

ИЗ ФОНДОВ РОССИЙСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ БИБЛИОТЕКИ

Агузамов, Касьян Абдурахманович

1. Научные основы разработки и совершенствования
оборудования подготовительных производств
предприятий сервиса по изготовлению и ремонту
обуви

1.1. Российская государственная библиотека

Агизамов, Касьян Абдурахманович

Научные основы разработки и совершенствования оборудования подготовительных производств предприятий сервиса по изготовлению и ремонту обуви [Электронный ресурс]: Дис. ... г-ра техн. наук : 05.02.13 .—М.: РГБ, 2003 (Из фондов Российской Государственной библиотеки)

Обувное производство -- Ручное производство обуви -- Проектирование оборудования. Обувное производство -- Ремонт обуви -- Проектирование оборудования. Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)

Полный текст:

<http://diss.rsl.ru/diss/03/0996/030996006.pdf>

Текст воспроизводится по экземпляру,
находящемуся в фонде РГБ:

Агизамов, Касьян Абдурахманович

Научные основы разработки и
совершенствования оборудования
подготовительных производств предприятий
сервиса по изготовлению и ремонту обуви

Москва 2003

Российская государственная библиотека, 2003
год (электронный текст).

71:04-5/375

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА

Президиум ВАК России	
вынесено ст. 14 "	05.04.2013
диссертация на соискание ученой степени	
технических наук	
И. Кур	

На правах рукописи

АДИГАМОВ КАСЬЯН АБДУРАХМАНОВИЧ

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
ПРЕДПРИЯТИЙ СЕРВИСА
ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ И РЕМОНТУ ОБУВИ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.13
«МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ПРОЦЕССЫ»
(коммунальное хозяйство и бытовое обслуживание)

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

МОСКВА 2003

www.PromElectroAvtomat.ru

Содержание

Введение	6
1. Анализ технологических процессов обувного производства.	20
1.1 Процессы раскроя деталей обуви и измельчения отходов резанием	20
1.1.1 Раскрой деталей обуви на прессах	20
1.1.2 Процессы резания материалов при измельчении отходов	25
1.1.3 Технологии повторного использования отходов обувного производства	34
1.2 Процессы увлажнения заготовок верха обуви	41
1.2.1 Классификация способов увлажнения.	41
1.2.2 Влагоперенос при увлажнении заготовок верха обуви.	45
1.3 Процессы транспортирования материалов шнековым конвейером	51
1.3.1 Краткий анализ научных работ по исследованию шнековых конвейеров	51
1.3.2 Транспортирование материалов вертикальным шнековым конвейером	53
Выводы.	60
2. Методики исследований технологических процессов обувного производства.	62
2.1 Методика исследований процессов раскроя деталей обуви	62
2.2 Методика исследований процессов измельчения отходов	64
2.3 Методика исследований процесса вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви	69
2.4 Методика исследований процессов транспортирования материалов шнековым конвейером	76
2.5 Обработка экспериментальных данных	78

3.	Процессы резания материалов при раскрое деталей обуви и измельчении отходов	80
3.1	Деформационные свойства кожевенных материалов при сжатии и растяжении	80
3.2	Влияние изнашивания режущего инструмента на эффективность процесса резания	87
3.3	Влияние величины угла и точности поворота ударника консольного прессы на качество вырубаемых деталей	94
3.4	Измельчение отходов на установках роторного типа	97
3.5	Шлифование материалов машиной с исполнительным органом двойного вращения	124
	Выводы.	129
4.	Процессы вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви	132
4.1	Влияние фазы влагопереноса на его скорость	132
4.2	Характер изменения концентрации пара от времени по длине капилляра	134
4.3	Характер капиллярно-сорбционного процесса конденсации паров воды при вакуумно-сорбционном увлажнении	139
4.4	Характер конденсации в процессе теплообмена между кожей и паром	144
4.5	Режимы вакуумно-сорбционного увлажнения	149
	Выводы.	156
5.	Процессы транспортирования материалов вертикальным шнековым конвейером	157
5.1	Математическая модель процесса транспортирования	157

5.2	Закономерности перемещения частицы материала вертикальным шнековым конвейером с неподвижным кожухом	169
5.2.1	Необходимые условия для перемещения частицы материала	169
5.2.2	Критическая частота вращения шнека	172
5.2.3	Влияние величины радиуса шнека на процесс транспортирования материала	176
5.2.4	Влияние угла подъема винтовой линии	178
5.2.5	Влияние трения частиц о шнек и стенку кожуха	181
5.2.6	Кинематика шнекового конвейера с неподвижным кожухом	182
5.2.7	Влияние состояния поверхностей шнека и кожуха на коэффициент проскальзывания частицы относительно шнека	184
5.2.8	Производительность шнекового конвейера	187
5.3	Закономерности перемещения частицы материала вертикальным шнековым конвейером с вращающимся кожухом	191
5.3.1	Кинематика шнекового конвейера	191
5.3.2	Определение коэффициентов проскальзывания	195
5.3.3	Динамика шнекового конвейера	198
5.3.4	Рациональные соотношения угловых скоростей шнека и кожуха	204
5.3.5	Перемещение материала в зоне загрузки шнекового конвейера	209
5.3.6	Производительность шнекового конвейера	213
5.4	Сравнительный анализ производительности и удельных энергозатрат шнековых конвейеров с неподвижным и вращающимся кожухом	215
	Выводы.	220
6.	Разработка и совершенствование оборудования для реализации исследованных технологических процессов	222
6.1	Вырубочный консольный пресс с регулируемым поворотом ударника	222
6.2	Измельчители отходов обувного производства	226

6.3	Способ повышения стойкости режущих инструментов	230
6.4	Оборудование для шлифования	235
6.5	Установки для вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви	237
6.6	Пресс для приклеивания низа обуви	242
6.7	Специальные шнековые конвейеры	244
	Выводы.	248
	Общие выводы об основных результатах работы	250
	Библиографический список	254
	Приложения	268

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед предприятиями сервиса и легкой промышленности с особой остротой возникла проблема конкурентоспособности выпускаемой продукции по отношению к аналогичной, производимой в развитых странах. Эта проблема существовала и ранее, однако, в прежних условиях управления экономикой, ориентировавшей предприятия по преимуществу на внутренний рынок, не проявлялась так остро. Элементы рыночной экономики, ослабившие импортные ограничения, привели к тому, что вопрос конкурентоспособности продукции стал актуальным для подавляющего большинства предприятий сервиса и легкой промышленности. Конкурентоспособность, как известно, непосредственно связана с достижением высокого качества продукции, обеспечением ее сертификации при сравнительно невысокой стоимости и может быть достигнута совершенствованием существующих или созданием новых технологий с использованием более совершенного оборудования, новой организации труда и способов управления. В этом комплексе вопросов основным, по-видимому, является разработка новых технологий и совершенствование технологического оборудования, поскольку никакие, даже самые лучшие способы управления производством, не дадут существенного эффекта на базе устаревших технологий и оборудования, не отвечающих современным требованиям.

Сами технологии представляют собой интегрированный набор тех или иных машинных процессов, реализуемых конкретным комплектом технологического оборудования. Очевидно, наиболее эффективное с точки зрения экономических показателей и качества продукции оборудование должно базироваться на наилучшем машинном процессе, т.е. реализовывать передовую технологию. Улучшение технических характеристик всего парка технологического оборудования, несомненно, достигается путем внедрения современных научно-обоснованных конструкторских решений.

Повышение качества готовой обуви во многом зависит от условий проведения технологических операций при ее изготовлении. Анализ готовой продукции показывает, что многие дефекты, образующиеся на промежуточных технологических операциях, проявляются и на конечном качестве продукции, что ведет к снижению сортности, а, следовательно, и стоимости изделия /1, 7, 53, 76/.

Одним из наиболее распространенных материалов при изготовлении обуви является кожа, что объясняется ее совершенно специфическими свойствами, не имеющими себе аналогов, в том числе и при воспроизведении в виде искусственных материалов. При этом качество изделий из кожи, как конечного продукта во всей технологической цепочке, в значительной степени зависит от качества самого материала, представляющего комбинацию большого числа факторов, совершенно независимых друг от друга. Они, во-первых, определяются видом сырья, а также его исходными характеристиками, совокупность которых известна и весьма велика. Во-вторых, качественные показатели готовой продукции формируются последовательно в технологическом процессе обработки кожи, которая, вступая в этот цикл, носит название «шкуры» и только после большого числа операций приобретает необходимые для «кожи» признаки. В третьих, на каждой из операций технологического процесса имеется достаточно большое число управляемых, а также неуправляемых параметров, которые существенно отражаются на свойствах готовой продукции /1, 43, 47, 55, 68/.

Исследованиями, направленными на совершенствование технологических процессов и оборудования предприятий сервиса и легкой промышленности, занимались большое количество авторов. Весомый вклад в разработку фундаментальных и прикладных научных исследований в данном направлении внесли ученые Московского и Санкт-Петербургского государственных университетов дизайна и технологии, Московского государственного университета сервиса, Центрального научно-

исследовательского института кожевенно-обувной промышленности, Российского заочного института текстильной и легкой промышленности, Орловского научно-исследовательского института легкого машиностроения и др. /75-78, 85, 109, 110, 149/.

Технологические процессы обувного производства закладывают основу качества готовой продукции, способствуют более рациональному использованию материалов, помогают при их правильном применении снижению затрат. В настоящей работе выполнено исследование таких технологических процессов, как раскрой деталей обуви и измельчение отходов обувного производства, увлажнение заготовок верха обуви и транспортирование измельченных отходов и других материалов.

В подготовительных цехах обувных предприятий, к которым относятся раскройный и вырубочный цеха, производится прием материалов, раскрой их на детали верха, подкладки и низа обуви, а также обработка полученных деталей /110/. Основными из этих операций являются раскрой и разруб материалов, поскольку от качества получаемых при этом деталей обуви зависит в конечном итоге качество и стоимость готовой обуви.

При раскрое материалов важное значение имеет стойкость резака, так как при вырубании острыми резаками значительно уменьшаются нагрузки на пресс, его оснастку и режущий инструмент, вследствие чего повышается их долговечность, снижается уровень шума и вибрации, уменьшается расход энергии. Как показывают результаты производственных наблюдений и анализ работ, посвященных данной проблеме, надежность вырубочного прессы в значительной степени зависит от условий взаимодействия системы «резак - материал – вырубочная плита» /88/.

Так как на одних и тех же прессах, с использованием одной и той же оснастки, производится раскрой различных материалов, условия взаимодействия указанных элементов могут существенно меняться. Это объясняется многообразием ассортимента используемых в производстве обуви

материалов и необходимостью во всех случаях пользоваться режущим инструментом, гарантированно обеспечивающим полное отделение деталей при достижении заданной точности и качества реза.

Для раскройных консольных прессов важное значение имеет надежная работа механизма поворота ударника в части обеспечения точности установки последнего относительно вырубочной плиты. Как установлено /29/, отклонения от заданного перемещения ударника из исходного положения к вырубочному столу оказывают существенное влияние на качество получаемых деталей обуви.

В работах по исследованию процессов раскроя материалов указывается на то, что многие показатели зависят от свойств и качества вырубных плит. При использовании полимерных плит практически отсутствует выкрашивание режущих кромок резака, снижается вибронагружение пресса по сравнению с металлическими плитами. Поэтому в работах, связанных с исследованиями данной проблемы, отмечается, что стойкость резака и надежность работы пресса во многом зависят от демпфирующих свойств вырубной плиты. Весьма существенным для оценки технического уровня пресса являются высокие значения вибраций и шума при его работе, которые в области низких и средних частот значительно превосходят допустимые санитарные нормы.

В последнее время в экономике страны происходит заметное повышение роли вторичного сырья. На предприятиях сервиса и легкой промышленности утилизация отходов кожевенных, обувных и кожгалантерейных производств превращается в одну из важных социально-экономических и технических проблем.

Политика более рационального использования материалов все теснее увязывается с другими важнейшими направлениями научно-технического прогресса и, прежде всего, с созданием и внедрением более эффективных технологических процессов, а также с комплексной переработкой сырья и материалов, внедрением новых более экономных способов производства

продукции и других мер, способствующих сокращению отходов и снижению удельных норм потребления материалов и энергоресурсов в конечном продукте.

В этих целях необходимо внедрять прогрессивные нормы расхода материалов на единицу выпускаемой продукции, широко использовать комплексную переработку сырья, ресурсосберегающие технологии, малоотходные и безотходные технологии, вовлекать в оборот местные виды сырья и материалов, утилизировать вторичные ресурсы.

Спецификой указанных выше производств является образование большого (иногда до 40% от массы сырья) количества отходов. Ежегодно на предприятиях сервиса и легкой промышленности России образуются сотни тысяч тонн неиспользуемых отходов, в состав которых входит хромовая кожа для верха обуви и подкладки, спилки подкладочный, жесткие кожтовары для низа обуви, текстильные материалы, натуральные и искусственные меха, картон, резина, полимерные материалы и другие отходы /90/.

