. На него действуют тормозной момент M_m , сила давления нажимного устройства с весом верхнего рабочего валка Q , сила нормального давления кожевенного полуфабриката N_2 , горизонтальная реакция опор верхнего рабочего валка P_1 и сила трения T_2 , обусловленная

тормозным моментом M_m . Тормозной момент M_m обусловлен трением в цапфах опор верхнего рабочего валка (рисунок 27):

$$M_m = P_1 T_2, \quad T_2 = \frac{M_m}{R}. \quad (3.20)$$

Из равенства работ валков за один оборот напишем

$$2\pi R T_2 = 2\pi r_u f_u Q, \quad (3.21)$$

где f_u – коэффициент трения в цапфах опор верхнего рабочего валка; r_u – радиус цапфы.

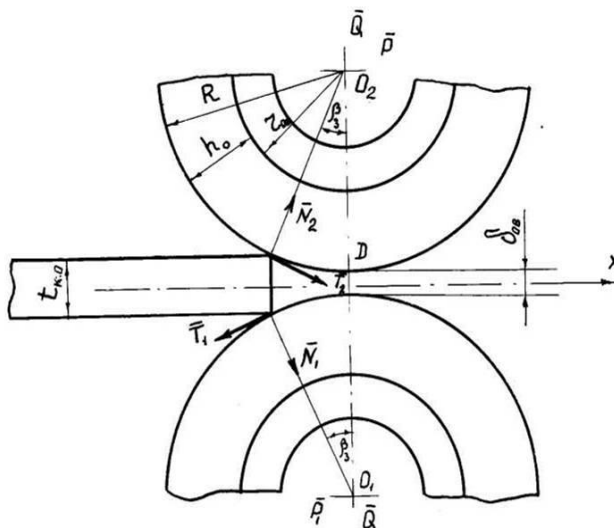


Рисунок 27. Схема действия втягивающих и отталкивающих сил на валковую пару при свободном верхнем рабочим валке

Из формулы (3.21) следует

$$T_2 = f_u Q r_u / R. \quad (3.22)$$

На нижний рабочий валок действуют сила давления Q , горизонтальная реакция опор нижнего рабочего валка P_2 , сила трения T_1 , сила нормального давления кожевенного полуфабриката N_1 и крутящий момент $M_{кр.ов}$.

Захват кожевенного полуфабриката возможен лишь в том случае, когда втягивающая сила, т.е. проекция силы трения T_1 на горизонтальную ось, больше или равна сумме отталкивающих сил:

$$T_1 \cos \beta_3 \geq T_2 \cos \beta_3 + N_1 \sin \beta_3 + N_2 \sin \beta_3. \quad (3.23)$$

Так как $T_1 = f_3 N_1$, с учетом (3.22) запишем

$$f_3 N_1 \cos \beta_3 \geq f_u Q \frac{r_u}{R} \cos \beta_3 + (N_1 + N_2) \sin \beta_3. \quad (3.24)$$

Из равновесия сил, действующих на рабочие валки, следует

$$Q - N_1 \cos \beta_3 - T_1 \sin \beta_3 = 0, \quad Q - N_2 \cos \beta_3 - T_2 \sin \beta_3 = 0,$$

откуда

$$N_1 = \frac{Q}{\cos \beta_3 + f_3 \sin \beta_3}, \quad (3.25)$$

$$N_2 = \frac{Q \left(1 + f_u \frac{r_u}{R} \sin \beta_3 \right)}{\cos \beta_3}. \quad (3.26)$$

Подставляя выражения (3.25) и (3.26) в (3.24), получаем

$$\frac{f_3 \cos \beta_3 - \sin \beta_3}{\cos \beta_3 + f_3 \sin \beta_3} \geq A, \quad (3.27)$$

где

$$A = \frac{f_u r_u}{R \cos \beta_3} + \operatorname{tg} \beta_3.$$

Так как $0 < \beta_3 < 90^\circ$, следовательно, $A > 0$.

Тогда

$$f_3 \geq \frac{\sin \beta_3 + A \cos \beta_3}{\cos \beta_3 - A \sin \beta_3} = \frac{2R \sin \beta_3 + f_u r_u}{R(\cos \beta_3 + \sin \beta_3 \operatorname{tg} \beta_3) - f_u r_u}. \quad (3.28)$$

При установке валков на подшипники качения с достаточной точностью для инженерного расчета можно пренебречь тормозным моментом M_T , т.е. считать что $f_u = 0$. Тогда в формуле (3.28) $A = tg\beta_3$, тогда из (3.28) имеем

$$f_3 \geq \frac{2 \sin \beta_3 \cos \beta_3}{\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3} = tg 2\beta_3 .$$

Таким образом, условие захвата при $f_u = 0$, [84, 194] будет,

$$f_3 \geq tg 2\beta_3 . \quad (3.29)$$

Из формулы (3.29) следует

$$\beta_3 \leq \frac{1}{2} arctg f_3 . \quad (3.30)$$

Из рисунка 27 получаем выражение (3.7)

$$R = \frac{t_o - \delta_{os}}{2(\cos \beta_3 - 1)} .$$

Подставляя значение β_3 из (3.30) в формулу (3.7), имеем

$$R \geq \frac{t_o - \delta_{os}}{2 \left[1 - \cos \left(\frac{1}{2} arctg f_3 \right) \right]} , \quad (3.31)$$

или

$$r \geq \frac{t_o - \delta_{os}}{2 \left[1 - \cos \left(\frac{1}{2} arctg f_3 \right) \right]} - h_0 , \quad (3.32)$$

На рисунке 24 представлена номограмма для зависимости (3.31)

Для сравнения радиусов рабочих валков при наличии принудительного привода R_n и свободного верхнего рабочего валка R_c и равных других параметрах воспользуемся формулами (3.8) и

(3.31) откуда получим

$$\frac{R_n}{R_c} = \frac{\frac{t_o - \delta_{os}}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}}{\frac{t_o - \delta_{os}}{2\left[1 - \cos\left(\frac{1}{2} \arctg f_3\right)\right]}} = \frac{1 - \cos\left(\frac{1}{2} \arctg f_3\right)}{1 - \cos(\arctg f_3)} .$$

При равных параметрах рабочих валков имеет место $\arctg f_3 = \beta_3$, откуда вытекает

$$\frac{R_n}{R_c} = \frac{1 - \cos \frac{\beta_3}{2}}{1 - \cos \beta_3} = \frac{\sin^2 \frac{1}{4} \beta_3}{\sin^2 \frac{1}{2} \beta_3} . \quad (3.33)$$

обратное значение угла β_3 от какой-то функции f равно $\beta_3 = \arcsin f$. Подставляя это значение в выражение (3.33), получаем

$$\frac{R_n}{R_c} = \frac{\frac{1}{16} \arcsin f}{\frac{1}{4} \arcsin f} .$$

Таким образом, для втягивания кожевенного полуфабриката в зону контакта рабочих валков при свободном верхнем рабочем валке необходимо увеличить его радиус в четыре раза по сравнению с принудительным вращением (рисунок 24) [23].

Для вращения верхнего рабочего валка без скольжения необходимо, чтобы сила трения поверхности верхнего рабочего валка была не меньше силы сопротивления вращению, т.е.

$$f_3 N_2 \cos \beta_3 \geq T_2 \cos \beta_3 + (N_1 + N_2) \sin \beta_3 .$$

В случае установки рабочих валков без предварительного зазора свободный верхний рабочий валок приводится в движение

от нижнего рабочего валка за счет сил трения. При захвате кожевенного полуфабриката, верхний рабочий валок будет приподниматься, деформация покрытий валков будет постепенно увеличиваться, и их прямая кинематическая связь не нарушится [23]. Кроме того, топография кожевенного полуфабриката таково, что захват по всей рабочей ширине рабочих валков не осуществится, частичный захват узких участков кожевенного полуфабриката за счет деформации покрытий рабочих валков, что тоже, в свою очередь, предотвратит нарушение кинематической связи между рабочими валками. Прямая кинематическая связь между рабочими валками плавно перейдет к кинематической связи между рабочими валками, посредством обрабатываемого кожевенного полуфабриката. При этом захват будет происходить почти так же, как при приводном верхнем рабочем валке.

Пользуясь, рисунком 23, когда отсутствует зазор δ_{ov} , выражение (3.7) запишем в виде

$$R = \frac{t_o + \delta_{ov}}{2(1 - \cos \beta_3)}, \quad (3.34)$$

где δ_{ov} – определяет деформацию покрытий рабочих валков

$$\delta_{ov} = 2R - O_1O_2,$$

или с учетом (3.15) (рисунок 28)

$$\delta_{ov} = 2h_o - 2h_1 = 2h_o \varepsilon_n. \quad (3.35)$$

В этом случае формулу для определения радиусов рабочих валков выводим, подставляя значение угла захвата β_3 из формулы (3.4) в формулу (3.34):

$$R \geq \frac{t_o + \delta_{oe}}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}, \quad (3.36)$$

или подставляя в (3.36) значение δ_{oe} из (3.35), получаем

$$R \geq \frac{2h_o \varepsilon_n + t_o}{2[1 - \cos(\arctg f_3)]}. \quad (3.37)$$

Из формулы (3.36) видно, что для улучшения способности захвата рабочих валков, т.е. для осуществления захвата при малых радиусах, необходимо уменьшить деформацию покрытий рабочих валков и увеличить коэффициент трения поверхностей рабочих валков и кожевенного полуфабриката. С этой целью при конструировании рабочих валков следует предусматривать ограничение уменьшения межосевого расстояния [90] а также подобрать упругие характеристики покрытий рабочих валков.

Из формулы (3.37) видно, что с уменьшением значения коэффициента ε_n условия втягивания улучшаются. Условия втягивания кожевенного полуфабриката с одним слоем, т.е. отталкивание и расправление складок при свободном верхнем рабочем валке после осуществления захвата края кожевенного полуфабриката будут такими же как при приводном верхнем рабочем валке.