Эти отходы, как правило, вывозятся и сжигаются, а предприятия при этом несут финансовые затраты на их утилизацию, так как не располагают собственными технологическими процессами и производственным оборудованием, позволяющими перерабатывать отходы для получения различной продукции. Кроме этого, вывоз отходов приводит к значительному загрязнению окружающей среды.

В связи с тем, что технический уровень используемого для измельчения отходов оборудования не обеспечивает нужного качества переработки, возникает необходимость в совершенствовании имеющегося и создании нового технологического оборудования для этих целей. Для решения этих вопросов необходимо выполнить исследования, направленные на оптимизацию конструкций рабочих органов измельчающего оборудования и установление рациональных режимов их работы, поиск новых технических

решений, обеспечивающих повышение качества и снижение энергоемкости технологического процесса.

Одним из основных критериев, определяющих качество готовой обуви, является формуемость и формоустойчивость заготовки верха, которые зависят от структуры и свойств материалов верха, его начальной и конечной влажности, параметров влажно-тепловой обработки, способов увлажнения и формования [1, 43, 53, 104]. Наибольшее влияние на формуемость верха обуви оказывает влага. Для применяемого в настоящее время способа увлажнения заготовки верха обуви сорбцией влаги из паровоздушной среды при атмосферном давлении характерна большая длительность. Анализ литературно-патентной информации показывает, что интенсифицировать процесс можно путем предварительного вакуумирования заготовок верха обуви. Однако, устройства для реализации вакуумно-сорбционного способа увлажнения в обувном производстве отсутствуют. Следовательно, необходимость разработки таких установок для промышленности актуальна, так как их применение позволит наряду с сокращением объема незавершенного производства и времени увлажнения обеспечить требуемую типовой технологией изготовления обуви относительную влажность заготовок верха обуви и сократить время изготовления обуви с одновременным улучшением ее качества.

Актуальность проблемы заключается и в том, что в настоящее время значительно расширился ассортимент кож для верха обуви, а современные технологии их производства вследствие различий в структуре и свойствах кожевенного сырья очень многообразны. В частности, в последние годы при производстве кож хромового дубления для верха обуви широко используются методы додубливания органическими дубителями и наполнения полимерными материалами [1, 101]. Указанные методы существенно изменяют степень гидрофильности структурных элементов кож. Поэтому изучение новых способов увлажнения различных материалов и их систем, применяемых в

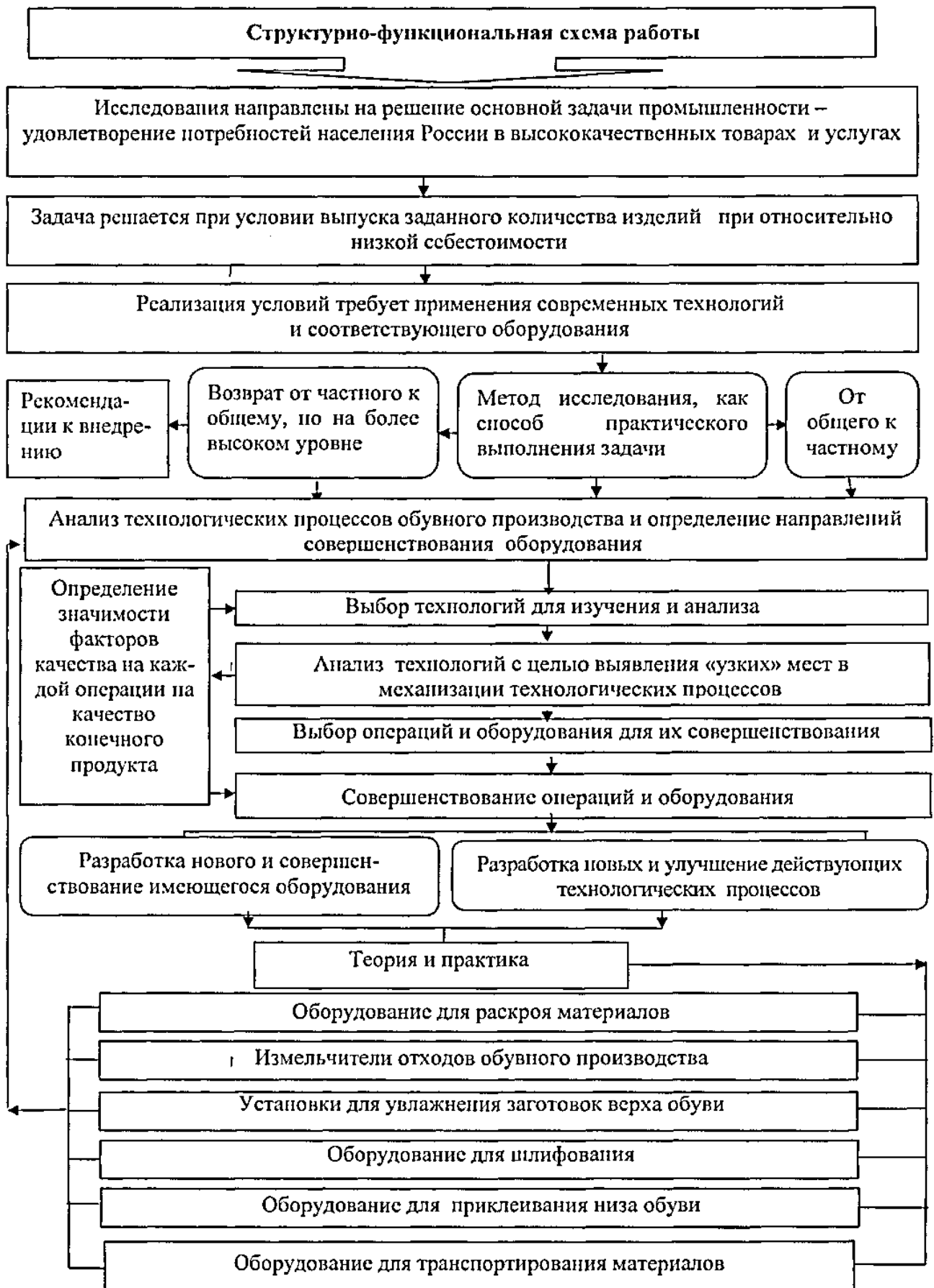
обувном производстве, как сложного гигротермического и технологического процесса, требующего научного подхода к проблеме интенсификации тепломассопереноса, выбора рациональных схем установок и определения оптимальных режимов их работы, является современным и актуальным.

Эффективная работа современного предприятия невозможна без правильно организованного и надежно работающего промышленного транспорта. На предприятиях сервиса и легкой промышленности транспортирование пылевидных, порошкообразных и мелкокусковых грузов осуществляется преимущественно шнековыми конвейерами. Эти конвейеры являются также составной частью комплектов оборудования, предназначенных для выполнения определенных технологических процессов /60, 160/.

Шнековые конвейеры обладают такими достоинствами, как непрерывность перемещения груза, герметичность, простота конструкции, надежность в эксплуатации, возможность агрегирования с другим оборудованием и др. Основным недостатком этих конвейеров является сравнительно низкая производительность и, как следствие, высокая энергоемкость транспортирования. Особенно ярко этот недостаток проявляется при транспортировании влажных, пластичных и пылевидных материалов.

Повышение эффективности работы шнековых конвейеров возможно, как показывает анализ, путем формирования условий, способствующих уменьшению сопротивления в зоне загрузки и увеличению скорости перемещения материала.

Структурно-функциональная схема работы, приведенная ниже, показывает последовательность, направленность и содержание основных этапов исследования в данной диссертации. Для решения социальной задачи – удовлетворения потребностей населения России в высококачественных и конкурентоспособных товарах реализован метод исследования «от общего к частному» и возврат от «частного к общему», но на более высоком уровне, с разработкой научно-теоретических основ совершенствования соответствующей техники и технологии.



Использование полученных результатов позволяет ликвидировать «узкие места» в механизации технологических процессов, повысить качество выпускаемой продукции и улучшить условия труда путем сокращения времени и улучшения качества выполнения технологических операций, путем создания принципиально нового оборудования, путем рациональной организации производства, использующего безотходные технологии. Результаты комплексного исследования являются теоретическими и экспериментальными основами повышения качества обработки изделий в обувном производстве и способны восполнить имеющиеся пробелы, а также внести определенный вклад в совершенствование технологического оборудования.

Тема диссертационной работы утверждена Ученым советом Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса и выполнялась в соответствии с Отраслевой комплексной программой создания системы машин по отраслевой группе «Ремонт и пошив обуви». Автор являлся научным руководителем работы «Участие в разработке комплексной системы машин. Этап 1. Машины для ремонта и пошива обуви» /152/.

Отдельные направления научной работы входили в планы НИР Шахтинского технологического института бытового обслуживания (ШТИБО), Донской государственной академии сервиса (ДГАС), включены в планы НИР Инновационного Центра высшей школы Минобразования РФ.

Целью работы является создание научных основ совершенствования оборудования предприятий сервиса по изготовлению и ремонту обуви.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ современного состояния технологических процессов и применяемого оборудования;
- анализ факторов, определяющих качество готовой обуви с позиций существующих технологических процессов и применяемого оборудования;

- теоретические и экспериментальные исследования процессов раскрытия деталей обуви и измельчения отходов, увлажнения заготовок верха обуви, транспортирования измельченных отходов и других материалов;
- разработка, рекомендаций по совершенствованию технологического оборудования, теоретическое и экспериментальное определение оптимальных режимов его работы;
- разработка математических моделей исследованных технологических процессов ;
- выполнение проектных, конструкторских и технологических проработок по результатам теоретических и экспериментальных исследований;
- выполнение лабораторных и опытно-промышленных проверок результатов разработок и внедрение их в производство.

В диссертации использован экспериментально-теоретический подход, позволяющий получить результаты, адекватные действительности, при этом реализованы методы анализа и синтеза технических решений, методы статистического анализа, планирования эксперимента, методы физического и математического моделирования, поискового конструирования. Проводились стендовые испытания экспериментальных образцов, а также их опытно-промышленная проверка по стандартным методикам.

Научная новизна работы, которую автор выносит на защиту состоит в следующем:

- разработаны и научно обоснованы направления дальнейшего совершенствования технологических процессов и оборудования обувного производства с целью улучшения их технико-экономических показателей, уменьшения загрязнения окружающей среды отходами производства и улучшения условий работы обслуживающего персонала;

- разработаны основы теории работы вертикального шнекового конвейера с вращающимся кожухом, из которой следует, что при вращении кожуха навстречу вращению шнека с той же частотой:
 - создаются более благоприятные условия работы конвейера за счет его уравнивания;
 - шаг навивки спирали шнека может быть увеличен до 1,5 его диаметров по наружному размеру, что уменьшает путь транспортирования и вес шнека, сокращает расходы на его изготовление;
 - производительность конвейера увеличивается в 1,2-1,9 раза по сравнению с вариантом, когда кожух неподвижен, а удельная энергоемкость транспортирования в таком же соотношении уменьшается;
 - по мере изнашивания спирали у конвейера сохраняются более высокие транспортирующие качества;
 - наличие на шнеке 2-х заходного наконечника с одной укороченной спиралью обеспечивает увеличение объема перемещенного материала в 1,1-1,2 раза;
- разработана технология повышения стойкости режущих инструментов обувного производства, изготовленных из углеродистых сталей, которая может быть использована как на предприятиях по изготовлению инструментов, так и непосредственно на предприятиях сервиса;
- разработана технология вакуумно-сорбционного увлажнения, обеспечивающая требуемый привес влаги в заготовках верха обуви, что необходимо для их качественного формования;

- получены в аналитической форме математические модели для описания исследованных технологических процессов и выбора оптимальных параметров оборудования для их осуществления.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждается одобренными научной общественностью и практикой результатами теоретических и экспериментальных исследований, выполненных под руководством и при активном участии автора, а также ходом их реализации и использованием в промышленности. Экспериментальными методами подтверждены технические возможности по созданию и поддержанию стабильных условий работы технологического оборудования в течение длительного эксплуатационного периода.

Большинство полученных результатов исследований имеют практическую направленность. Они позволяют решать задачи повышения эффективности оборудования предприятий сервиса по изготовлению и ремонту обуви. На основе анализа результатов исследований технологических процессов на уровне изобретений создан ряд образцов оборудования, более совершенного в технико-экономическом отношении, для предприятий сервиса и легкой промышленности.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы проектно-конструкторскими и научно-исследовательскими организациями при:

- разработке и совершенствовании технологического оборудования, а также существующих технологических процессов раскрытия деталей обуви и измельчения отходов обувного производства, увлажнения заготовок верха обуви, транспортирования измельченных отходов и других материалов;

- разработке научно-обоснованных исходных требований на проектирование нового оборудования с необходимыми техническими характеристиками, позволяющими повысить качество и эффективность технологических процессов;
- разработке мероприятий по снижению вредного воздействия технологических процессов на окружающую среду как на стадии их проектирования, так и в процессе производства.

Практическую ценность и значимость работы подтверждает тот факт, что все разработки по рассматриваемой проблеме выполнялись в рамках координационных планов и научно-технических программ Минбыта РСФСР (Росбытсоюза), региональных целевых программ, планов НИР ЮРГУЭС (ШТИБО, ДГАС), хозяйственных договоров с предприятиями. Результаты исследований использовались научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими институтами и организациями (ЦНИИБЫТ, ЦНИИКП, ОКТБ), вузами легкой промышленности и вузами группы сервиса. Они нашли отражение в учебнике «Оборудование для ремонта и пошива обуви», в ряде вузовских учебных пособий. Внедрение результатов исследований подтверждается актами внедрения с суммарным экономическим эффектом 1015 тыс. рублей в год.

Основные положения и результаты работы докладывались и получили положительную оценку на научно-технических советах Минбыта РСФСР (Росбытсоюза), на Всесоюзных научно-технических конференциях «Прогрессивная техника и технология, системы управления и автоматизированного проектирования в текстильной и легкой промышленности» (1985-1989 г.г.), на научных конференциях КТИЛПа (1986 г.), МТИ (ГАСБУ) (1990 г.), областных научно-технических конференциях, на научно-технических конференциях ШТИБО-ДГАС

(1976-2002 г.г.) на Международной научно-практической конференции «Моделирование. Теория, методы и средства» (2001 г.) на кафедре Инженерной технологии и сертификации МГУДТ (2002 г.) и др.

Полностью работа обсуждалась и рекомендована к защите на расширенном заседании кафедры «Прикладная механика и конструирование машин» с участием преподавателей кафедр «Технология изделий из кожи», «Текстильное производство», «Машины и аппараты бытового назначения», «Физика», «Математика», «Энергетика и БЖД» ЮРГУЭС. Образцы оборудования, разработанные по результатам исследований, представлялись на выставках Минбыта РСФСР (Росбытсоюза), Минлегпрома СССР, экспонировались на ВДНХ, получили медали и дипломы, а автор награжден знаком «Изобретатель СССР» (1985 г.).

По материалам диссертации опубликовано 52 работы, в том числе 2 монографии, 6 учебных пособий для вузов, учебник для техникумов, получено 13 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1 Процессы раскроя деталей обуви и измельчения отходов резанием

1.1.1 Раскрой деталей обуви на прессах

Раскрой натуральных и искусственных материалов обычно производится на вырубочных прессах с использованием резаков в качестве режущего инструмента [110]. Рассмотрим особенности процесса резания упругопластических материалов резак с поперечным сечением в виде одностороннего клина (рисунок 1.1).

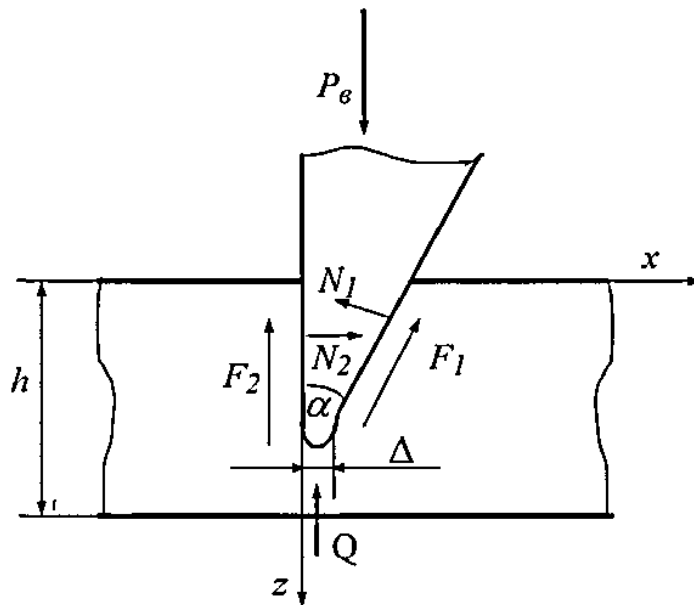


Рисунок 1.1 – Схема для определения усилия вырубания

Резание материала происходит после его сжатия лезвием резака до возникновения на режущей кромке контактного напряжения, равного временному сопротивлению материала σ_v . Приложенная к резаку сила вырубания P_v уравнивается силой Q сопротивления материала разрушению, вертикальными составляющими нормальных реакций N_1 и N_2 материала на гранях резака и сил трения F_1 и F_2 материала о грани резака:

$$P_{\sigma} = Q + N_1(\sin \alpha + \mu_1 \cdot \cos \alpha) + N_2 \cdot \mu_2, \quad (1.1)$$

где μ_1 и μ_2 - коэффициенты трения материала о грани резака.

Силу Q можно определить из выражения

$$Q = q \cdot L = \Delta \cdot L \cdot \sigma_{\sigma}, \quad (1.2)$$

где q - удельное усилие вырубания;

L - длина режущей кромки резака по периметру;

Δ - величина затупления режущей кромки.

Определим реакцию N_1 при вырубании деталей на прямолинейных участках контура резака при расположении края материала вблизи его острия. Разделив зону деформации материала на элементарные столбики шириной $dz/\cos \alpha$, определим элементарные значения реакции dN_1 [10]:

$$dN_1 = dR_1 \cdot \cos \varphi,$$

где dR_1 - элементарная реакция, действующая на элементарную площадку.

При этом

$$dR_1 = \frac{dX_1}{\cos(\alpha + \varphi)},$$

где dX_1 - проекция элементарной реакции на ось x ;

φ - угол трения.

Если напряжение, относительное сжатие и модуль упругости материала по оси x обозначить соответственно σ_x , ε_x и E_x , то

$$dX_1 = \sigma_x \cdot L \cdot dz.$$

Для высокополимерных материалов

$$\sigma_x = (\varepsilon_x \cdot E_x)^{\frac{1}{m}},$$

где коэффициент $m=0,8 - 1,0$.

После преобразований получим:

$$dX_1 = (\kappa \cdot E_x)^{\frac{1}{m}} \cdot L^{\frac{1}{m}} \cdot dz$$

Тогда

$$N_1 = \frac{m \cdot \cos \varphi \cdot (\kappa \cdot E_x)^{\frac{1}{m}}}{(1+m) \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \cdot L \cdot z^{\frac{1+m}{m}}, \quad (1.3)$$

где z – глубина внедрения лезвия резака в материал.

Для определения реакции N_2 необходимо взять сумму проекций всех сил на ось x :

$$\sum x = 0; N_2 = N_1 \cdot \cos \alpha + N_1 \cdot \mu_1 \cdot \sin \alpha - T, \quad (1.4)$$

где T – сопротивление резака поперечному изгибу.

Сопротивление T является сложной функцией N_1 и параметров поперечного сечения и контура резака. В первом приближении можно принять

$$T = \kappa_2 \cdot z,$$

где κ_2 – коэффициент, учитывающий жесткость резака в поперечном направлении.

Подставив в уравнение (1.1) выражения (1.2 – 1.4), получим формулу для определения усилия вырубания:

$$P_e = v \cdot L \cdot \sigma_e + \frac{m \cdot \cos \varphi \cdot (\kappa \cdot E_x)^{\frac{1}{m}}}{(1+m) \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \cdot L \cdot z^{\frac{1+m}{m}} \times \\ \times (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha + \mu_2 \cos \alpha + \mu_1 \mu_2 \cdot \sin \alpha) - \kappa_2 \cdot z \cdot \mu_2 \quad (1.5)$$

Как следует из формулы (1.5), усилие вырубания изменяется по мере углубления лезвия резака в материал. Установлено [88], что максимальная величина P_e имеет место при $z = (0,70 - 0,85)h$. При дальнейшем перемещении резака усилие вырубания уменьшается.

Для приближенного определения усилия вырубания можно воспользоваться выражением:

$$P_v = q \cdot L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.6)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий угол заострения резака, по

экспериментальным данным $K_1 = 1,1 - 1,8$ при $\alpha = 10 - 30^\circ$;

K_2 - коэффициент, учитывающий степень затупления резака, по

экспериментальным данным $K_2 = 1,0 - 3,5$ при $\Delta = 0,1 - 0,5$ мм;

K_3 - коэффициент, учитывающий скорость нарастания нагрузки

$$K_3 = 1 + \mu_3 \cdot v,$$

где μ_3 - коэффициент трения о резак, $\mu_3 = 0,1 - 0,4$;

v - скорость перемещения резака.

Из выражения (1.6) видно, что при прочих равных параметрах усилие вырубания существенно возрастает даже при незначительном увеличении степени затупления режущей кромки резака. Поэтому, как представляется, актуальными для дальнейших исследований являются вопросы повышения стойкости резаков, с целью обеспечения более длительного срока их эксплуатации при сохранении требуемых режущих качеств.

Важное значение для процесса вырубания имеют вырубочные плиты и колоды. Металлические плиты, чугунные со стальными накладками или алюминиевые с изолирующей пленкой, применяют при повышенных требованиях к точности и чистоте реза. Резаки при работе с такими плитами должны иметь притупленную режущую кромку для исключения случаев ее выкрашивания.

Вырубочные плиты, изготовленные из смесей поливиниловых смол прессованием или литьем, а также деревянные колоды, отличаются достаточной прочностью и жесткостью. На таких плитах и колодах можно

работать острыми резаками, но при этом происходит интенсивный износ их рабочей поверхности.

В работе /89/ предложен оригинальный способ восстановления работоспособности пластмассовой вырубочной плиты практически без остановки процесса вырубания деталей. Плита 1, изготовленная из термопласта, размещена в металлическом корпусе 2, имеющем в нижней части нагревательные элементы 3 (рисунок 1.2).

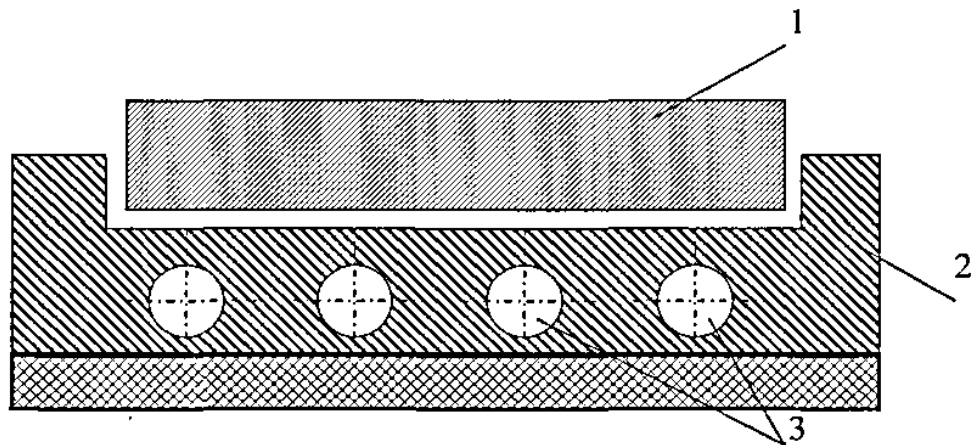


Рисунок 1.2 – Вырубочная плита

По достижении предельного износа рабочей поверхности плита 1 вынимается из корпуса 2, на дно корыта насыпают крошку или гранулы полиэтилена, либо стружку ПВХ и укладывают плиту 1 изношенной поверхностью вниз. При включении нагревателей 3 через 15 – 30 мин происходит разогрев засыпанного материала и поверхности плиты. Под действием температуры и усилий, передаваемых от ударника, изношенная поверхность плиты выравнивается.

В этой же работе /89/ предложена, так называемая, безизносная вырубочная плита. Ее рабочая поверхность состоит из щетиннообразных волокон одинаковой длины, скрепленных пластинами и стержнями, и установленных перпендикулярно к опорной поверхности. В процессе вырубания лезвие резака соскальзывает с торцевой поверхности волокон и проникает между ними, не вызывая износа рабочей поверхности плиты.

При оценке качества работы вырубочного прессы с консольным ударником установлено /29/, что вероятность появления бракованных деталей обуви зависит от точности поворота ударника из исходного положения к вырубочной плите. Если ударник устанавливается точно по оси вырубочной плиты, удар наносится равномерно по всему периметру резака и при этом происходит полное вырубание детали обуви. Если ударник не доходит до заданного положения, то возможны случаи, когда он воздействует на отдельные части резака неравномерно, вследствие чего полное вырубание детали обуви за один удар может не происходить, а при повторном цикле появляется вероятность получения бракованной детали.

1.1.2 Процессы резания материалов при измельчении отходов

Измельчение отходов обувного производства резанием осуществляется, как правило, на установках роторного типа, которые характеризуются сравнительно низкой производительностью, высокой энергоемкостью, а также большой установочной мощностью привода /89/. Объясняется это тем, что в применяемом оборудовании, например, измельчителе типа ИПР – 450 м, резание материалов осуществляется таким образом, что действительный угол резания равен углу заточки инструмента и его невозможно регулировать.

Как известно, резание происходит за счёт относительного перемещения режущего инструмента и разрезаемого материала. В измельчителе типа ИПР-450 м угол наклона режущей кромки β к поверхности разрезаемого материала прямой, и поэтому плоскость резания совпадает с плоскостью образования угла заострения ножа α_z . Следовательно, угол резания равен углу заточки $\alpha_p = \alpha_z$.