В случае наличия предварительного зазора между рабочими валками, если складки у кожевенного полуфабриката, имеются до установления процесса, т.е. в момент осуществления захвата, то условие распрямления определяются следующим неравенством (рисунок 28):

$$(N_1 + N_2) \sin \varphi_3 + T_2 \cos \varphi_3 \geq f_3 N_1 \cos \varphi_3. \quad (3.38)$$

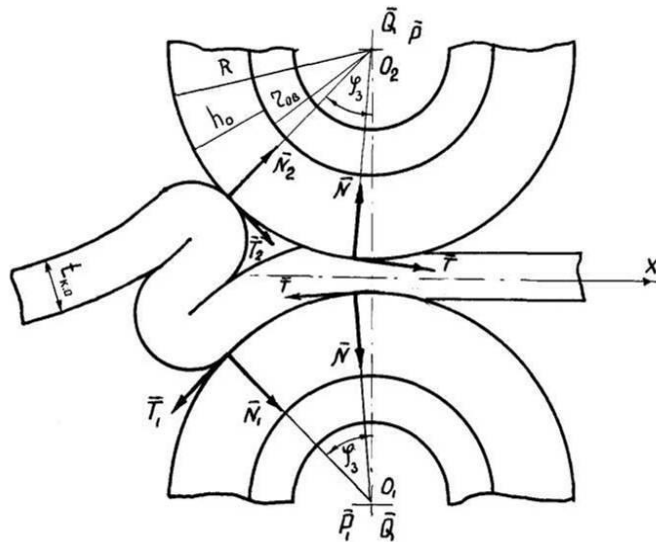


Рисунок 28. Схема действия втягивающих и отталкивающих сил на валковую пару в случае образования складок, при свободном верхнем рабочем валке

В неравенстве (3.38) слагаемое $T_2 \cos \varphi_3$ сильно зависит от процесса захватывания. Когда край кожевенного полуфабриката не захвачен рабочими валками, значение T_2 определяется выражением

$$T_2 = f_u Q \frac{r_u}{R}. \quad (3.39)$$

В момент вклинивания кожевенного полуфабриката в зев рабочих валков значение слагаемого T_2 будет выражаться равенством

$$T_2 = f_3 N_2. \quad (3.40)$$

Когда процесс установится, т.е. движение верхнему валку будет передаваться посредством трения поверхностей рабочих валков и кожевенного полуфабриката, слагаемое $T_2 \cos \varphi_3$ в неравенстве (3.38) меняет направление и знак, т.е. распрямление происходит как при приводном верхнем рабочем валке, и значение T_2 определяется формулой (3.40).

Процесс захвата, когда образована складка, рассмотрим с учетом особенностей зева валковой пары (рисунок 29).

Из рисунка 29 имеем,

$$R = \frac{OC}{\cos \varphi_p}, \quad (3.41)$$

также,

$$2OC = 2R - h_0 + h_1 + t_1 - EC, \quad (3.42)$$

где h_1 , t_1 – толщина деформированного покрытия и кожевенного полуфабриката по линии, соединяющей центры рабочих валков соответственно; последнее слагаемое правой части $EC=BK$ – это наименьшее расстояние между точками касания складок кожевенного полуфабриката, с рабочими валками, $EC < 3t$.

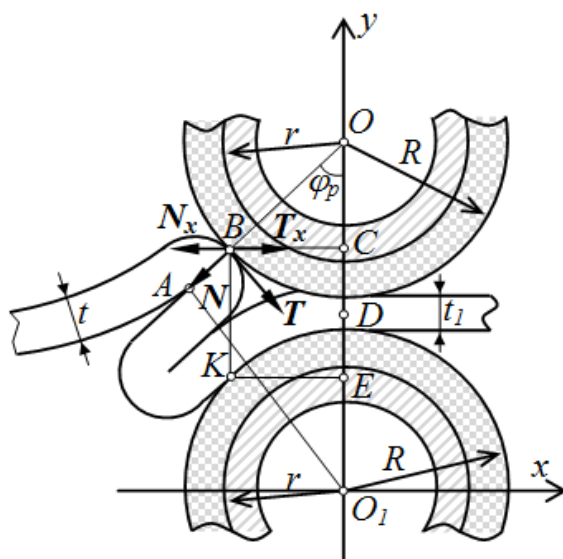


Рисунок 29. Схема действия сил в зеве валковой пары при образовании складки

Наименьшее расстояние между точками касания складок кожевенного полуфабриката и рабочих валков, по линии параллельной линии, соединяющей центры рабочих валков, из (3.41) и (3.42) определяется.

$$EC = 2(R - h_0 + h_1) + t_1 - 2R \cos \varphi_p, \quad (3.43)$$

где согласно теореме косинусов,

$$\cos \varphi_p = \frac{2R(2R - 4h_0 + 4h_1 + 2t_1 - t_0) + t_1^2 - 3t_0^2}{2(2R - 2h_0 + 2h_1 + t_1)(R + t_0)}, \quad (3.44)$$

Из уравнений (3.40) – (3.43), подставляя вместо $\varphi_p \geq \beta_{mp}$, получим,

$$R \leq \frac{-(2t_0 + t_1) \cos \beta_{mp} + t_0 - 2t_1}{4(\cos \beta_{mp} - 1)} - \frac{\sqrt{[(2t_0 + t_1) \cos \beta_{mp} + t_0 - 2t_1]^2 - 4(\cos \beta_{mp} - 1)(2t_0 t_1 \cos \beta_{mp} - t_1^2 + 3t_0^2)}}{4(\cos \beta_{mp} - 1)}. \quad (3.45)$$

В уравнение (3.45) знак "минус" перед корнем объясняется тем, что радиус рабочего вала R всегда положителен, $\varphi_p = 0...45^\circ$ следовательно, согласно уравнения (3.33), $\cos \beta_{mp} = 1...0,7$, откуда значения знаменателя всегда имеют отрицательный знак, значения числителя первого слагаемого неравенства (3.45) тоже имеют отрицательный знак, под коренное выражение положительно и всегда больше величины числителя первого слагаемого.

Выражения (3.43) и (3.44) с учетом (3.30) после некоторых преобразований напишем в следующем виде

$$\cos \varphi_p = \frac{2r(2r + 4h_1 + 2t_1 - t_0) + (t_1 + 2h_1)^2 - 3t_0^2 - 2t_0 h_0}{2(r + h_0 + t_0)(2r + 2h_1 + t_1)}. \quad (3.45)$$

$$EC = \frac{2r^2(2b + t_0 - 2h_0) + \dots}{(r + b)(2r + a)} \dots \quad (3.46)$$

$$\dots \frac{(4ab - 4ah_0 + 4h_0t_0 + 3t_0^2) + (a^2b - a^2h_0 + 3h_0t_0^2 + 2t_0h_0^2)}{(r+b)(2r+a)}, \quad (3.47)$$

где

$$a = t_1 + 2h_0, \quad b = t_0 + h_0.$$

Выражение (3.40) преобразуя с учетом (3.9) и (3.41), напишем,

$$(R + h_0)\cos\varphi_p = r + h_1 + \frac{t_1}{2} + \frac{EC}{2}, \quad (3.48)$$

подставляя вместо φ_p в выражение (3.47) β_{mp} , где $\varphi_p \geq \beta_{mp}$, получим

$$(2 + h_0)\cos\beta_{mp} \geq r + h_1 + \frac{t_1}{2} + \frac{EC}{2}, \quad (3.49)$$

В полученное выражение (3.49) подставляя (3.47) после некоторых преобразований получим,

$$r^3A + r^2B + rC + D \leq 0, \quad (3.50)$$

где

$$A \leq 4(\cos\beta_{mp} - 1),$$

$$B \leq 2[(2b + 2h_0 + a)\cos\beta_{mp} - a - 2h_1 - t_1 + t_0 - 2h_0],$$

$$C \leq (4h_0b + 2ab + 2h_0a)\cos\beta_{mp} + 2ab = \\ - 2h_1a - 4h_1b - t_1a - 2t_1b - 4h_0a + 4h_0t_0 + 3t_0^2,$$

$$D \leq 2h_0ab\cos\beta_{mp} - 2h_1ab - t_1ab + a^2b - a^2h_0 + 3t_0^2h_0 + 2t_1^2h_0,$$

Кубическое уравнение (3.50) деля на A и вводя новую переменную,

$$y = r + \frac{B}{3A}, \quad (3.51)$$

запишем в виде [59],

$$y^3 + 3py + 2q \leq 0, \quad (3.52)$$

где

$$2q = \frac{2B^3}{27A^3} - \frac{BC}{3A^2} + \frac{D}{A}, \quad 3p = \frac{3AC - B^2}{3A^2}.$$

Число действительных решений уравнения (3.51) зависит от знака дискриминанта $D = q^2 + p^3$. В уравнении (3.51) введем обозначение $k = \pm\sqrt{|p|}$. Знак k должен совпадать со знаком q . Тогда, при $p < 0$ и $D \leq 0$ уравнение (3.51) имеет три действительных решений:

$$y_{11} \leq -2k \cdot \cos(\chi/3); \quad (3.53)$$

$$y_{12} \leq 2k \cdot \cos(60^\circ - \chi/3); \quad (3.54)$$

$$y_{13} \leq 2k \cdot \cos(60^\circ + \chi/3). \quad (3.55)$$

где $\cos \chi = q/k^3$, из этих решений, положительное и большее по значению решение удовлетворяет условия нашей задачи.

При $D \geq 0$ уравнение имеет одно действительное решение в виде:

$$y_{21} \leq -2k \cdot \operatorname{ch}(\chi/3), \quad (3.56)$$

где

$$\operatorname{ch} \chi = q/k^3.$$

При $p > 0$, независимо от знака дискриминанта, уравнение имеет одно действительное решение в виде:

$$y_{31} \leq -2k \cdot \operatorname{sh}(\chi/3), \quad (3.57)$$

где $\operatorname{sh} \chi = q/k^3$ [42].

Из решений (3.53)–(3.57) с учетом (3.51), получим выражения решений уравнения (3.50), т.е. для определения

$$\begin{aligned}
r_{j,i} &= y_{j,i} - \frac{B}{3A}, \quad r_{11} \leq -2k \cdot \cos(\chi/3) - \frac{B}{3A}, \quad r_{12} \leq 2k \cdot \cos(60^\circ - \chi/3) - \frac{B}{3A}, \\
r_{13} &\leq 2k \cdot \cos(60^\circ + \chi/3) - \frac{B}{3A}, \quad r_{21} \leq -2k \cdot \operatorname{ch}(\chi/3) - \frac{B}{3A}, \\
r_{31} &\leq -2k \cdot \operatorname{sh}(\chi/3) - \frac{B}{3A}.
\end{aligned} \tag{3.58}$$

Величины t_1 и h_1 зависят от физико–механических свойств кожевенного полуфабриката, материала покрытия рабочих валков и давления между ними:

$$\left. \begin{aligned}
t_1 &= t_0(1 - \varepsilon_\kappa) \\
h_1 &= h_0(1 - \varepsilon_n)
\end{aligned} \right\}, \tag{3.59}$$

где $\varepsilon_\kappa, \varepsilon_n$ – коэффициенты относительного сжатия кожевенного полуфабриката и материала покрытия соответственно.