При изменении угла β наклона режущей кромки относительно поверхности материала происходит изменение угла резания в зависимости от

Определим соотношения между углами заострения и резания при различных направлениях относительного движения. На рисунке 1.3 а показана схема резания при относительном движении в горизонтальной плоскости.

Треугольник AB_1C_1 лежит в плоскости определения геометрического угла заострения α_z , а треугольник ABC – в плоскости резания. Эти две плоскости образуют угол γ , а треугольники имеют общую вершину в точке A .

Из схемы на рисунке 1.3 а:

$$\operatorname{tg} \alpha_z = B_1C_1 / AC_1, \quad \operatorname{tg} \alpha_p = BC / AC = B_1C_1 / AC,$$

$$\text{но } AC_1 = AC \cdot \cos \gamma$$

$$\text{Следовательно,} \quad \operatorname{tg} \alpha_p = \operatorname{tg} \alpha_z \cdot \cos \gamma$$

Так как, $\gamma = (90^\circ - \beta)$, то

$$\operatorname{tg} \alpha_{p_1} = \operatorname{tg} \alpha_z \cdot \cos(90^\circ - \beta) \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \alpha_p = \operatorname{tg} \alpha_z \cdot \sin \beta \quad (1.7)$$

При относительном движении в вертикальном направлении те же плоскости образуют угол γ , который в данном случае соответствует углу наклона β , поэтому

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \operatorname{tg} \alpha_z \cdot \cos \beta \quad (1.8)$$

Анализ зависимостей (1.7) и (1.8) показывает, что угол резания может принимать значения в пределах $0 < \alpha_p \leq \alpha_z$.

Угол резания принимает свое максимальное значение при крайних величинах угла наклона, когда $\beta = 90^\circ$ и $\beta = 0^\circ$, усилие резания при этом наибольшее. При вертикальном относительном движении существенное уменьшение угла резания α_p , а вместе с ним и снижение усилия резания, происходит при больших значениях угла наклона β . Так, если $\alpha_z = 20^\circ$, то при $\beta = 30^\circ$ $\alpha_p = 17^\circ 30'$, а при $\beta = 60^\circ$ $\alpha_p = 10^\circ 20'$. С дальнейшим увеличением угла β угол резания становится еще меньше [48].

При горизонтальном относительном перемещении наблюдается обратная картина – уменьшение угла резания происходит при уменьшении угла β . Так, при $\alpha_3 = 20^\circ$ и $\beta = 60^\circ$ значение угла α_p снижается на $2-3^\circ$, а при $\beta = 30^\circ$ угол α_p становится меньше почти в два раза.

Рабочий угол в простом резании, как было показано, при действующих углах β практически мало отличается от угла заострения инструмента. Существенного уменьшения угла резания можно добиться при сложном резании, когда режущему инструменту, кроме рабочего движения, сообщается еще и дополнительное перемещение.

При резании материала только в горизонтальном направлении со скоростью U_r режущая кромка образует с материалом прямой угол и рабочий угол α_p равен углу заточки α_3 (рисунок 1.4). Если нож движется вниз, за время t точка A вершины кромки пройдет путь, равный $S = U_r \cdot t$. Если путь будет равен AA_2 , тогда $AA_2 = U_r \cdot t$.

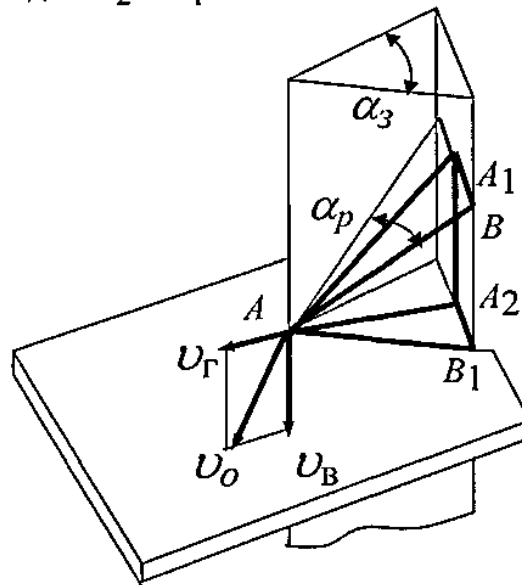


Рисунок 1.4 – Схема трансформации рабочего угла при сложном резании

Из прямоугольного треугольника AA_2B находим:

$$AA_2 = A_2B_1 / \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} \quad \text{или} \quad U_r \cdot t = A_2B_1 / \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}.$$

При одновременном движении ножа в вертикальном направлении со скоростью U_B и в горизонтальном со скоростью U_Γ точка A за то же время t пройдет путь AA_1 , а ее скорость будет равна

$$v_o = \sqrt{v_o^2 + v_\Gamma^2} \quad (1.9)$$

Как видно из схемы на рисунке 1.4, направление вектора результирующей скорости U_O зависит от соотношения скоростей U_Γ и U_B , а оно определяет положение плоскости, в которой производится измерение угла резания.

Длина пути S_2 при этом будет равна:

$$S_2 = AA_1 = v_o \cdot t.$$

Из прямоугольного треугольника AA_1B найдем:

$$AA_1 = A_1B / \operatorname{tg} \frac{\alpha_p}{2} = v_o \cdot t.$$

Так как в обоих случаях продолжительность времени одинакова, то:

$$\frac{S_2}{v_o} = \frac{S_1}{v_\Gamma} \quad \text{или} \quad \frac{A_1B}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_p}{2} \cdot v_o} = \frac{A_2B_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} \cdot v_\Gamma}.$$

В треугольниках AA_1B и AA_2B_1 стороны A_1B и A_2B_1 равны, поэтому:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_p}{2} \cdot v_o = \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} \cdot v_\Gamma,$$

$$\text{откуда} \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha_p}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} \cdot \frac{v_\Gamma}{v_o} \quad (1.10)$$

Так как $v_\Gamma < v_o$, то $v_\Gamma / v_o < 1$ и поэтому, если нож имеет и горизонтальное, и вертикальное перемещение, как например, при пилении, угол резания всегда меньше угла заострения.

Таким образом, в общем виде изменения угла резания при сложном движении определяются соотношением скоростей, углом заострения, углом

наклона режущей кромки и направлением относительного движения. С учетом угла β выражения для определения угла резания имеют вид:

при рабочем относительном движении в горизонтальном направлении

$$\alpha_p \approx \alpha_z \cdot \sin \beta \cdot \frac{v_\Gamma}{v_o},$$

при рабочем относительном движении в вертикальном направлении

$$\alpha_p \approx \alpha_z \cdot \cos \beta \cdot \frac{v_\Gamma}{v_o}.$$

Выразив отношение скоростей $\frac{v_\Gamma}{v_o}$ через коэффициент K , получим:

для горизонтального движения

$$\alpha_p \approx \frac{\alpha_z \cdot \sin \beta}{\sqrt{1 + K^2}}, \quad (1.11)$$

для вертикального движения

$$\alpha_p \approx \frac{\alpha_z \cdot \cos \beta}{\sqrt{1 + K^2}}. \quad (1.12)$$

Анализ последних выражений показывает, что с увеличением коэффициента K происходит существенное уменьшение угла резания.

Так, если $\alpha_z = 20^\circ$ и $\beta = 90^\circ$, то при $K=1$ $\alpha_p \approx 14^\circ$, а при $K=5$ $\alpha_p \approx 4^\circ$.

Наибольшие изменения угла резания происходят при значениях коэффициента K от 0 до 10. По мере увеличения коэффициента K интенсивность уменьшения рабочего угла падает и повышать скорость $v_o > 100 \cdot v_\Gamma$ нецелесообразно, так как угол резания при этом уменьшается незначительно, а расход энергии и инерционные нагрузки увеличиваются.

Кроме того, в результате трения между режущим инструментом и материалом значительно возрастают тепловыделения, которые приводят к термодеструкции срезов, а при резании синтетических материалов происходит либо сваривание слоев, либо инструмент покрывается налетом и теряет режущую способность.

Помимо резания ножом измельчение отходов обувного производства возможно фрезерованием и шлифованием.

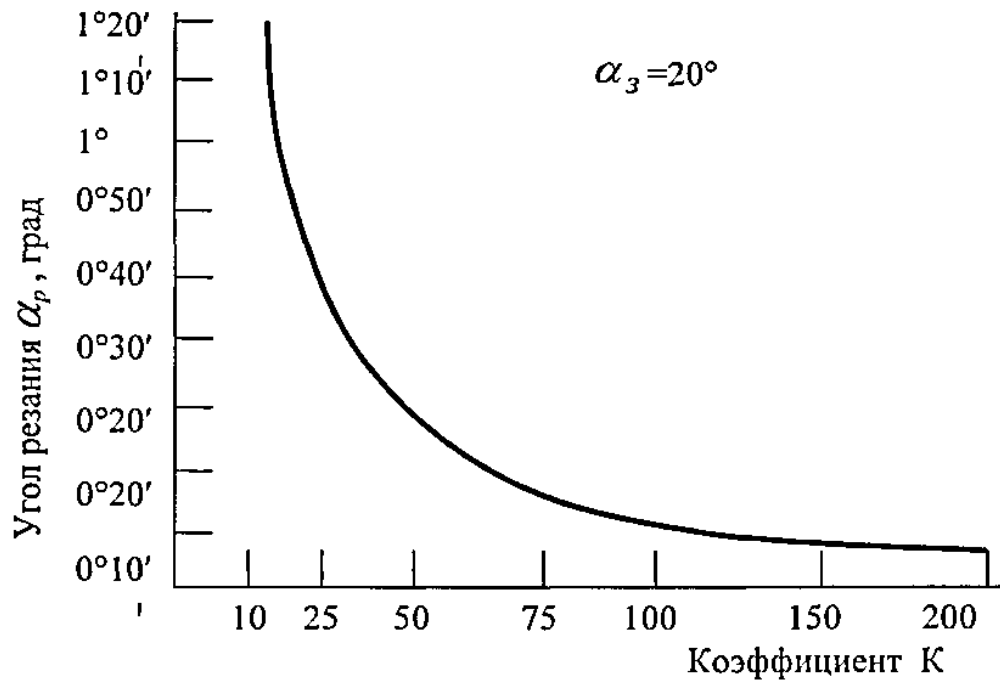


Рисунок 1.5 – Зависимость угла резания α_p от коэффициента K .

Процесс резания материала при фрезеровании можно представить следующим образом (рисунок 1.6). Лезвие фрезы, вращаясь вокруг точки O со скоростью ω , срезает с движущегося на него материала стружку возрастающей толщины. Лезвие входит в материал у точки C и, срезав стружку, выходит из него в точке C_1 , двигаясь по кривой CC_1 [110].

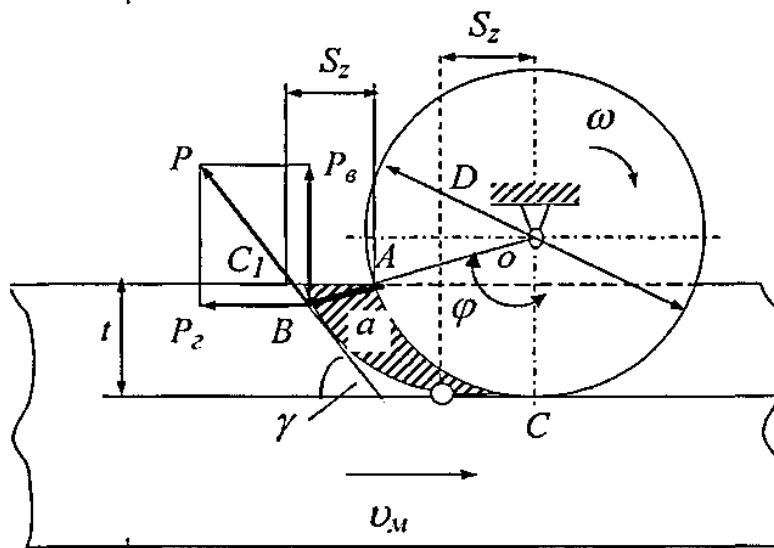


Рисунок 1.6 – Схема фрезерования материала

Усилие резания P в процессе фрезерования изменяет свою величину и направление по отношению к направлению движения материала, составляя с ним угол γ , который имеет максимальное значение при выходе лезвия из материала. Разложив усилие резания P на горизонтальную и вертикальную составляющие

$$P_z = P \cdot \cos \gamma, \quad P_o = P \cdot \sin \gamma,$$

можно видеть, что для увеличения силы P_z , разрушающей материал в плоскости резания, необходимо уменьшать угол γ , т.е. уменьшать толщину стружки, благодаря чему будет уменьшена и сила P_o , деформирующая материал в процессе фрезерования.

Как видно из рисунка 1.6, толщина стружки изменяется от 0 до $a_{\max}$. Максимальная толщина стружки при фрезеровании плоского изделия может быть найдена из $\triangle ABC_1$, в котором

$$AC_1 = S_z = \frac{S_{\min}}{n \cdot z},$$

где S_z - подача материала на один зуб фрезы;

$S_{\min}$ - подача материала в одну минуту;

n, z - частота вращения и число зубьев фрезы.

Тогда

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin \varphi = \frac{S_{\min}}{n \cdot z} \cdot \sin \varphi = \frac{S_{\min}}{n \cdot z} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

Угол контакта зуба фрезы с материалом можно найти из выражения:

$$\cos \varphi = \frac{(R - t)}{R} = 1 - \frac{2t}{D},$$

где t - глубина резания;

R - радиус фрезы.

Следовательно

$$a_{\max} = \frac{S_{\min}}{n \cdot z} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2t}{D}\right)^2} = 2 \frac{S_{\min}}{n \cdot z} \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}}.$$

Пренебрегая малой величиной t^2 / D^2 , получим

$$a_{\max} = 2 \frac{S_{\min}}{n \cdot z} \sqrt{\frac{t}{D}} = 2 \frac{60 v_m}{n \cdot z} \sqrt{\frac{t}{D}},$$

где v_m – скорость подачи материала.

Как следует из этой формулы, уменьшить толщину стружки можно, уменьшая v_m или увеличивая n, z, D .

В процессе фрезерования зуб фрезы преодолевает сопротивление материала R_o , силы давления материала на грани зуба N и N_1 , силы трения материала о грани зуба F и F_1 . Для преодоления этих сопротивлений необходимо в направлении движения зуба фрезы приложить силу P , равную проекциям всех сил на направление скорости подачи материала:

$$P = P_o + N \cdot f + N_1 (f_1 \cdot \cos \beta + \sin \beta),$$

где P_o – сила резания острым лезвием;

f, f_1 – коэффициенты трения материала о грани зуба;

β – угол резания.

Шлифование представляет собой процесс резания, осуществляемый с помощью частиц твердых абразивных материалов (корунда, карборунда и др.), острые грани которых действуют как режущие лезвия. Шлифование обладает рядом особенностей [82]:

высокая скорость резания, достигающая 20 – 50 м/с;

шлифовальный инструмент (круг, головка, брусок) состоит из отдельных зерен, которые в процессе работы снимают стружку переменного сечения;

абразивные зерна в инструменте произвольно ориентированы и поэтому угол резания имеет переменные значения;

в процессе обработки изделия изменять геометрию шлифовального инструмента невозможно, поэтому управлять процессом шлифования значительно труднее по сравнению с другими видами резания материалов;

шлифовальные инструменты обладают свойством самозатачивания, т.е. способностью к выкрашиванию затупившихся зерен, в результате чего в процесс резания постоянно вступают новые неработавшие зерна.

При обработке изделий применяется наружное, внутреннее и плоское шлифование. Последнее производится как периферией, так и торцом круга. Плоское шлифование торцом круга обеспечивает более высокую производительность, так как при этом за один проход обрабатывается большая площадь поверхности. Кроме того, при шлифовании торцом поперечные колебания круга в меньшей мере влияют на рельеф обработанной поверхности в связи с чем обеспечивается более высокая точность и небольшая шероховатость.

1.1.3 Технологии повторного использования отходов обувного производства

Спецификой обувного производства является образование большого количества отходов. Значительная часть отходов еще не нашла применения и вывозится в отвалы, что помимо материальных потерь ведет к загрязнению окружающей среды. Наибольшую опасность представляют такие отходы (стружка, обрезь, пыль), биологическое разложение которых затруднено из-за присутствия дубящих соединений хрома, красящих и жирующих веществ.

Вместе с отходами ежегодно безвозвратно теряются десятки тысяч тонн белкового вещества, значительное количество дубящих соединений, красителей и других веществ.

Ежегодно только на предприятиях системы Росбытсоюза образуется до 200000 тонн неиспользуемых отходов, в состав которых входит хромовая кожа для верха и подкладки, спилки подкладочный, жесткие кожтовары для низа и подкладок, текстильные материалы, натуральные и искусственные меха, картон, резина и другие отходы /90/.

Особенности кожевенного сырья, такие как своеобразная конфигурация и

различная толщина по топографическим участкам, неизбежно приводят к возникновению отходов при его переработке. Отходы кожевенно-обувной промышленности подразделяются на дубленные и недубленные. К недубленным отходам относятся мездра, обрезь гольевая спилковая, сыромятный лоскут, лоскут пергаментных кож, а также нестандартное сырье непригодное для выработки кожевенных изделий. К дубленным белковым отходам относятся стружка кожевенная, обрезь хромовая, хромированная спилковая область, вырубка кожевенная.

Широкое развитие в последние годы приобрело получение волокнистопористых материалов с использованием коротких кожевенных волокон /кожевенной пыли/ в смеси с натуральными и синтетическими волокнами. Эти материалы по гигиеническим свойствам наиболее приближаются к натуральной коже. В США разработано несколько способов получения искусственной кожи, которая по внешнему виду, запаху и на ощупь напоминает натуральную /89/.

Кожевенные волокна распыляют и поляризуют, воздействуя электрическим разрядом или парами растворителя, при этом частицы склеиваются и агрегируются. Затем из смеси экструдируют листы, поверхность которых подвергают тиснению. Полученная таким образом искусственная кожа эластична в широком интервале температур, ударопрочна даже при низких температурах, устойчива к растрескиванию, термостабильна и проницаема из-за множества воздушных ячеек.

Второй способ изготовления кожи из отходов состоит в следующем: из отходов производства натуральной кожи образуют одну пульпу с короткими волокнами и вторую пульпу с длинными волокнами, которые отдельно замораживают, сушат, образуя первый и второй листы, похожие на слежавшуюся кожу. Оба листа соединяют склеивающим веществом. Второй лист разрыхляют и в результате получают регенерированную кожу.

Помимо искусственной кожи в США разработан огнестойкий и прочный конструкционный материал, который получают при взаимодействии

кожевенной стружки с полиизоционатом. Смесь их после гомогенизации отверждают под давлением при температуре 110 °С.

Во Франции ежегодно перерабатывают около 70 тыс. тонн кожевенного сырья, из них 90 % - из кожи хромового дубления /89/. Использование отходов кожевенного производства ведут в следующих направлениях:

- получение искусственных материалов на базе кожевенных волокон;
- производство кормов и удобрений для сельского хозяйства;
- производство желатина, косметических и медицинских препаратов;
- получение тепловой энергии.

В Центре кожи /г. Лион, Франция/ разработан метод получения волокнистого материала под названием DERMOMAT, в состав которого входит кожевенное волокно. Этот материал получают сухим способом. Кожевенное волокно смешивают с синтетическими в соотношении 2:1. Выбор синтетического волокна зависит от назначения материала. Смесь волокон вводят в кардочесальную машину. Сформированный машиной холстик содержит около 60% кожевенных волокон. Несколько таких слоев пропускают через прошивную машину. Далее следует отделка поверхности для повышения устойчивости материала к истиранию и предотвращения отделения волокон.

Материал производится в промышленном масштабе, он используется без покрытия в качестве подкладочного материала, а с покрытием - для верха спортивной обуви, его применяют также для обивки стен и сидений.

В ФРГ применяют ферментативное разложение сырьевой и гольевой мездры, которая содержит в среднем 11 % жира, 6% белка, 2% минеральных веществ и 81% воды. Разработана полностью автоматизированная промышленная установка для переработки отходов производительностью до 30 тонн в день /89/.

Белковый гидролизат не содержит жира, он легко разлагается в аэробных условиях и медленно - в анаэробных, его можно использовать в сельском хозяйстве в качестве удобрения.

В Великобритании кожевенные отходы применяют для изготовления

материала, который используется для подкладки в обуви /69/.

Способ изготовления из кожволокна материала заключается в формировании нетканого материала путем обезвоживания измельченной смеси кожевенных отходов, дубленных минеральными или растительными материалами, и другого волокна длиной 3-40 мм с малым содержанием сухих веществ. Нетканый материал высушивают и пропитывают эластомерной связкой, пропитанный материал подвергают отделке.

Другими используемыми волокнами могут быть волокна синтетические, вискозные, из угаров текстильного материала, асбеста или стекла. В качестве синтетических материалов используют полиамиды, сложные полиэфиры, полипропилен и полиакрилонитрил. Водная смесь может содержать загустки, например метилцеллюлозу, снижающие трение агенты, полисахарид. Эластомерной связкой может быть натуральный или синтетический каучук, тиокаучук, поливинилхлоридный латекс или сополимер бутадиена и аклонитрила. Для повышения гибкости нетканый материал можно пропитать касторовым маслом, глицерином или другим многоатомным спиртом. Пропитанный материал прессуют и полируют для получения гладкой поверхности.

В Японии разработан эффективный способ приготовления из шлифовальной пыли пластических материалов. Пыль нейтрализуют силикатом натрия или гидроксидом натрия и смешивают в пропорции 20-30 частей пыли со 100 частями мочевиноформальдегидной смолы. Полученный материал характеризуется высокими физико-механическими свойствами и небольшим содержанием свободного формальдегида /70/.

Из отходов натуральной кожи получают отходы коротких и длинных волокон, которые после охлаждения в холодильной установке, сушат в вакуумной сушилке. Полученные двуслойные листы кож соединяют, смачивают клеем и на листе из длинных волокон с помощью ворсовальной машины формируют ворс /71/.

В Японии из отходов также получают кожеподобный материал /83/.

Обрезки натуральной кожи измельчают до получения волокнистого порошка с размером частиц 40 мкм и смешивают с порошком термоплавкого клея дисперсностью 30 мкм в соотношении 1:1-2. Порошкообразную смесь наносят на основу и подвергают ее горячему прессованию, получая на основе слой из порошка кожи. Этот слой покрывают раствором термопластичной смолы с вязкостью 5000-10000 П, в количестве 5-100 г/м² в пересчете на сухой остаток смолы, при этом влагопроницаемость должна составлять 800 г/см² за 24 часа. После сушки материал обрабатывается давлением.

В Польше в производственном масштабе недубленные отходы подвергают термической обработке под давлением 0,25-0,5 МПа без предварительного измельчения. В результате гидролиза получают кормовую муку с содержанием 50% белка и 15 % жиров. При термической обработке наряду с гидролизом белка происходит разложение токсичных сульфидов, а также вытапливание жира с последующим его отделением.

Получаемый жир пригоден для производства мыла, моющих средств и материалов для жирования кожи. На базе этого жира можно получать катионные и анионные эмульсии для жирования кожи /89/.

В Чехословакии ежегодно образуется до 13 тыс. тонн кожевенной стружки, из них 5,2 тыс. тонн перерабатывается на кожкартон и гидролизат глютина. Проведена серия исследований, посвященных раздублированию, гидролизу и растворению кожевенной стружки.

В Германии производят около 17 млн. м² кож для верха обуви, в том числе 2,5-3 млн. м² из спилка. При переработке кожи на изделия около 20 % ее попадает в отходы. Спилки и отходы используют в следующих направлениях :

- в форме плоского материала, без нарушения природной волокнистой структуры;

- с сохранением волокнистой структуры /использование волокон/;

- в виде его растворов /на уровне молекул коллагена/;

- в виде гидролизатов коллагена непосредственно или после модификации.

По первому направлению применяют спилки, который является значительным резервом кожевенных материалов. Широко используют дублирование спилка с готовой отделочной пленкой из поливинилхлорида или полиуретана. Кроме того, из спилка получают мягкую кожу для низа домашней обуви.

По второму направлению отходы подвергают разволокнению. Из недублированных отходов после переработки можно получать медицинские препараты, оболочки для пищевых продуктов, трансплантаты для медицины, кожеподобный материал.

По третьему направлению - использование на уровне молекул коллагена - его переводят в раствор. Известны способы переведения коллагена в раствор в молекулярной форме или в форме пачек молекул, при этом у них сохраняется способность к реконституции, т.е. вновь образуются фибриллы и микроволокна, что позволяет получать коллагеновые препараты различного назначения (коллагеновые волокна, коллагеновые пленки для трансплантаты).

По четвертому направлению часть коллагеносодержащих отходов подвергают гидролизу, а продукты гидролиза (гидролизаты) - различным модификациям.

Гидролиз может достигать различной степени - от полипептидов до отдельных аминокислот. Классическим примером частичного гидролиза коллагеносодержащих отходов является получение из них клея и желатина.

Из гидролизатов коллагена получают продукты: вспомогательные препараты для крашения (эгализаторы), добавки к шампуням и другой косметике, поверхностно-активные вещества, препараты, используемые в качестве антисептиков и фунгицидов для защиты растений и других целей.

В России, также как и за рубежом, уделяется большое внимание утилизации отходов из кожи. Разработаны и внедрены в производство нормативы выхода отходов при переработке различных видов кожевенного сырья. Усовершенствована методика получения мездрового клея, разработана технология переработки различных отходов, включая раздубливание и

обесцвечивание.