Выражения (3.31), (3.32), (3.45) и (3.50) являются условиями захвата обрабатываемого кожевенного полуфабриката и пропуска между рабочими валками с одним слоем, т.е. при выполнении этих условий рабочие валки без скольжения (без буксировки) захватывают обрабатываемый кожевенный полуфабрикат, имеющиеся складки расправляются и втягиваются в валки с одним слоем.

Вычислительные эксперименты, проведенные в универсальной среде математических расчетов MATHCAD, позволили дать четкие рекомендации по определению конкретных значений радиусов рабочих валков в зависимости от толщины и свойств обрабатываемого материала и покрытий рабочих валков. На рисунке 30 представлен график зависимости r от параметров валковой пары, т.е. $f_3, \delta_{об}, t_0, h_0$.

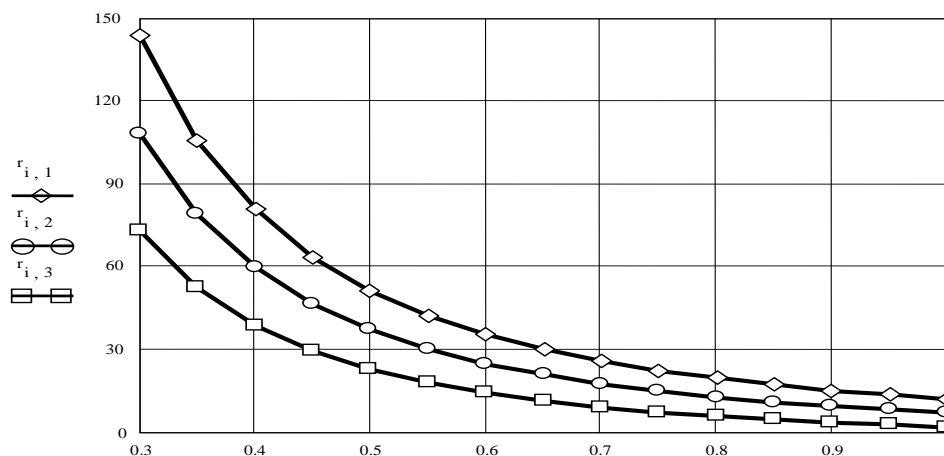


Рисунок 30. График зависимости r от f_3 при $\delta_{ov} = -3, 0, 3; t_0 = h_0 = 10$ мм

Таким образом, при проектировании перспективной валковой проходной машины с учетом физико–механических свойств кожевенного полуфабриката, покрытий рабочих валков из формул (3.19), (3.20), (3.31) и (3.32) или номограмм, представленных на рисунках 24 и 26 определяется значение радиуса рабочих валков R . По формуле (3.39) или из рисунке 30 определяется значение радиуса переднего валка транспортера r_{mp} .

3.3. Исследование степени прочности ножевого вала на упругом основании

При механической обработке кожевенного полуфабриката один из основных механизмов технологических машин являются ножевые валы. Эти валы опираются на упругом основании и вращаются с большим числом оборотов.

Ножевой вал, выполненный в виде расправочного вала находящимися на его поверхности с расправочными элементами, расходящимися по винтовой линии от середины цилиндрического

основания к его краям [12], широко используются для расправки кожевенного полуфабриката при его обработке на отжимных и разводных машинах. Для таких устройств характерно использование в качестве расправочных элементов спиральных ножей, что является причиной интенсивного механического воздействия этих элементов на поверхность объекта обработки и ограничивает возможность изменения интенсивности воздействия (только за счет регулирования усилия прижатия к материалу), создает вероятность повреждения лицевой поверхности материала. В связи с чем подобные устройства используют только в оборудовании предварительной механической обработки кожевенно-мехового полуфабриката. Кроме того в быстро вращающихся ножевых валах часто возникают инерционные напряжения, которые могут явиться причиной разрыва вала, отрыва ножа и других тяжелых аварий, опасных для людей и оборудования. По этому с увеличением числа оборотов ножевых валов, необходим тщательный поверочный расчет их на прочность.

Постановка задачи. Определить значения изгибающей силы и момента на начальной точке, по середине и на конце вала, используя программу “Embarcadero Delphi XE7.

Для расчёта расправочного вала на изгиб, как балки на упругом основании, построим математической модуль расправочного вала. Сначала составим дифференциальные уравнения ненагруженной части изогнутой оси балки, лежащей на упругом основании с коэффициентом жесткости – k имеет следующий вид (y – прогиб):

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky \quad \text{или} \quad \frac{d^4 y}{dx^4} + 4\beta^4 y = 0, \quad (3.60)$$

где
$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}. \quad (3.61)$$

Для уравнения (3.60), составим характеристические уравнения

$$\mu^4 + 4\beta^4 = 0$$

и решая это уравнение, получаем две пары сопряженных мнимых корней

$$\mu_1 = \beta(1+i), \quad \mu_2 = -\beta(1+i), \quad \mu_3 = \beta(1-i), \quad \mu_4 = -\beta(1-i).$$

Тогда общее решение линейного однородного дифференциального уравнения четвертого порядка (3.60) имеет следующий вид:

$$y = c_1 \cdot e^{(1+i)\beta x} + c_2 \cdot e^{-(1+i)\beta x} + c_3 \cdot e^{(1-i)\beta x} + c_4 \cdot e^{-(1-i)\beta x} \quad (3.62)$$

или учитывая, связь между показательными и тригонометрическими функциями:

$$2 \cos \beta \cdot x = e^{i\beta x} + e^{-i\beta x} \quad \text{и} \quad 2 \sin \beta \cdot x = e^{i\beta x} - e^{-i\beta x}$$

получим в вещественной форме

$$y = e^{\beta x} (c_1 \cdot \cos \beta \cdot x + c_2 \cdot \sin \beta \cdot x) + e^{-\beta x} (c_3 \cdot \cos \beta \cdot x + c_4 \cdot \sin \beta \cdot x), \quad (3.63)$$

где c_1, c_2, c_3, c_4 – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования можно найти из условий, известных для некоторых точек балки, в зависимости от схемы нагрузок и закрепления. Ножевой вал (как и металлический прижимной) можно рассматривать как балку конечной длины на упругом основании с поперечной нагрузкой в виде двух сил P_0 , приложенных по ее концам (рисунок 31).

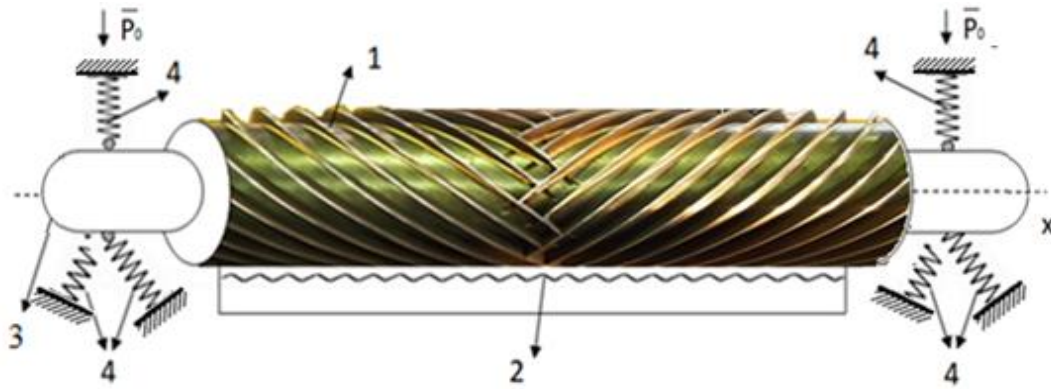


Рисунок 31. К расчёту ножевого вала конечной длины на упругом основании

1 – ножевой вал, 2 – обрабатываемый кожевенный полуфабрикат, 3 – цапфы, 4 – пружины.

Для нахождения уравнения упругой линии вала можно воспользоваться общим уравнением (3.63) и установить для данных условий постоянные интегрирования. Для нашего случая имеем следующие граничные условия.

На концах вала прогиб и изгибающий момент равны нулю:

$$y_{x=0} = 0; \quad y_{x=l} = 0. \quad \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)_{x=0} = 0; \quad \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)_{x=l} = 0,$$

посредине вала угол наклона касательной к упругой линии и перерезывающая сила равны нулю:

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0,5l} = 0; \quad \left(\frac{d^3 y}{dx^3} \right)_{x=0,5l} = 0$$

Составляя и решая соответствующие уравнения, можно вычислить постоянные c_1, c_2, c_3 и c_4 .

Используя метод наложения, определяем прогибы на концах вала ($y_A = y_B$), посредине вала ($y_{x=0,5l}$) и вала ($y_A = y_B$), посредине вала ($y_{x=0,5l}$) и максимальный изгибающий момент ($M_{x=0,5l}$)

посредине вала для бесконечно длинной балки и решив задачу для двух систем загрузки, показанных на рисунке 30. Подберем расправляющие силы Q_0 и изгибающие моменты M_0 таким образом, чтобы в сечениях A и B бесконечно длинной балки расправляющие силы Q_0 и изгибающие моменты M_0 равнялись нулю. Очевидно, что в этом случае деформация отрезка AB бесконечно длинной балки будет такой же, как конечной балки на рисунке 32.

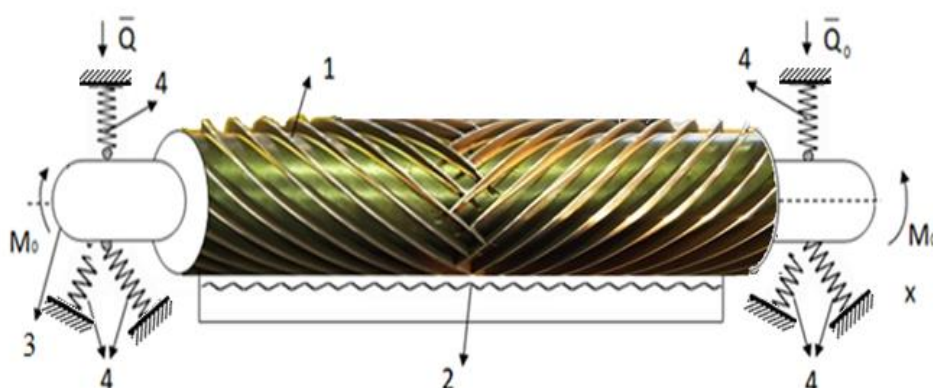


Рисунок 32. К расчёту балки конечно длины на упругом основании

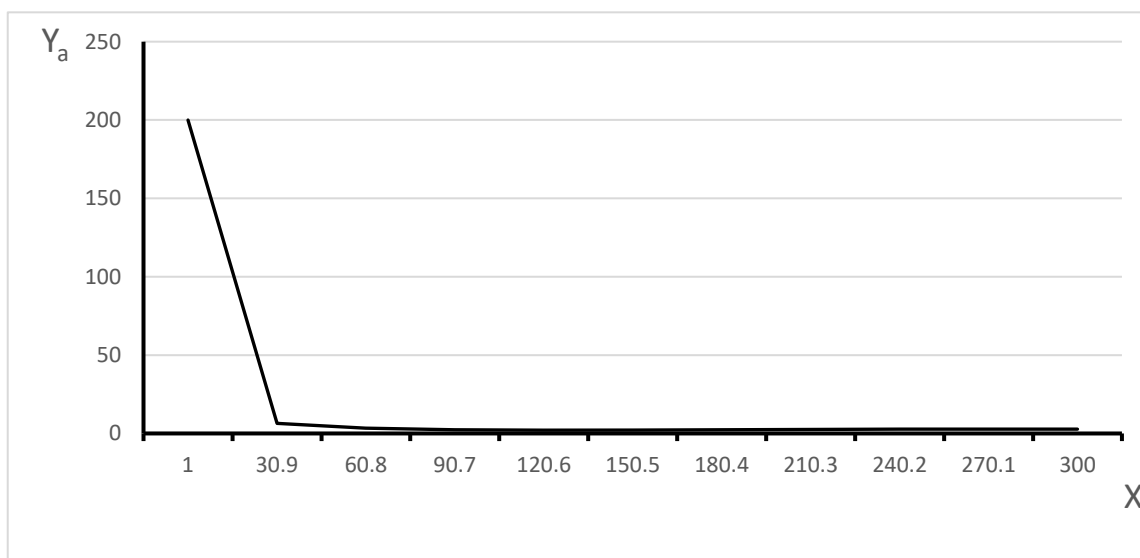
Как известно в работе [12], для таких системы определено прогибы на концах вала ($y_A = y_B$), посредине вала ($y_{x=0,5l}$) и максимальный изгибающий момент посредине вала, ($M_{x=0,5l}$) в виде:

$$\left. \begin{aligned} y_A = y_B &= \frac{2P\beta}{k} \cdot \frac{ch\beta l + \cos\beta l}{sh\beta l + \sin\beta l}; \\ y_{0,5l} &= \frac{4P\beta}{k} \cdot \frac{ch\frac{\beta l}{2} \cdot \cos\frac{\beta l}{2}}{sh\beta l + \sin\beta l}; \\ M_{0,5l} &= -\frac{2P}{\beta} \cdot \frac{sh\frac{\beta l}{2} \cdot \sin\frac{\beta l}{2}}{sh\beta l + \sin\beta l}. \end{aligned} \right\} \quad (3.64)$$

Пользуясь этими уравнениями, находим все данные, требуемые для статического расчета ножевого вала. Составляя программу для расчета степени прочности ножевого вала на упругом основании на языке программирования “Embarcadero Delphi XE7”, определим прогибы на концах вала ($y_A = y_B$), посередине вала ($y_{x=0,5l}$) и максимальный изгибающий момент (посередине вала, ($M_{x=0,5l}$) при разных значениях диаметры вала.

Расчёты прогибов конца и середины вала и изгибающие моменты при $d=5;10;15; 20; 30$ см

Диаметр вала	5 см											
Длина вала изменяется	от 1 до 300 см											
P	1000 кг											
E	2000000 кг/см ²											
k	10 кг/см ²											
Кол-во точек	10											
x[i]	1	30,9	60,8	90,7	120,6	150,5	180,4	210,3	240,2	270,1	300	
Ya[i],Yb[i]	200	6,480357	3,349158	2,399999	2,097678	2,114956	2,293936	2,514550	2,697001	2,811913	2,866259	
Y0.5L[i]	200	6,468068	3,255912	2,095603	1,412509	0,892103	0,458382	0,110831	-0,138696	-0,292985	-0,369380	
M0.5L[i]	-250	-7722,46	-15125,32	-22132,66	-27993,49	-31641,53	-32235,62	-29797,33	-25260,65	-19874,59	-14617,90	



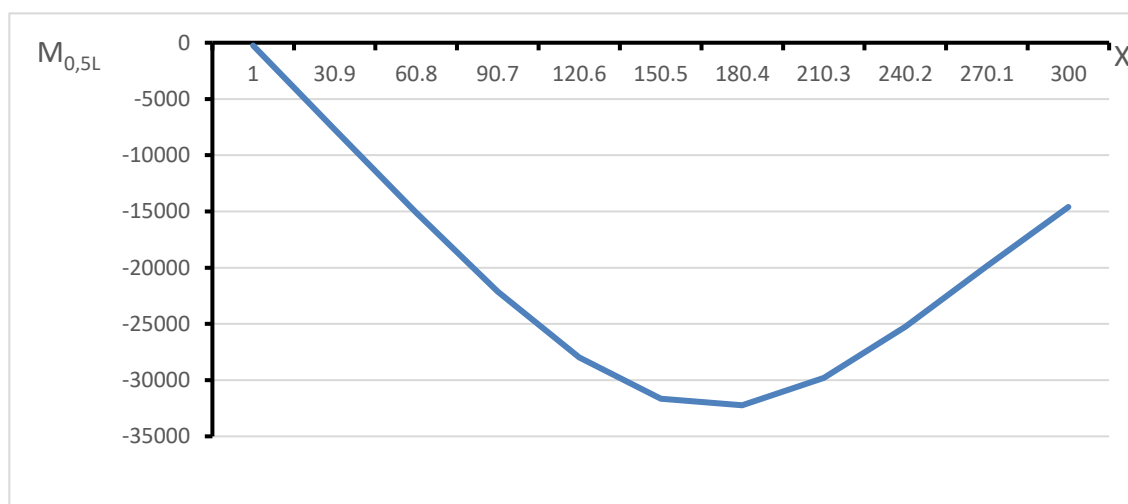
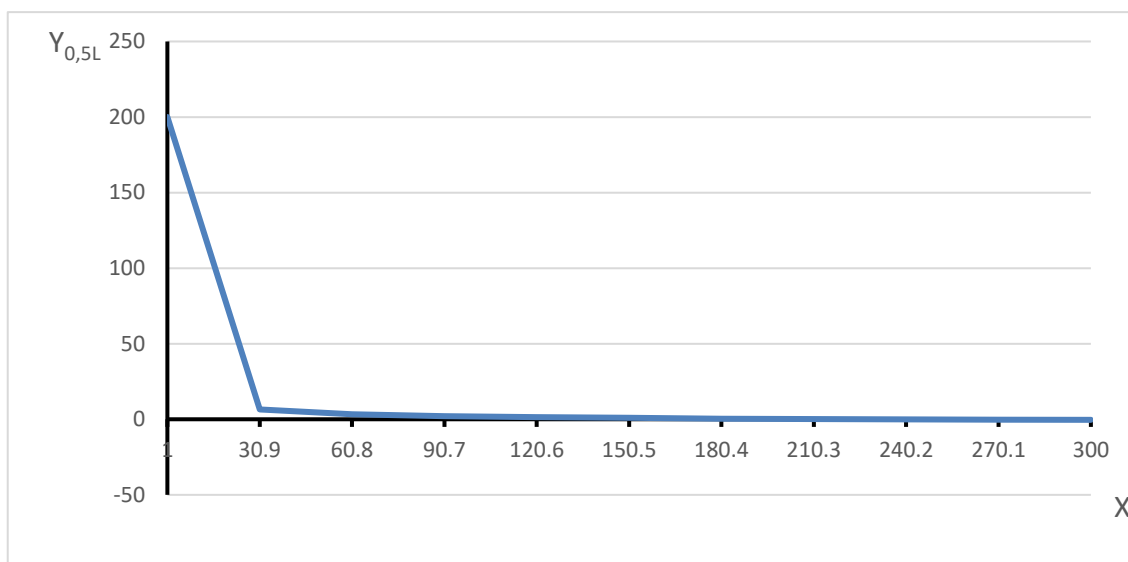


Рисунок 32 . Графики прогибов конца и середины вала и изгибающие моменты при $d=5\text{ см}$

Диаметр вала **10 см**

Длина вала изменяется

от 1 до **300 см**

P 1000 кг

E 2000000 кг/см²

k 10 кг/см²

Кол-во точек 10

x[i]	1	30,9	60,8	90,7	120,6	150,5	180,4	210,3	240,2	270,1	300
Ya[i], Yb[i]	200	6,47298	3,29322	2,21749	1,68749	1,38516	1,20455	1,10044	1,04979	1,03857	1,05648
Y0.5L[i]	200	6,47222	3,28737	2,19809	1,642	1,29728	1,05479	0,86722	0,7111	0,5741	0,45002
M0.5L[i]	-250	-7724,84	-15195,3	-22640,4	-30007	-37193,8	-44044	-50342	-55821	-60197	-63208,4