Из дубленых неокрашенных отходов рекомендуется получать осветленный малярный клей или жидкий малярный клей. Осветленный клей можно получать также из окрашенных отходов, применяя обесцвечивание. Предложена методика производства белкового гидролизата из недубленых отходов, муки для удобрений, кормовой добавки, в состав которой входит большой набор аминокислот и микроэлементов. Одним из направлений переработки отходов является щелочной гидролиз с последующим использованием в строительстве, например, в качестве компонента для цементных растворов или связующего для декоративных, теплозвукоизоляционных плит, в гипсовых растворах или керамических плитках [89]. Кожевенные отходы нашли свое применение в производстве поливинилхлоридных пленочных материалов.

Примерно половину кож хромового дубления для верха обуви облагораживают, применяя шлифование или подшлифовывание лицевой поверхности. При этом образуется большое количество кожевенной пыли, содержащей значительный объем гольевого вещества и оксида хрома. Потери в виде пыли при шлифовании полуфабриката составляют до 8 % его массы, что соответствует необратимой потере почти 6 % белковых веществ кожи и пропорциональной потере кожевенного сырья.

Кожевенная пыль может найти применение в ряде производств. Например, ее рекомендуют использовать в качестве наполнителей композиционных материалов на основе каучуков, пластиков, пластмасс. Кожевенная пыль может использоваться и в производстве искусственной кожи. Так, при производстве заменителей велюра кожевенную пыль используют для образования тонкого поверхностного слоя, придающего искусственному материалу велюроподобный вид. Известны примеры использования шлифовальной пыли для отделки тканей, например, хлопчатобумажных, или стекловолокна. На ткань наносят тонкий слой клея, а затем напыляют кожевенную пыль в электростатическом поле. Кожевенную пыль с успехом

можно применять и в качестве наполнителя резиновых смесей на основе различных каучуков. Применение кожевенной пыли в качестве наполнителя резиновых смесей оказывает усиливающее действие.

Такие свойства кожевенной пыли, как гигроскопичность, стойкость к агрессивным средам могут улучшать аналогичные свойства наполненных пылью вулканизаторов. Введение кожевенной пыли в состав резиновых покрытий некоторых видов искусственных материалов может заметно улучшить гигиенические свойства и одновременно понизить стоимость готовой продукции за счет замены некоторых компонентов смесей. Кожевенная пыль является хорошим наполнителем для композиционных материалов на основе каучуков, пластиков, пластмасс. Кроме того, кожевенную пыль вместе с кожевенной стружкой с успехом можно применять в композиции для производства строительных плит. Частичная замена древесного волокна кожевенным резко повышает звуко- и теплоизоляционные свойства этих плит.

1.2 Процессы увлажнения заготовок верха обуви

1.2.1 Классификация способов увлажнения

Операция «увлажнение заготовок верха обуви» является обязательной при изготовлении обуви из натуральных и искусственных кож клеевого, прошивного, сандального, выворотного, строчечно-клеевого, рантового и рангово-клеевого методов крепления. Назначение операции – изменение упругопластических свойств кожи, которое происходит в основном в зависимости от содержания в коже адсорбционной и микрокапиллярной влаги. Способ увлажнения намоканием с последующей пролежкой еще нередко используется для увлажнения заготовок верха обуви специального назначения (рабочей, спортивной), изготавливаемой из кожи тяжелых развесов шкур крупного рогатого скота, обладающей значительной толщиной. Способ не удовлетворяет требованиям современной технологии, так как при этом необходима длительная пролежка заготовок для равномерного распределения

влаги по слоям увлажненной кожи. Кроме того, происходит чрезмерное обводнение отдельных частей заготовок вследствие неравномерного распределения крупных капилляров по топографическим участкам кожи, вымывание некоторых веществ из материала, что приводит к изменению свойств покрытия, ухудшению его внешнего вида, снижению эксплуатационных характеристик и увеличению дополнительных расходов энергии на последующую сушку /1, 43/.

Для ускорения процесса миграции влаги в микрокапилляры применяется предварительная (перед окунанием) выдержка материала в вакууме, что позволяет значительно сократить длительность процесса увлажнения, регулировать степень влажности заготовок, но ликвидировать вымывание водорастворимых веществ при этом не удастся.

Процесс сорбционного увлажнения состоит из подвода увлажняющей среды к поверхности кожи (внешний массообмен), перемещения влаги в виде пара внутри материала и поглощения влаги внутри материала адсорбцией и капиллярной конденсацией (внутренний массообмен).

При сорбционном способе увлажнения обеспечивается равномерное обводнение кожи, так как мелкие и средние капилляры, в которых конденсируется капиллярная влага, распределены равномерно, почти независимо от топографических участков кожи. Основным недостатком сорбционного способа является значительная продолжительность /43/. Кроме того установлено, что при увлажнении сорбционным способом кож додубленных синтанами, наполненных полимерами, происходит неравномерный привес влаги за одинаковые промежутки времени.

Интенсификация внешнего массообмена при сорбционном способе увлажнения может быть осуществлена за счет повышения температуры, влажности и скорости движения влажного воздуха, применения соплового обдува, предварительного вакуумирования.

Интенсификация внутреннего массообмена может быть осуществлена за счет применения осциллирующего режима, введения в увлажнительную среду

активизирующих добавок, изменения механизма переноса влаги внутри материала за счет применения вакуума /55/.

- Интенсификация процесса сорбционного увлажнения за счет режимных параметров – температуры, влажности, скорости обдува имеет естественные пределы. Применение осциллирующего режима увлажнения: более высокой температуры (40 -50 °С) на первом этапе и более низкой (18-20 °С) на втором этапе интенсифицирует процесс сорбционного увлажнения. Такой режим позволяет исключить конденсацию влаги на поверхности заготовок на первом этапе, обеспечить конденсацию водяного пара внутри пористой структуры материала на втором этапе, а также снизить влагопотери перед формованием /101/.

- Применение вакуума при сорбционном способе увлажнения позволяет резко интенсифицировать процесс введения влаги за счет увеличения коэффициента внешней диффузии. Влияние этого коэффициента на скорость сорбции влаги примерно в 100 раз больше влияния коэффициента внутренней диффузии /43 /. При этом способе происходит изменение механизма переноса влаги внутри материала с диффузионного на эффузионный, скорость которого значительно превосходит скорость диффузионного. Данный метод был опробован Т.Ф. Таганцевой /46/ и показал свою целесообразность для увлажнения заготовок верха юфтевой обуви, кожаных деталей верха обуви.

- Особенностью вакуумно-сорбционного увлажнения является не только разрушение водородных связей, но и образование новых между молекулами воды и гидрофильными группами структурных элементов кожи. Причем этот эффект проявляется в большей степени при малых парциальных давлениях паров воды. Некоторые молекулы воды, чаще всего сорбируемые в первый момент из паров при низком парциальном давлении, взаимодействуют с полярными группами, находящимися в молекулах выдубленного коллагена на поверхности структурных элементов кожи, образуют водородные связи и переходят в иммобилизованное состояние /120/. А так как при таком способе увлажнения происходит эффузионный перенос влаги в виде пара с

последующей конденсацией ее только в микрокапиллярах ($r < 0,1 \text{ мкм}$), то эта влага и оказывает существенное влияние на изменения физико-механических свойств кожи.

Контактный (термодиффузионный) способ увлажнения принципиально отличается от рассмотренных выше способов, так как при этом способе влага движется под действием температурного градиента за счет всех трех видов термовлагопроводности (термодиффузии, капиллярной термовлагопроводности, относительной термодиффузии пара и воздуха). Он существенно ускоряет процесс введения влаги по сравнению с сорбционным, но интенсивное тепловое воздействие при температуре 75-105 °С затрагивает связи на уровне микроструктуры кожи, что приводит к нежелательным изменениям.

В связи с широким распространением гигротермических операций при производстве обуви, анализ литературных данных о влиянии влаги на физико-механические свойства кожи дает возможность научно обосновать выбор оптимальных параметров процесса увлажнения, наметить пути его интенсификации на основе создания нового высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего высокую эффективность увлажнения заготовок верха обуви.

В работах /43, 85, 86, 99/ показано, что наличие воды изменяет силы межмолекулярного воздействия, а последнее приводит к ослаблению электростатических связей между боковыми цепями и, практически, к разрыву их под действием теплового движения. Влага также частично ослабляет или даже разрушает единичные электростатические и водородные связи между полярными группами неупорядоченных областей структуры коллагена.

Г.И. Кутянин /99/ указывает на то, что влага ослабляет или разрушает межмолекулярные ван-дер-ваальсовы связи между звеньями цепей.

Влага, выполняя роль пластификатора, облегчает скольжение или перемещение сегментов молекул коллагена, развертывание клубкообразных

сплетений волокон, при деформациях, способствует развитию релаксационных процессов. Так, по данным М.А. Файбишенко, образцы с начальной влажностью 40 % и 60 % отличаются от воздушно-сухих образцов повышенной скоростью релаксации и значительно более низкими напряжениями /154/. Наличие влаги способствует образованию новых связей с более потенциальным барьером, приводящим к фиксации структуры кожи в новом растянутом состоянии.

Однако, чрезмерное увлажнение кожи приводит к снижению ее прочностных свойств, что обуславливается раздвижением элементов структуры кожи под воздействием молекул воды. Поэтому для многих натуральных кож оптимум содержания влаги по показателям предела прочности при растяжении и удлинении при разрыве находится в пределах 30-35 % относительной влажности материала.

1.2.2 Влагоперенос при увлажнении заготовок верха обуви

Натуральная кожа, применяемая при изготовлении верха обуви, относится к типичным коллоидным капиллярно-пористым телам, влага в которых может перемещаться в виде жидкости и пара.

Ю.Л. Кавказовым, А.В. Лыковым /85, 106/ предложена следующая характеристика перемещения влаги в капиллярно-пористых телах:

- перемещение в микрокапиллярах;
- перемещение в макрокапиллярах;
- перемещение конденсированной влаги в капиллярах;
- перемещение в адсорбированном слое.

Перенос влаги в микрокапиллярах может происходить в виде жидкости и пара и описывается уравнением /101/:

$$j = j_2 + j_1 = (-a_{2k} + k_{nl}) \cdot \rho_o \cdot \nabla u + k_{nl}^T \cdot \rho_o \cdot \nabla T - a_{1\vartheta} \cdot \rho_o \cdot \nabla u - a_{1\vartheta}^T \cdot \rho_o \cdot \nabla T, \quad (1.13)$$

где a_{2k} - коэффициент диффузии жидкости в коллоидном теле, отнесенный к разности влагосодержаний;

k_{nl} , k_{nl}^T - коэффициенты соответственно изотермического и неизотермического пленочного движения жидкости;

ρ_o - плотность абсолютно сухого тела;

∇u , ∇T - градиенты соответственно влагосодержания и температуры;

$a_{1\vartheta}$, $a_{1\vartheta}^T$ - коэффициенты соответственно эффузии и термической эффузии пара в пористом теле.

Первые два слагаемых приведенного уравнения характеризуют перенос жидкообразной влаги диффузионным путем (вязкое течение Пуазейля), а третье и четвертое – перенос влаги в виде пара эффузией (Кнудсеновская диффузия).

Значения $a_{1\vartheta}$, $a_{1\vartheta}^T$ соответственно равны:

$$a_{1\vartheta} = \frac{l}{\rho_o} \cdot 1,064 \cdot r_\vartheta \cdot \sqrt{\frac{M_1}{R}} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)_T; \\ a_{1\vartheta}^T = 1,064 \cdot r_\vartheta \cdot \sqrt{\frac{M_1}{R}} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)_u \cdot \frac{l}{\rho_o}, \quad (1.14)$$

где r_ϑ - эквивалентный радиус молекулярного течения пара;

M_1 - молекулярная масса пара;

R - универсальная газовая постоянная.

Перенос жидкообразной влаги в макрокапиллярах при неизотермических условиях описывается уравнением:

$$j_{2кап} = -a_{2кап} \cdot \rho_o \cdot \nabla u - a_{2кап}^T \cdot \rho_o \cdot \nabla T,$$

где $a_{2кап}$, $a_{2кап}^T$ - коэффициенты капиллярной диффузии и термодиффузии жидкости.

$$a_{2kan} = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{4\eta_2 \cdot r^2 f_s(r)} \cdot \int_{r_0}^r r^2 \cdot f_s(r) \cdot dr, \quad (1.15)$$

$$a_{2kan}^T = \frac{\rho_2 \cdot \cos \theta \cdot d\sigma}{4 \cdot \rho_0 \cdot \eta_2 \cdot r \cdot dT} \cdot \int_{r_0}^r r^2 \cdot f_s(r) \cdot dr, \quad (1.16)$$

где ρ_2 — плотность жидкости;

σ — коэффициент поверхностного натяжения;

θ — угол смачивания;

η_2 — вязкость жидкости;

$f_s(r)$ — дифференциальная кривая распределения поверхностной пористости тела по радиусу пор.