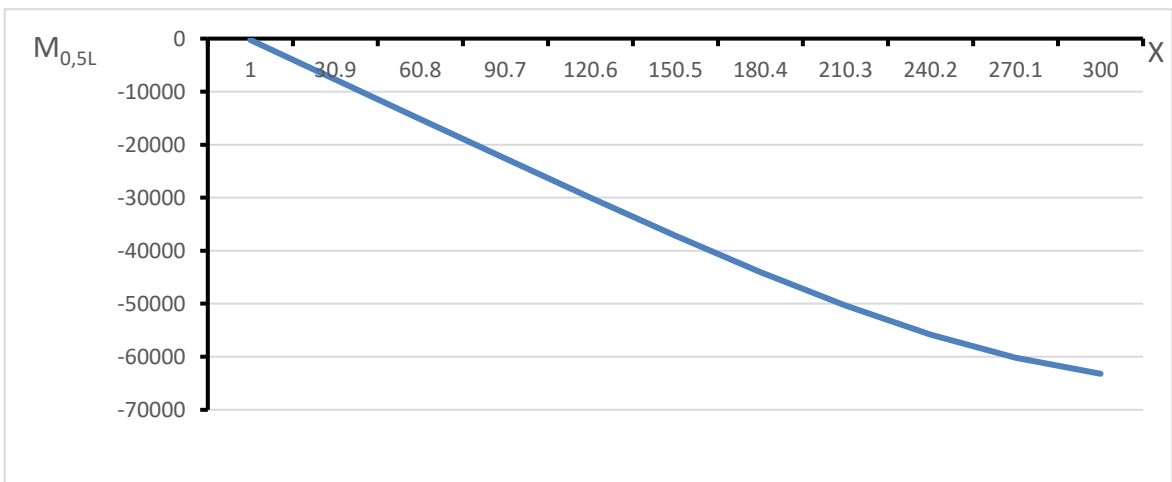
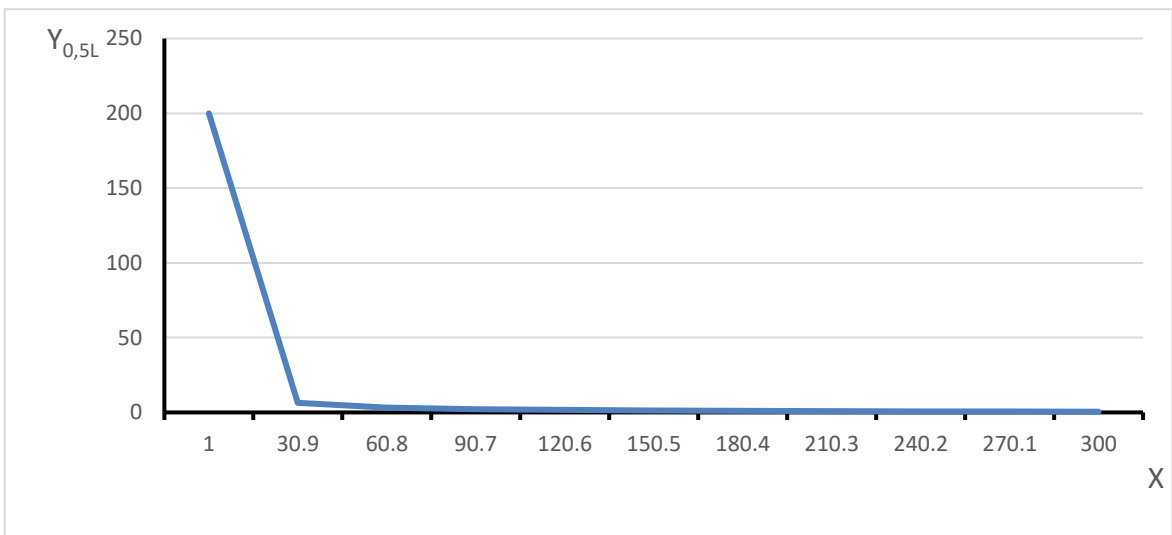
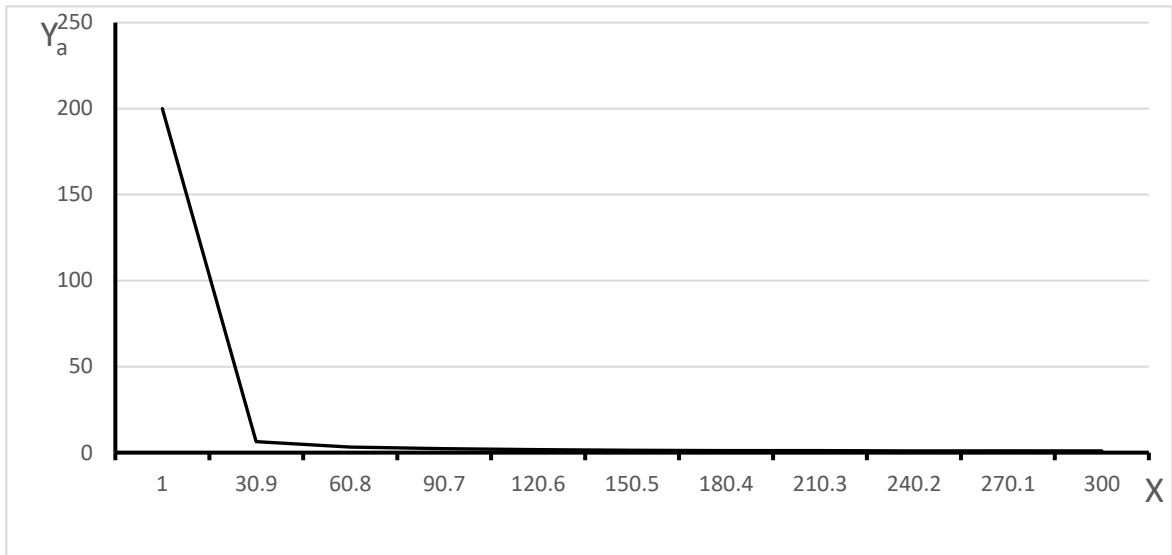


Рисунок 33. Графики прогибов конца и середины вала и изгибающие моменты при $d=10$ см

Диаметр
вала **15** *см*

Длина вала изменяется

от 1 до **300** *см*

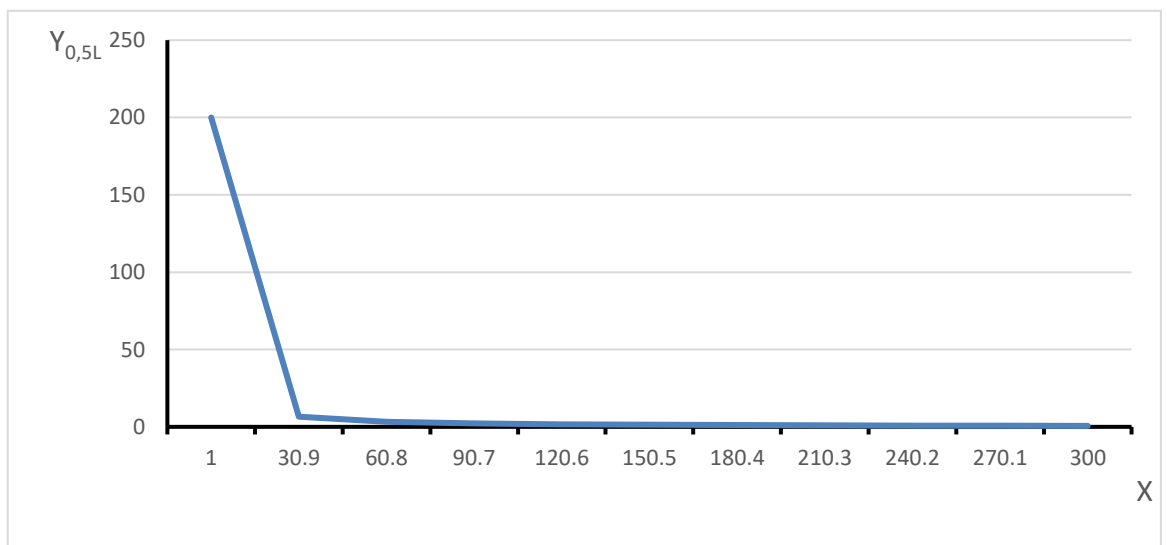
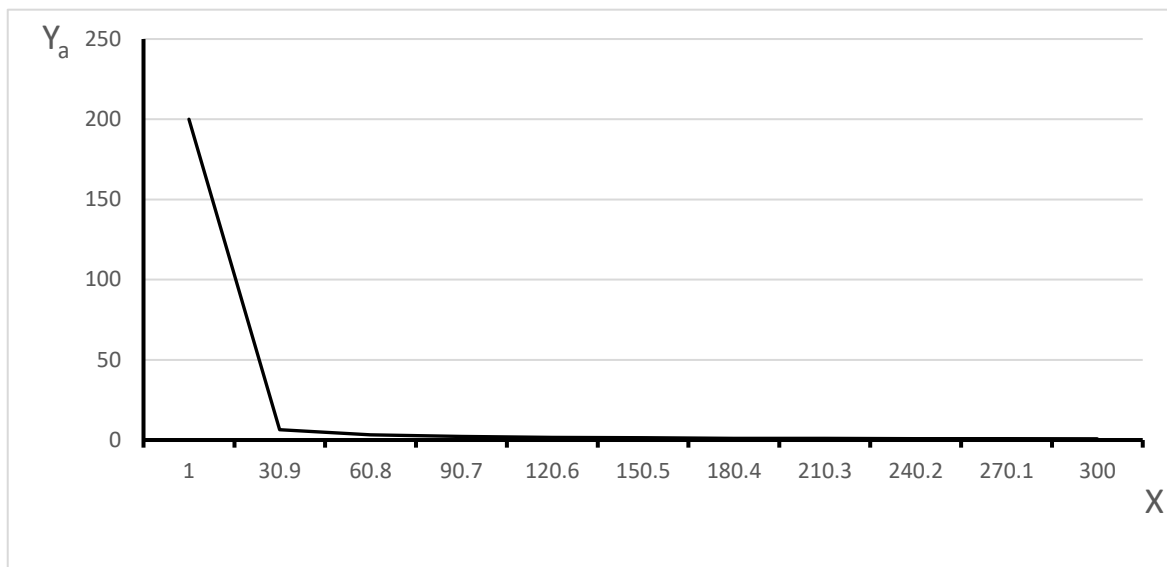
P 1000 *кг*

E 2000000 *кг/см²*

k 10 *кг/см²*

Кол-во
точки 10

x[i]	1	30,9	60,8	90,7	120,6	150,5	180,4	210,3	240,2	270,1	300
Ya[i], Yb[i]	200	6,47259	3,29021	2,207527	1,664145	1,3401	1,127899	0,981417	0,877696	0,804057	0,752912
Y0.5L[i]	200	6,47244	3,28906	2,20369	1,655129	1,3226	1,097822	0,933935	0,80732	0,704753	0,618269
M0.5L[i]	-250	-7724,97	-15199,1	-22668,2	-30121,6	-37539,1	-44887,9	-52120,1	-59170,4	-65955,9	-72376



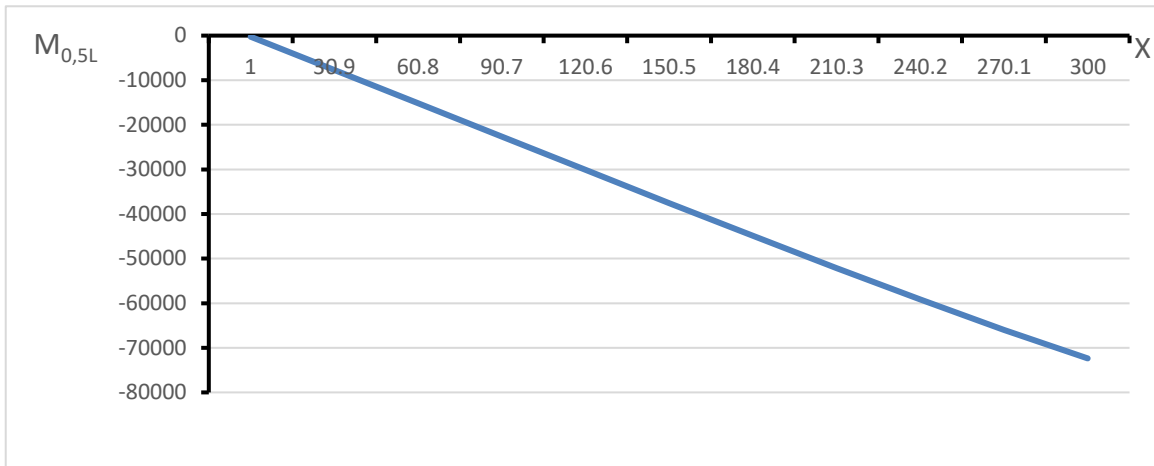
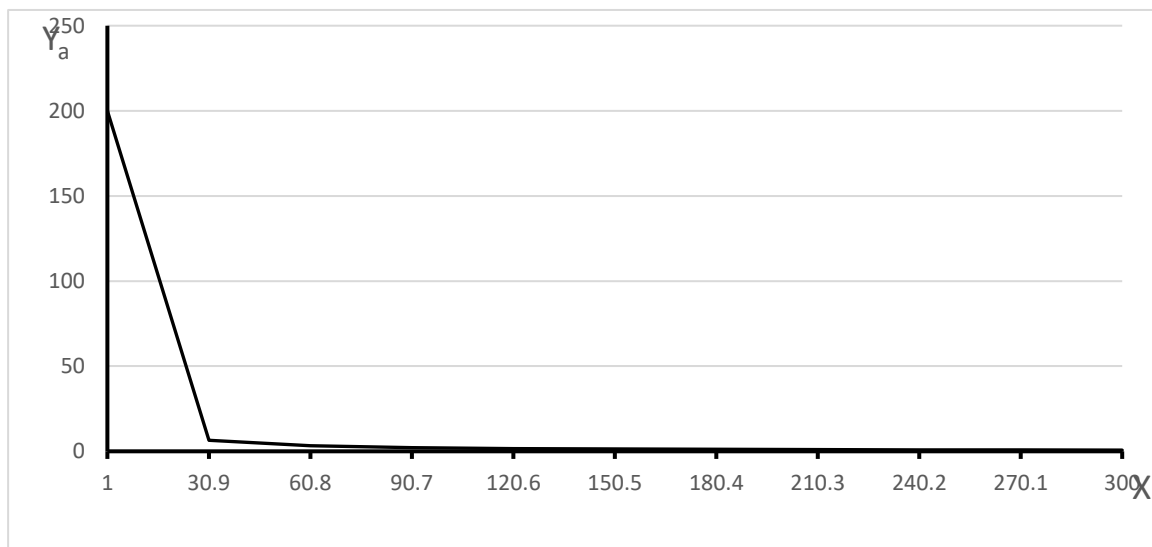


Рисунок 34. Графики прогибов конца и середины вала и изгибающие моменты при $d=15$ см

Диаметр вала **20** см
 Длина вала изменяется от 1 до **300** см
 P 1000 кг
 E 2000000 кг/см²
 k 10 кг/см²

Кол-во точек	10										
x[i]	1	30,9	60,8	90,7	120,6	150,5	180,4	210,3	240,2	270,1	300
Y _a [i], Y _b [i]	200	6,472523	3,289708	2,205849	1,6602	1,332452	1,114755	0,960688	0,847018	0,760862	0,694521
Y _{0.5L} [i]	200	6,472475	3,289342	2,204635	1,65735	1,326908	1,105212	0,945586	0,824554	0,729	0,65101
M _{0.5L} [i]	-250	-7724,99	-15199,7	-22672,8	-30141	-37597,8	-45032,7	-52430,3	-59769,2	-67021,4	-74151,7



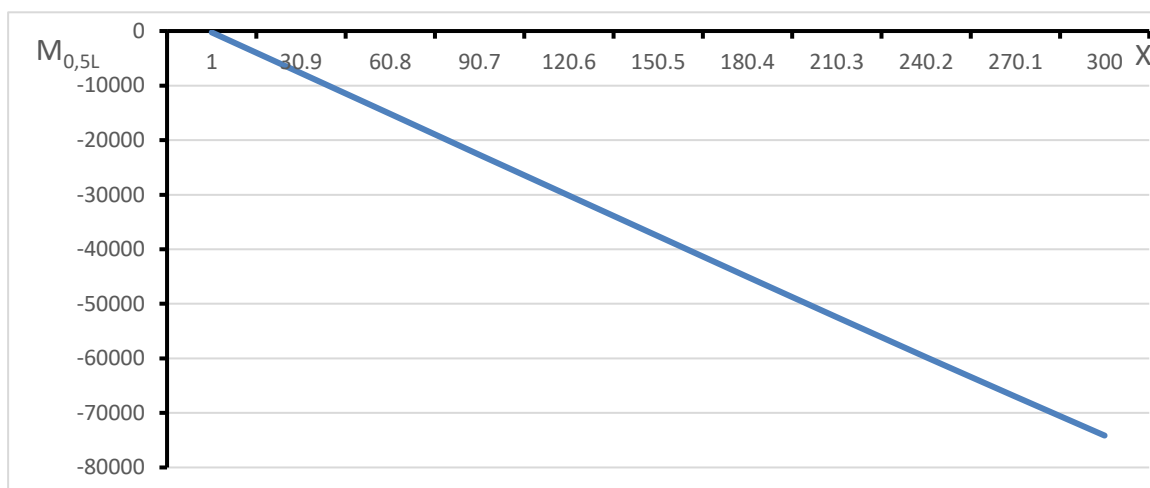
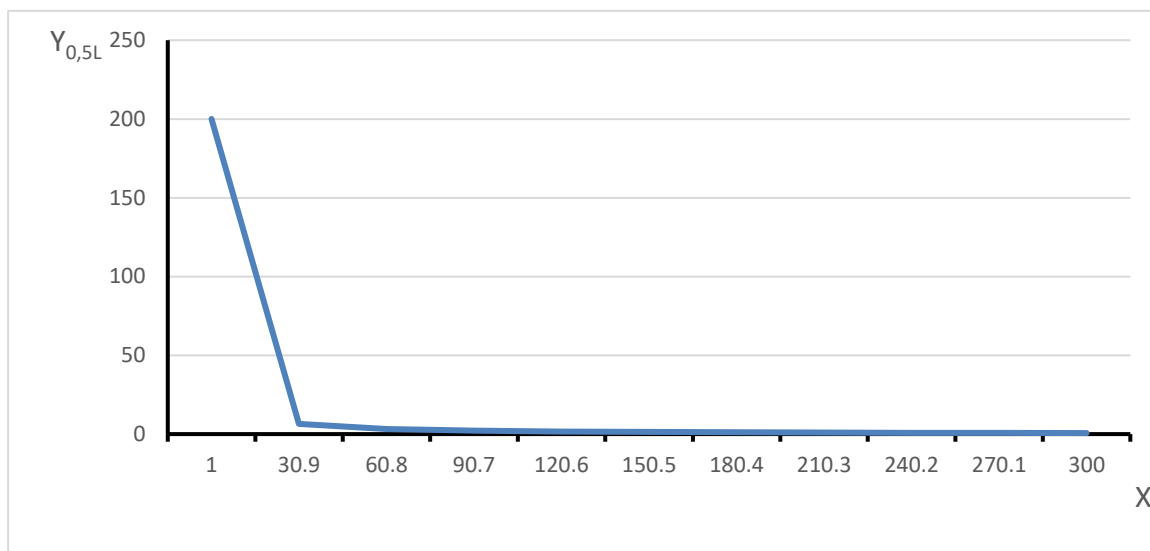


Рисунок 35 . Графики прогибов конца и середины вала и изгибающие моменты при $d=20$ см

Диаметр вала **30** см

Длина вала изменяется

от 1 до **300** см

P 1000 кг

E 2000000 кг/см²

k 10 кг/см²

Кол-во точек 10

x[i]	1	30,9	60,8	90,7	120,6	150,5	180,4	210,3	240,	270,1	300
Ya[i],Yb[i]	200	6,472498	3,28952	2,205225	1,658736	1,329605	1,109855	0,952935	0,835489	0,744516	0,672212
Y0.5L[i]	200	6,472488	3,289448	2,204985	1,658172	1,328509	1,107968	0,949946	0,831037	0,738189	0,663548
M0.5L[i]	-250	-7725	-15199,9	-22674,6	-30148,2	-37619,6	-45086,7	-52546,4	-59994,3	-67425	-74831,1