В макрокапиллярах помимо диффузионного и эффузионного переноса пара имеет место видимое (конвективное) движение, обусловленное гидродинамическим тепловым и диффузионным скольжением. Суммарный поток пара равен:

$$j_1 = -a_{1kan} \cdot \rho_0 \cdot \nabla u - a_{1kan}^T \cdot \rho_0 \cdot \nabla T, \quad (1.17)$$

где a_{1kan} , a_{1kan}^T — соответственно коэффициенты диффузии и термической диффузии паровообразной влаги в капиллярно-пористом теле.

$$a_{1kan} \cdot \rho_0 = \left\{ \frac{\varepsilon_1 \cdot D_{12} \cdot M_1}{RT \cdot (1 - \rho_{10})} \cdot \left[\left(\frac{M_1 \cdot \rho_{10} \cdot k_{\partial c}}{M \cdot k_p} \right) \right] + \frac{\varepsilon_1 \cdot k_{\partial \phi \phi}}{\sqrt{T}} \right\} \cdot \left(\frac{\partial P_1}{\partial u} \right) \quad (1.18)$$

$$a_{1kan}^T \cdot \rho_0 = \frac{\varepsilon_1 \cdot D_{12} \cdot M_1}{RT \cdot (1 - \rho_{10})} \cdot \left(\frac{M_1 \cdot \rho_{10} \cdot k_{\partial c}}{M \cdot k_p} \right) \cdot \left(\frac{\partial P_1}{\partial T} \right)_u + \varepsilon_1 \cdot k_{\partial \phi \phi} \cdot \left(\frac{\partial P_1 / \sqrt{T}}{\partial T} \right)_u - \frac{A \cdot \rho_{10} \cdot k_{m.c}}{k}, \quad (1.19)$$

где ε_1 — коэффициент, характеризующий сопротивление переносу пара;

D_{12} - коэффициент диффузии пара в жидкость;

ρ_{10} - градиент относительной концентрации;

$k_{\partial.c}$, $k_{m.c}$ - соответственно коэффициенты
диффузионного и теплового скольжения;

$k_{эфф}$ - коэффициент эффузионного движения;

k_p - коэффициент общего давления;

p_1 - парциальное давление пара.

Таким образом, влагоперенос в коллоидных капиллярно-пористых телах описывается уравнением:

$$j = -a_m \cdot \rho_o \cdot \nabla u - a_m^T \cdot \rho_o \cdot \nabla T = -a_m \cdot \rho_o (\nabla u + \delta \cdot \nabla T), \quad (1.20)$$

где δ - относительный коэффициент термодиффузии.

$$\delta = \frac{a_m^T}{a_m}$$

Коэффициенты a_m , a_m^T и δ соответственно равны:

$$a_m = a_{m_{\text{кан}}} + a_{m_k}, \quad a_m^T = a_{m_{\text{кан}}}^T + a_{m_k}^T$$

$$\delta = \frac{\delta_{\text{кан}} \cdot a_{m_{\text{кан}}} + \delta_k \cdot a_{m_k}}{a_{m_{\text{кан}}} + a_{m_k}},$$

где $a_{m_{\text{кан}}}$, $a_{m_{\text{кан}}}^T$ - коэффициенты капиллярной диффузии и
термодинамической диффузии влаги;

a_{m_k} , $a_{m_k}^T$ - коэффициенты диффузии и термодиффузии
влаги в коллоидном теле.

Рассмотренные выше коэффициенты равны соответственно:

$$a_{m_{\text{кап}}} = a_{1_{\text{кап}}} + a_{2_{\text{кап}}} ; a_m^T = a_{1_{\text{кап}}}^T + a_{2_{\text{кап}}}^T ;$$

$$a_{m_k} = a_{1_{\text{э}}} + a_{2_k} + k_{\text{пл}} ; a_{m_k}^T = a_{1_{\text{э}}}^T + k_{\text{пл}}^T$$

Перемещение влаги в капиллярах при соприкосновении материала с капельножидкой фазой (или при конденсации водяного пара на стенках капилляров с образованием мениска) происходит под воздействием капиллярных сил, мерой которых является капиллярный потенциал φ_K , определяемый из следующей зависимости /86/:

$$\varphi_K = hg = \frac{2\sigma}{\gamma_{\text{жс}}} \cdot \frac{1}{\rho} , \quad (1.21)$$

где h - высота капиллярного поднятия;

g - ускорение свободного падения;

$\gamma_{\text{жс}}$ - плотность влаги;

ρ - радиус мениска, $\rho = \frac{r}{\cos \theta}$, здесь $\cos \theta$ – косинус краевого угла смачивания.

Для конических капилляров с радиусами менисков ρ_1 и ρ_2 капиллярный потенциал равен:

$$\varphi_K = \frac{2\sigma}{\gamma_{\text{жс}}} \cdot \left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} \right) \quad (1.22)$$

Перемещение молекул воды в адсорбированном слое происходит практически на любой поверхности в микро- и макрокапиллярах, однако ее роль наиболее заметно проявляется только в микрокапиллярах.

В настоящее время нет единой теоретической концепции, основываясь на которой можно было бы получить строгое количественное описание процесса, но накоплен обширный материал и выдвинуто ряд гипотез,

объясняющих отдельные закономерности процесса: диффузия в газовой среде и поверхностное течение протекают параллельно, проницаемость пористых тел за счет поверхностного течения возрастает и, пройдя через максимум, резко падает, что объясняется частичным или полным заполнением пор сконденсировавшимся паром; с уменьшением температуры резко увеличивается вклад поверхностного течения в процесс переноса. По мере адсорбции и конденсации газа на поверхности его плотность может изменяться на 4-5 порядков, в то время как при переходе из газовой в конденсированную фазу коэффициент диффузии молекул снижается минимально на 6 порядков /166/.

Изучению особенностей влагопереноса в натуральной коже и в многослойных полимерных системах посвящены ряд работ /120, 166/, в которых установлено, что при атмосферном давлении механизм паропроницаемости для однослойных и многослойных образцов идентичен и реализуется, в основном, вязким течением Пуазейля, но, наряду с ним, в процессе переноса влаги участвует и молекулярный поток по Кнудсену, который при соответствующих условиях вместе с влагопереносом в адсорбированном слое эффективнее вязкого течения.

Из приведенных выше уравнений и литературных данных следует, что скорость влагопереноса зависит от градиентов влагосодержания и температуры, а все другие термодинамические силы влагопереноса являются их функциями. При соответствующем построении процесса увлажнения градиенты влагосодержания и температуры могут иметь одинаковые направления или противоположные, в первом случае они усиливают скорость движения влаги и ускоряют процесс увлажнения, а во втором случае один градиент тормозит действие другого.

Из анализа приведенных уравнений можно заключить также, что на скорость процесса влагопереноса влияет и механизм переноса влаги. Так, эффузионный механизм переноса пара, скорость которого значительно превосходит скорость диффузионного, ускоряет процесс увлажнения. В связи с

этим, все существующие способы увлажнения различаются как по своей длительности, так и по степени эффективности действия на структуру кожи.

1.3 Процессы транспортирования материалов шнековым конвейером

1.3.1 Краткий анализ научных работ по исследованию шнековых конвейеров

К первым публикациям элементов теории вертикального шнекового конвейера, как транспортирующего устройства, следует отнести работы /44, 45/.

В работе /64/ рассмотрена кинематика и динамика движения как одной, так и массы материальных точек по винтовой поверхности шнека за один его оборот. При этом показан характер перемещения точек относительно спирали шнека и предложена зависимость для определения коэффициента скольжения. В дальнейшем, используя эти положения, автор привел методику расчета возможной производительности шнека за один его оборот.

В статье /61/ предложена формула для расчета производительности вертикального шнекового конвейера. Полученные при расчете численные значения, по словам автора, подтверждаются данными экспериментальных исследований, однако величина расхождений результатов теоретических расчетов и экспериментальных наблюдений не приведена.

Довольно подробно изложена теория вертикального шнекового конвейера в работе /137/. Ее принципиальным отличием от других работ является построение зависимостей на основе принятия за абсолютное движение материала его движение относительно кожуха транспортной установки, а не спирали шнека. Зависимости, построенные на этом принципе, отличаются сложными математическими построениями, что побудило автора сделать ряд приближений и ввести поправочный коэффициент. В работе имеется учет действия центробежной силы и появление на основе этого критических радиуса

и частоты вращения шнека, при которых движение материала вверх отсутствует. В итоге автор предложил расчетные формулы для определения производительности вертикального шнека и потребной мощности. Приведены также рекомендации по конструктивным параметрам как шнека, так и всей транспортной установки. Определенный интерес вызывает заключение автора о том, что обязательным условием для нормальной работы шнекового конвейера является создание избыточного давления в загрузочном отверстии.

Основываясь на результатах действия центробежной силы, автор ввел в формулы для определения производительности шнека и потребной мощности угол γ , заключенный между векторами абсолютной и окружной скоростей движения частицы материала, но не привел методику определения этого угла, вследствие чего рекомендуемые зависимости не имеют практического значения.

В работе /62/ рассмотрены закономерности движения материальной точки по винтовой поверхности шнека в зависимости от угловой скорости последнего. В итоге было предложено условие для движения точки вверх, которое отражает, по сути дела, критическую частоту вращения шнека.

Авторы привели формулу для определения оптимального, по вертикальной скорости подъема частиц, угла подъема спирали при заданных коэффициентах трения материала о шнек и кожух, радиусе и угловой скорости шнека.

А.М. Григорьев и Б.В. Шитиков в работе /63/ показывают на примере определение методом подбора угла γ и, следовательно, скорости v_o подъема частиц вдоль оси шнека. Разрешение вопроса об определении угла γ явилось существенным вкладом в развитие теории вертикального шнека.

Е.М. Гутьяр в работе /64/ изложил достаточно стройную теорию вертикального шнека, включающую движение транспортируемой массы, действующие силы, определение производительности шнека и потребной мощности на транспортирование. В работе заслуживает особого внимания

довольно простой метод определения угла γ .

М.В. Мурашов и А.М. Григорьев в работе /116/ при рассмотрении производительности вертикального шнека ввели так называемый коэффициент производительности, математически представляющий произведение коэффициентов скольжения и наполнения. Интерес представляет также замечание авторов работы о том, что производительность шнека в весьма сильной степени зависит от его загрузки. Чем больше частота вращения шнека, тем труднее его загрузка, хотя транспортирующая способность шнека растет со скоростью вращения. При неудачной конструкции загрузочного устройства быстро вращающийся шнек может выбрасывать, а не захватывать загружаемый в него материал и вращаться пустым.

А.М. Григорьев в монографии /60/ обобщил многолетние исследования в области работы транспортных шнеков. В вопросе производительности вертикальных шнеков обращает внимание изложение нескольких методов расчета: с учетом осевой скорости материала, с учетом его относительной угловой скорости и, наконец, с учетом критических радиусов и пассивных областей.

Теоретическая часть работы описывает движение изолированной материальной точки, сплошного потока транспортируемого материала, вопросы производительности и энергетики винтовых конвейеров.

1.3.2 Транспортирование материалов вертикальным шнековым конвейером

Во многих работах, в том числе и в перечисленных выше, рассмотрен процесс перемещения элементарной частицы материала. Попытки теоретического рассмотрения процесса перемещения шнеком объема материала не привели к получению расчетных формул, которые могли бы быть использованы при проектировании шнековых конвейеров с требуемыми характеристиками, так как рассмотрение процесса транспортирования объема потребовало принятия ряда допущений, правомерность которых сомнительна.

Можно считать установленным, что на частицу материала, перемещаемую вертикальным шнековым конвейером, действуют следующие силы (рисунок 1.7) /50/:

сила веса частицы G ;

нормальная реакция со стороны стенки кожуха N_k , равная по абсолютной величине алгебраической сумме сил инерции переносного и относительного движения и силы инерции Кориолиса;

сила трения частицы о стенку кожуха F_k , равная произведению нормальной реакции со стороны стенки кожуха N_k на коэффициент трения материала о стенку кожуха

$$F_k = N_k \cdot f_k; \quad (1.23)$$

нормальная реакция со стороны винтовой поверхности шнека N_u ;

сила трения частицы о винтовую поверхность шнека F_u , равная произведению нормальной реакции поверхности шнека N_u на коэффициент трения материала о шнек

$$F_u = N_u \cdot f_u. \quad (1.24)$$

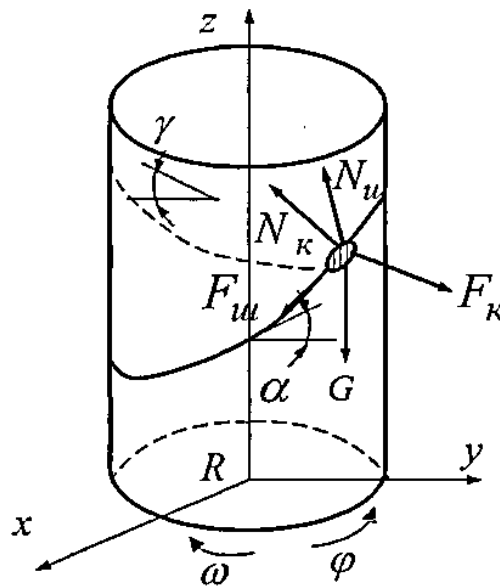


Рисунок 1.7 – Схема сил, действующих на частицу материала

Если шнек не вращается ($\omega_{ш} = 0$), частица материала также неподвижна $\dot{\varphi} = 0$. Условие равновесия частицы на винтовой поверхности шнека имеет вид:

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \ddot{\varphi} = N_{ш} (f_{ш} \cdot \cos \alpha - \sin \alpha), \quad (1.25)$$

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \dot{\varphi} \cdot \operatorname{tg} \alpha = -G + N_{ш} (f_{ш} \cdot \cos \alpha + f_{ш} \cdot \sin \alpha), \quad (1.26)$$

где g – ускорение силы тяжести, $G/g = m$ – масса частицы;

$\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – угловая скорость и угловое ускорение частицы материала относительно шнека.