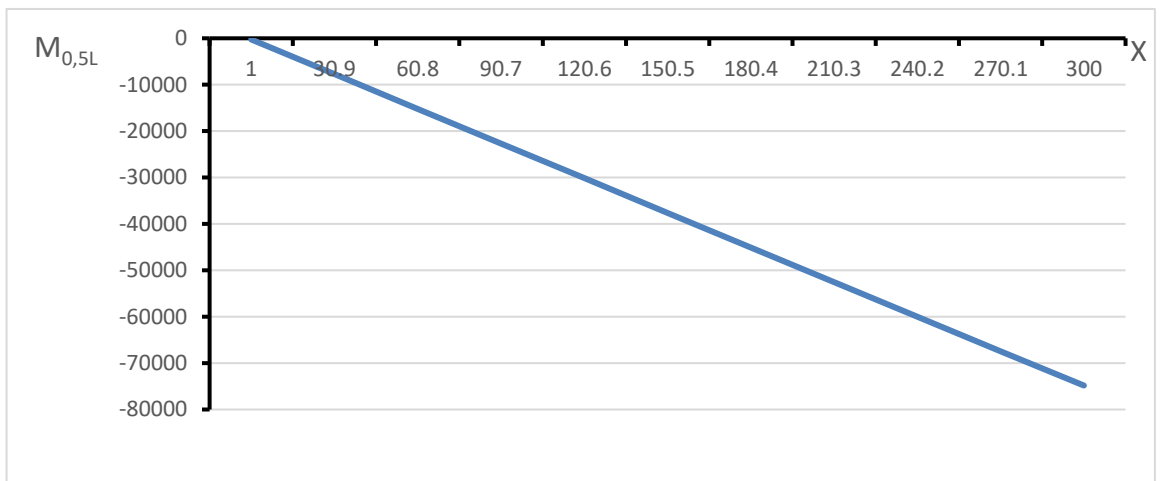
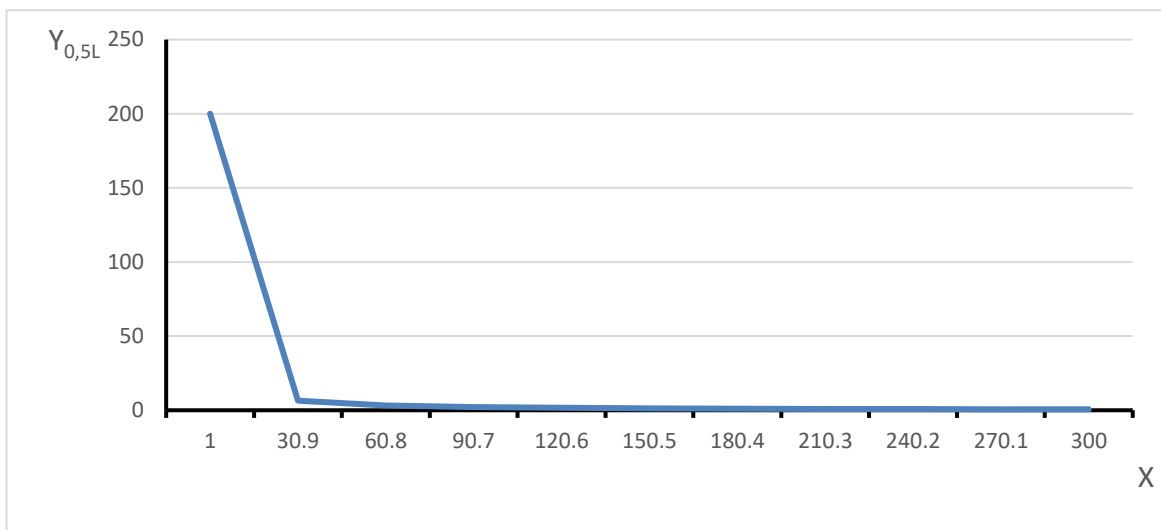
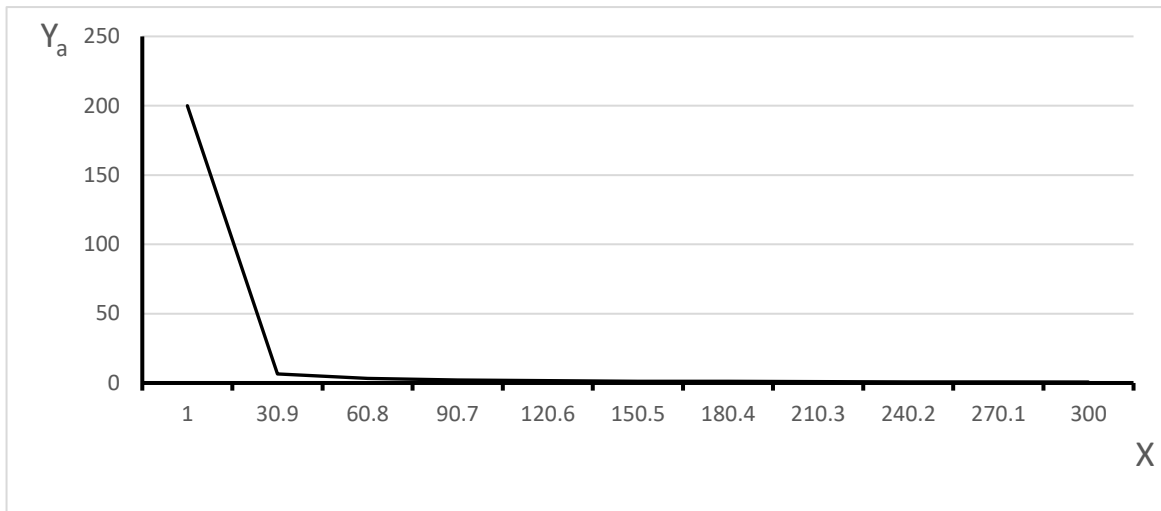


Рисунок 36 . Графики прогибов конца и середины вала и изгибающие моменты при $d=30$ см

Из построенных графиков следует, что при значениях диаметров валов

$$d = 5 \text{ см}; d = 10 \text{ см}; d = 15 \text{ см}; d = 20 \text{ см}; d = 30 \text{ см}.$$

прогибы на концах и посередине вала имеют разные значения при постоянном вращении вала (из графиков приведена только для $d = 20 \text{ см}$) (рисунок 35).

В частности, разность прогибов конца и середины вала при $d = 20 \text{ см}$ имеет минимальные значения:

$$1,332452 - 1,326908 = 0,005544 \text{ см},$$

что отвечает увеличению давления $0,005544 \cdot 10 = 0,05544 \text{ кг/см}^2$ при среднем его значении по длине вала

$$\frac{2 \cdot 1000}{300} = 6,67 \text{ кг/см}^2, \text{ т.е. на } 8,3 \%$$

3.4. Выводы к главе III

1. При применении винтовых валов для расправки продольных складок листового материала, для полной расправки складок винтовой расправочный вал должен совершить определенное количество вращений, так как винтовые лопасти, имеющие постоянный шаг винта, с каждым полным оборотом винта перемещают складки кожевенного полуфабриката от середины расправочного вала к его краям на один ход винтовой лопасти.

2. Из графиков следует, что при диаметре вала 20 см разность прогибов конца и середины вала меньше. Значения изгибающего момента с увеличением диаметра вала в опасном сечении, т.е. в середине вала будут больше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Высоко производительная работа современного предприятия невозможна без правильно организованных и надежно работающих средств промышленного транспорта.

2. Полученный технический результат выражается тем, что предложенное межоперационное транспортирующее устройство, обеспечивающее транспортировку обрабатываемого кожевенного полуфабриката не останавливая, технологический процесс обработки обеспечивает стабильную работу автоматической линии обработки кожевенного полуфабриката и уменьшает физический труд рабочих персоналов.

3. Анализ научных разработок позволяет предложить принципы создания автоматизированного кожевенно-мехового производства:

– исследователями, работающими в области создания машин, автоматов и автоматических линий в машиностроении, установлено, что по теории надежности наибольшее количество различных машин, объединенных в автоматические линии всевозможными транспортно-ориентирующими системами, не может быть больше 6. Поэтому целесообразно весь технологический процесс обработки кожевенно-мехового полуфабриката разделить не более 6 операций в каждом;

– для обеспечения качества обработки кожевенно–мехового полуфабриката, в том числе и на жидкостных процессах, необходимо разработать и снабдить машины *проходного* типа

средствами контроля по необходимому числу параметров, например, толщина, масса, площадь, давление;

– управление технологическими процессами осуществляется путем точной дозировки рабочих составов с определенными свойствами, регулированию интенсивности обработки полуфабриката и управлению работой транспортно–ориентирующих устройств.

4. При применении винтовых валов для расправки продольных складок листового материала, для полной расправки складок винтовой расправочный вал должен совершить определенное количество вращений, так как винтовые лопасти, имеющие постоянный шаг винта, с каждым полным оборотом винта перемещают складки кожевенного полуфабриката от середины расправочного вала к его краям на один ход винтовой лопасти.

5. Из графиков следует, что при диаметре вала 15 см разность прогибов конца и середины вала меньше. Значения изгибающего момента с увеличением диаметра вала в опасном сечении, т.е. в середине вала будут больше.

6. Построенные из графиков для скоростей $\vec{\mathcal{Q}}_7$ и $\vec{\mathcal{Q}}_9$ следует что, при $\omega_7 = \omega_9 = 136 \text{ рад/с}$ для винтового вала с переменным шагом в течении от 0–8 секундах равномерно расправляет полуфабрикат. Поэтому расправка должна продолжаться до восьми секундах и винтового вала необходимо приподнять.

7. При применении винтовых валов для расправки продольных складок листового материала, для полной расправки складок

винтовой расправочный вал должен совершить определенное количество вращений, так как винтовые лопасти, имеющие постоянный шаг винта, с каждым полным оборотом винта перемещают складки полуфабриката от середины расправочного вала к его краям на один ход винтовой лопасти.

8. Линейные скорости лопасти расправочного вала с постоянным шагом при $\omega=157 \text{ рад/с}$ более стабильно меняется, т.е. вибрации в опорах расправочных валов 7 и 9 будет наименьшими. Линейные скорости лопасти расправочного вала с переменным шагом при $\omega=136 \text{ рад/с}$ в промежутке времени 0–8 секундах стабильно расправляет полуфабриката от середины расправочного вала к его краям на один ход винтовой лопасти.

9. Научно обосновано, что опоры расправочного вала совершают вынужденные колебания, а также предложены методы способов определения значений силы реакции управляющиеся связи.

10. Рассмотрены и анализированы случаи транспортирования (подачи) и движения обрабатываемого кожевенного полуфабриката между рабочими валами с учетом их крутящего момента, а также со свободным захватом.

11. Выведены уравнения и получены графические решения зависимости радиуса рабочего вала от угла захвата со свободным захватом обрабатываемого материала и с учетом крутящего момента рабочих валов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 3.05.2018 г., № ПП–3693 «О мерах по дальнейшему стимулированию развития и роста экспортного потенциала кожевенно–обувной и пушно–меховой отраслей».

2. Указ Президента Республики Узбекистан от 7.02.2017 г., № УП–4947 "О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан".

3. Covaci B., Paraschiv R. World textile, clothing, leather and footwear industry. 2000–2015 short outlook. Management Intercultural. Vol. XVIII, No. 3(37)/2016. Pp. – S. 281–287.

http://seaopenresearch.eu/Journals/articles/MI_37_38.pdf

4. Бахадиров Г.А., Хусанов К.Б. Проблемы механизации и автоматизации процессов механической обработки кожевенного полуфабриката //Сборник трудов международной научно–технической конференции, посвященной 75–летию ГИУА в г. Ереване 13–18 сентября 2008 г. – Ереван: ГИУА. – 2008. – 248 с.

5. Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производства кожи и меха –М.: Колос, 2006. – 384 с.: ил. – С. 102–184.

6. Каплин Л.А. Научные основы совершенствования оборудования для механической обработки кожевенных и меховых материалов по условиям повышения качества продукции и эффективности производства // Дисс. ... докт. техн. наук. М., 1999. – 349 с.

7. Yehualashet Demeke Lakew, GE Chiloane–Tsoka. Internationalisation Barriers of Small and Medium–sized Manufacturing

Enterprises in Ethiopia: Leather and Leather Products Industry in Focus. International Journal of Business and Economic Development Vol. 3 No. 3. 2015. Pp. – S. 69–80. <http://ijbed.org>

8. Antemie Alex, Popp Aurel. Solution for syntethic products nesting based on leather products design. Annals of the University of Oradea fascicle of textiles, leatherwork. volume XIII, No. 2. 2012. Pp. – S. 156-160. <http://textile.webhost.uoradea.ro/annals/index.html>

9. Shrabanti Maity. India's Leather and Manufactures Export in the Scenario of wto: An Analysis Trend and Structural Shift. India's Leather and Manufactures Export in the Scenario of WTO. Vol. 11. No.3. 2013. Pp. 261–281. [http://www.fm-kp.si/zalozba/ISSN/1581-6311/11– S. 261–281.pdf](http://www.fm-kp.si/zalozba/ISSN/1581-6311/11-S.261-281.pdf)

10. Paul D. Ronney. Basics of mechanical engineering: integrating science, technology and common sense. AME 101 – Introduction to Mechanical Engineering and Graphics. Pp. – S. 14–125. <http://ronney.usc.edu/ame101/>

11. Поломошных С.П., Раднаева В.Д., Титов О.П., Калашникова Ю.М. Основы механической технологии обработки кожевенно–мехового полуфабриката на жидкостных операциях. Вістник Хмельницького національного університету –№3, 2013. – С. 226–232.

12. Майзель М.М., Квяткевич И.К., Пин Л.Г. Машины и аппараты кожевенного и мехового производства . –М. Издательство Гизлегпром, 1950. – 590 с.

13. <http://kozhy.ru/obor-revich/poluavtomaticheskaja-linija-psk-1/>

14. <http://kozhy.ru/otd-kozh/razvodnye-mashiny/>
15. http://www.perchatki.com.ua/main.php?pg=lib_koga_glava7_ra_zvodka
16. <http://koja-meh-podklad.ru/proizvodstvo-koji/>
17. Бахадиров Г.А. Исследование процесса и машин механической обработки листовых материалов. Сборник материалов междунар. научно – техн. конф. «Новые материалы и технологии в машиностроении», – С.23–24, 31 октября –3 ноября 2000 г. Тюмень: ТюмГНГУ. –148 с.
18. Баранова Е.В. Исследование структуры одежных кож хромового дубления и разработка способа повышения формоустойчивости // Текст.: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Баранова Екатерина Владимировна. – М., 2007. –155 с.
19. Долгова Е.Ю. Разработка методов оценки изменения свойств овчинно-меховых изделий при эксплуатации и восстановлении // Текст.: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.01/ Долгова Елена Юрьевна. Кострома, 2005. – 171 с.
20. Поломошных С.П., Лайдабон Ч.С., Калашникова Ю.М., Туманова И.С., Лунин С.Н. Патент РФ №2472861. Устройство для пропитки и пролежки кожевенного и мехового полуфабриката // 2013. – Бюллетень. № 2.
21. Поломошных С.П., Ронский А.Е., Зимин В.В., Николаев Н.В., Титов А.В. Патент РФ №2287589. Устройство для резания волосяного покрова меховых шкур // 2006. – Бюллетень. №32.

22. Романски Э. Патент РФ №2369638. Пресс с расширенным зажимом для кожевенной промышленности // 2009. – Бюллетень. № 28.

23. Полато Антинио. Патент РФ №2283871. Способ непрерывной растяжки кож и других подобных материалов и линия для его осуществления // 2009. – Бюллетень. № 26.

24. Emiliana Macchine Conceria Macchine per conceria lame e rilamatura. <http://tannery-machines.com>.

25. <http://scbist.com/scb/uploaded/tgs/51.html>

26. <http://helpiks.org/2220.html>

27. Полато Антинио. Патент РФ №2302468. Способ и установка для непрерывного постепенного растягивания и сушки технических кож и аналогичных продуктов // 2007. – Бюллетень. № 19.

28. <http://ecouniver.com/8119-xarakteristika-detalnyx-professij-na-kozhevennom.html>

29. <http://kozhy.ru/obor-revich/avtomatizirovannye-linii-dlja-obrabo/>

30. Бескоровайный В.В. Обработка обувных материалов ударом. Теория и практика: Монография. Шахты: ДГАС, 1998. – 128 с., ил.

31. Бахадиров Г.А. Анализ работы и классификация валковых машин кожевенного производства // Проблемы механики. 2005. – №4. – С. 45-50.

32. Бахадиров Г.А. Исследование рабочего процесса отжимных машин // Тезисы докладов Респ. научно-технической конференции «Повышение эффективности производства механизацией

механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении (с применением промышленных роботов и манипуляторов)». Ташкент, 1983.

33. Кузнецов В.А. Обоснование конструктивных параметров высокопроизводительных валковых машин интенсивного отжима: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кострома, 1984. – 18 с.

34. Кузнецов Г.К. Исследование и методика проектирования валковых отжимных устройств текстильных машин. Дис. ... докт. техн. наук. Кострома, 1970. – 287 с.

35. Лихтцер Е.И. Исследование процесса отжима для установок непрерывной обработки прямого белья. Дис. ... канд. техн. наук. Кострома, 1967.

36. Патент ФРГ, 34110259. Отжимная машина. Заявл. 24-03. 84., – № Р34 11025.9.: Оpubл. 26.09.85.

37. Подъячев А.В. Теоретические и прикладные аспекты проектирования валковых модулей машин текстильного отделочного производства: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Кострома: КГТУ, 2003. – 32 с.

38. Справочник кожевника (Оборудование)//Большаков П.А., Винницкий Д.Б., Копейкин В.П. Справочник. М.: Легпромбыт-издат, 1995. – 312 с.

39. Фомин Ю.Г. Разработка теоретических основ и средств повышения эффективности обработки тканей валковыми модулями отделочных машин: Дис.... докт. техн. наук. Иваново: Ив. гос. текстильная академия, 2001. – 441 с.

40. Фомин Ю.Г., Кузнецов Г.К., Киселев И.А. Конструкция и расчёт механизмов валковых машин для обработки тканей. Иваново: Ив. гос. текстильная академия, 1994. – 196 с.

41. Бахадиров Г.А. Механика отжимной валковой пары – Ташкент.: «Фан», 2010–166

42. Лихтцер Е.И. Исследование процесса отжима для установок непрерывной обработки прямого белья. Дис. ... канд. техн. наук. Кострома, 1967.

43. Новиков Н.Е. Прессование бумажного полотна. М.: Легкая промышленность, 1972. – 248 с.

44. Sulaticki R.A.few thoughts on paper machine pressing – Pulp and paper magazine of Canada, 1960, v.61, no.7. p. 109.

45. Бахадиров Г.А. Машина для разводки листового материала // Предварительный патент РУз – №382. Официальный бюллетень. Изобретения, 1993 г. – №3.

46. Бахадиров Г.А. Исследование процесса расправки складок листовых материалов винтовыми валами // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2001. – №5. С. 38–42.

47. Хусанов К.Б., Бахадиров Г.А. Изучение движения листового материала в устройстве для расправления при транспортировании // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2007. – №6. – С. 55–58.

48. О повторных производственных испытаниях опытного образца проходного агрегата АОУ–1800К для отжима и разводки хромовых кож (отчет). ВНИИЛТекмаш. М., 1979. – 33 с.

49. Патент РФ №2400539. Расправочное устройство для кожевенно–мехового полуфабриката. // Айнетдинов Р.Ш., Калын И.Я., Зайцев Б.В. <http://www.findpatent.ru/patent/240/2400539.html>.

50. Страхов И.П., Шестакова И.С., Куциди Д.А. Химия и технология кожи и меха. Изд. 3-е перераб. и допол. М.: Легкая индустрия, 1979. – 504 с.

51. Бурмистров А.Г., Сироткин Г.П. Практикум по машинам кожевенно–мехового производства. М.: МГУДТ, 2002. – 82 с.

52. Шукуров М.М. Научные основы проектирования и расчета рабочих органов машин прядильного производства. Дис.... докт. техн. наук. Ташкент, 2004. – 324 с.

53. Бахадиров Г.А. Экспериментальное определение коэффициента расправляемости кожевенного полуфабриката // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2000. –№1. – С. 91–94.

54. Дронг В.И. и др. Курс теоретической механики. Под. общ. ред. К.С. Колесникова. 3–е изд., стеротип. – М.: Изд–во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. –736с.: ил. (Сер. Механика в техническом университете; Т. 1).

55. Патент РФ №2472861. Устройство для пропитки и пролежки кожевенного и мехового полуфабриката / Поломошных С.П., Лайдабон Ч.С., Калашникова Ю.М.,Туманова И.С.,Лунин С. Н. // 2013. – Бюл. № 2.

56. Кузнецов Г.К. Исследование процесса отжима лубоволокнистых материалов. Дис. ... канд. техн. наук. М., 1968.

57. Патент РФ №2302468. Способ и установка для непрерывного постепенного растягивания и сушки технических кож и аналогичных продуктов /ПолатоАнтинио//2007. – Бюллетень. № 19.

58. Кузнецов Г.К. Теоретический анализ условий втягивания парой валков с эластичными покрытиями // Изв. Вузов. ТТП. 1966. – №1. – С. 144–147.

59. Бахадиров Г.А. Определение влияния свободного вала на захват и втягивание материала в зону обработки // ДАН РУз. 1987. – №7. – С. 13–14.

60. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике (для инженеров и учащихся втузов). 10-е изд. М.: Наука, 1964. – 608 с.

61. Бахадиров Г.А., Хусанов К., Рахимов А.Ш. Исследование факторов неравномерности растягивания в процессе расправки полуфабриката // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2018. – №2. – С. 46–50.

62. Игнатъев Ю.Г. Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей в евклидовом пространстве. Учебное пособие. - Казань: Казанский университет, 2013, – 204 с.

63. Литвинец Ю.И. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией. Учебное пособие. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2010, – 56 с.

64. Жарков В.В., Крюков В.А., Прейс В.В. Математическая модель движения частицы в коническом спиральном питателе-

дозаторе роторной фасовочной машины // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 7. Ч. 2. С 141–150.

65. Зайцев Б.В. Технологическое оборудование для сушки и отделки кож. – М.: КолосС, – 2009, – 134 с.

37.252

Б 30

Хусанов К., Бахадиров Г.А.

Особенности транспортирующих устройств при механической обработке кожевенного полуфабриката/ К.Хусанов., Г.А. Бахадиров; Т.: ТИИИМСХ. 2019.-141 с.

Утверждено к печати Ученым советом Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, протокол №3 от 31 октября 2019 года.

Редактор: Н.Ташходжаева

*Подписано в печать: "___" 12.2019. Формат 60x84 - 1/16
Усл.-печ.л. 30,5. Тираж 50. Заказ №___.*

*©.Издательство ТИИИМСХ. 100000, Ташкент
ул. К. Ниёзий 39*