Очевидно, что частица материала находится в устойчивом состоянии на спирали шнека, если $\ddot{\varphi} = 0$ или если $(f_{ш} \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) > 0$, т.е. $f_{ш} > \operatorname{tg} \alpha$.

Дифференциальные уравнения, описывающие движение частицы материала по спирали шнека, имеют вид:

$$m \cdot R \cdot \ddot{\varphi} = -N_{ш} (\sin \alpha + f_{ш} \cdot \cos \alpha) + \\ + N_{\kappa} f_{\kappa} \cdot \frac{(\omega - \dot{\varphi})}{\sqrt{(\omega - \dot{\varphi})^2 + \dot{\varphi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}}, \quad (1.27)$$

$$m \cdot R \cdot \dot{\varphi} \cdot \operatorname{tg} \alpha = -G + N_{ш} (\cos \alpha - f_{ш} \cdot \sin \alpha) - \\ - N_{\kappa} f_{\kappa} \cdot \frac{\dot{\varphi} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega - \dot{\varphi})^2 + \dot{\varphi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}}, \quad (1.28)$$

$$m \cdot R \cdot (\dot{\varphi} - \omega)^2 = N_{\kappa} \quad (1.29)$$

Время, в течение которого движение частицы материала вверх становится равномерным:

$$\int d\dot{\varphi} = \int_{t_0}^t \ddot{\varphi} \cdot dt,$$

откуда $\dot{\varphi} = \ddot{\varphi} \cdot t - \ddot{\varphi} \cdot t_0$.

Так как $t_0 = 0$, $\dot{\varphi} = \ddot{\varphi} \cdot t$

$$t = \frac{\dot{\phi}}{\omega^2 \cdot f_k \cdot \cos \alpha \cdot (\cos \alpha - f_{\text{ш}} \cdot \sin \alpha) - \frac{g}{R} \cdot \cos \alpha \cdot (\sin \alpha + f_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha)} \quad (1.30)$$

Как видно из формулы (1.30), время, в течение которого движение частицы материала становится установившимся, тем меньше, чем больше угловая скорость шнека и коэффициент трения материала о стенку кожуха. С увеличением коэффициента трения материала о винтовую поверхность шнека и угла подъема винтовой линии время, в течение которого движение частицы материала по шнеку стабилизируется, возрастает.

Расчеты показывают, что движение частицы материала по шнеку становится установившимся за весьма малый промежуток времени (менее 1 секунды), поэтому на практике можно считать этот процесс в целом установившимся.

Перемещение частицы материала вверх по спирали шнека происходит успешно, если угловая скорость или частота вращения шнека больше критической:

$$\omega_{\text{ш}} \geq \sqrt{\frac{g \cdot (\sin \alpha + f_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha)}{R \cdot f_k (\cos \alpha - f_{\text{ш}} \cdot \sin \alpha)}}, \quad (1.31)$$

$$n_{\text{ш}} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot (\sin \alpha + f_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha)}{R \cdot f_k (\cos \alpha - f_{\text{ш}} \cdot \sin \alpha)}} \quad (1.32)$$

Так как при работе шнекового конвейера на спирали шнека находится не отдельная частица материала, а какой-то объем материала, в приведенных выше формулах изменится расстояние R от оси вращения шнека до центра массы транспортирующего материала, что предлагается учитывать коэффициентом K_1 /50/.

Учитывая, что в процессе работы шнекового конвейера заполнение межвиткового пространства составляет порядка 0,2 – 0,4 полезного объема, а сам материал располагается поперек спирали по форме близкой к параболе, значения коэффициента K_1 следует принимать в пределах 0,8 – 0,9.

При транспортировании объема материала силы трения о стенку кожуха имеют максимальные значения на контакте частиц с кожухом. Полагая, что закон снижения этой силы трения может быть близким к прямой линии, учесть это явление возможно посредством коэффициента K_2 , численное значение которого для практических расчетов можно принять равным 0,9 /50/.

С учетом коэффициентов K_1 и K_2 формула для определения минимальной частоты вращения шнека, при которой происходит перемещение материала вверх, имеет вид:

$$n_{min} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot (\sin \alpha + f_{ш} \cdot \cos \alpha)}{R \cdot f_{\kappa} \cdot K_1 \cdot K_2 (\cos \alpha - f_{ш} \cdot \sin \alpha)}} \quad (1.33)$$

Формула (1.33) связывает между собой три основных параметра шнекового конвейера: частоту вращения, радиус (диаметр) и угол подъема винтовой линии.

На основании анализа этой формулы можно сделать вывод о том, что с целью уменьшения минимальной частоты вращения шнека необходимо увеличивать коэффициент трения транспортируемого материала о стенку кожуха и уменьшать коэффициент трения о спираль шнека. Это означает, что внутренняя поверхность кожуха должна быть шероховатой, а рабочая поверхность спирали, напротив, очень чистой. При транспортировании трудноперемещаемых (влажных, пластичных) грузов в них следует добавлять небольшое количество масляных отходов, что позволит уменьшить коэффициент трения материала по спирали. Зная минимальную частоту вращения шнека, можно определить и необходимую окружную скорость:

$$v_{окр} = \pi \cdot n_{min} \cdot R / 60 \quad (1.34)$$

Расчеты, выполненные по этой формуле, показывают, что шнековые конвейеры известных конструкций работают при окружных скоростях порядка 1 – 2 м/с. При больших значениях окружной скорости шнековый конвейер может перемещать материалы в жидком состоянии или работать как водяной насос.

Одним из необходимых условий транспортирования материала шнеком является то, чтобы центробежные силы были способны переместить материал к периферии спирали, где он контактирует с внутренней стенкой кожуха. Если центробежные силы незначительны, шнековый конвейер работает малоэффективно. Данное условие можно записать в виде:

$$F_u \geq F_{ш}, \quad (1.35)$$

где F_u - сила инерции, действующая на частицу материала.

$$F_u = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R \cdot G}{900g} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Минимальная частота вращения шнека по условию создания необходимой центробежной силы равна

$$n_{min}^u \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot f_{ш} \cdot \cos \alpha}{R}} \quad (1.36)$$

Как видно из формулы (1.36), с увеличением угла подъема спирали и коэффициента трения материала о шнек минимальная частота вращения шнека повышется, а с увеличением радиуса (диаметра) шнека — уменьшается, что согласуется с практическими данными.

Если транспортируемый материал удаляется из зоны загрузки неэффективно, происходит его избыточное накопление, что может привести к остановке конвейера. Поэтому необходимо подавать в зону загрузки конвейера столько материала, сколько он способен переместить в единицу времени. Производительность шнекового конвейера может быть определена из выражения /64/

$$Q_{ш}^i = K_з \frac{\pi}{4} (D_{ш}^2 - d^2) \cdot h \cdot n_{ш} \cdot \left(1 - \frac{n_{кр}}{n_{ш}} \right), \quad (1.37)$$

где $K_з$ - коэффициент заполнения материалом межвиткового пространства шнека;

$D_{ш}$ и d - диаметры шнека и его сердечника;

h - шаг навивки спирали;

$n_{кр}$ - критическая частота вращения шнека, при которой начинается перемещение материала по шнеку вверх;

$n_{ш}$ - действительная частота вращения шнека.

Если шнек имеет узкую спираль, то при прочих равных условиях, коэффициент заполнения K_z становится больше и при его величине, близкой к единице, происходит практически полное заполнение межвиткового пространства шнека транспортируемым материалом. При этом могут образовываться так называемые «сальники», препятствующие перемещению материала, вследствие чего происходит либо снижение производительности конвейера, либо его остановка.

Выражение $n_{ш} \cdot \left(1 - \frac{n_{кр}}{n_{ш}}\right)$ - это частота вращения материала

относительно шнека в противоположную сторону и с увеличением ее численных значений возрастает производительность шнекового конвейера.

Как следует из формулы (1.37), производительность шнекового конвейера зависит от ширины спирали, шага навивки спирали и частоты вращения шнека. Нижний предел частоты вращения шнека можно рассчитать по формуле (1.33) при подстановке в нее численных значений коэффициентов трения хорошо транспортируемых сухих, сыпучих материалов, а верхний предел – по этой же формуле при подстановке коэффициентов трения трудно транспортируемых вязких, липких материалов. Что касается ширины спирали, она зависит от величины диаметра шнека и найти ее можно, исходя из практических рекомендаций о том, что диаметр сердечника шнека составляет примерно половину диаметра шнека, т.е.:

$$d \approx 0,5 \cdot D_{ш}.$$

Тогда ширина спирали:

$$b = (D_{ш} - d) / 2 = (D_{ш} - 0,5D_{ш}) / 2 = 0,5D_{ш} / 2 = R_{ш} / 2.$$

Шаг навивки спирали шнека рекомендуется принимать из соотношения:

$$h = (0,5 - 1,0) \cdot D_{ш}.$$

В ы в о д ы:

1. Изучение процесса раскроя деталей обуви на прессах позволило установить, что усилие вырубания зависит от состояния режущей кромки резака, в первую очередь от степени ее затупления, так как даже незначительный износ лезвия приводит к существенному увеличению нагрузки на пресс. Поэтому актуальными для дальнейших исследований являются вопросы изучения способов повышения стойкости резаков.

Вопросом, требующим дальнейшего изучения, является также обеспечение точности работы вырубочного консольного прессы, что может обеспечить повышение надежности его работы, уменьшение расхода энергии при раскрое.

2. Значительную часть отходов обувного производства составляют кожевенные материалы, требующие для дальнейшей переработки предварительного измельчения. Технический уровень используемого для этих целей оборудования не обеспечивает нужного качества измельчения отходов, в связи с чем возникает необходимость совершенствования имеющегося и создания нового технологического оборудования. Для решения этих вопросов необходимы исследования, направленные на оптимизацию конструкций рабочих органов и режущих инструментов, а также поиск новых технических решений, обеспечивающих существенное повышение эффективности процесса измельчения переработки отходов.

3. На основании выполненного анализа установлено, что одним из критериев, определяющих внешний вид и качество обуви, являются формуемость и формоустойчивость заготовок верха, которые зависят от структуры и свойств материала верха, его начальной и конечной влажности, параметров влажно-тепловой обработки, способов увлажнения и формования. Наибольшее влияние на формуемость верха обуви оказывает влага, содержание которой в заготовке зависит от способа увлажнения.

Достижение требуемой степени увлажнения заготовок верха возможно при наименьших затратах времени и средств с использованием вакуумно-сорбционного способа, но для его реализации в обувном производстве необходимо выполнить теоретические и экспериментальные исследования механизма влагопереноса в капиллярно-пористых материалах, определить рациональные режимы увлажнения и разработать рекомендации по проектированию технологической установки.

4. К настоящему времени известно достаточно большое число публикаций по вопросам проектирования и эксплуатации вертикальных шнековых конвейеров в различных отраслях промышленности, в которых многие авторы отмечают, что данные экспериментальных исследований нередко приходят в противоречие с известными теоретическими положениями в таких принципиальных вопросах, как критическая частота вращения шнека, выбор оптимальных шага и ширины спирали, а рекомендуемые аналитические зависимости малоприспособлены для инженерных расчетов. Необходимо также выполнение дальнейших исследований по повышению производительности вертикального шнекового конвейера и уменьшению энергоемкости процесса транспортирования.

2. Методики исследований технологических процессов обувного производства

2.1 Методика исследований процессов раскроя деталей обуви

Увеличение относительной стоимости энергоносителей и, как следствие, увеличение в стоимости готовой обуви доли затрат на изготовление вырубанием деталей верха и низа, делает актуальным вопрос выявления наиболее рациональных схем резания и геометрии инструмента, поиска более эффективных методов раскроя кож, резины, искусственных обувных материалов, и, возможно, новых конструкций вырубочных прессов. Возможности современной измерительной и вычислительной техники позволяют получить более точные экспериментальные оценки процесса вырубания, что весьма важно для поиска технических решений, снижающих затраты электроэнергии при изготовлении деталей обуви.

Для проведения этих исследований разработан и изготовлен экспериментальный стенд на базе вырубочного пресса ПВГ-8-2-0 /28/. Стенд включает следующие измерительные блоки (рисунок 2.1):

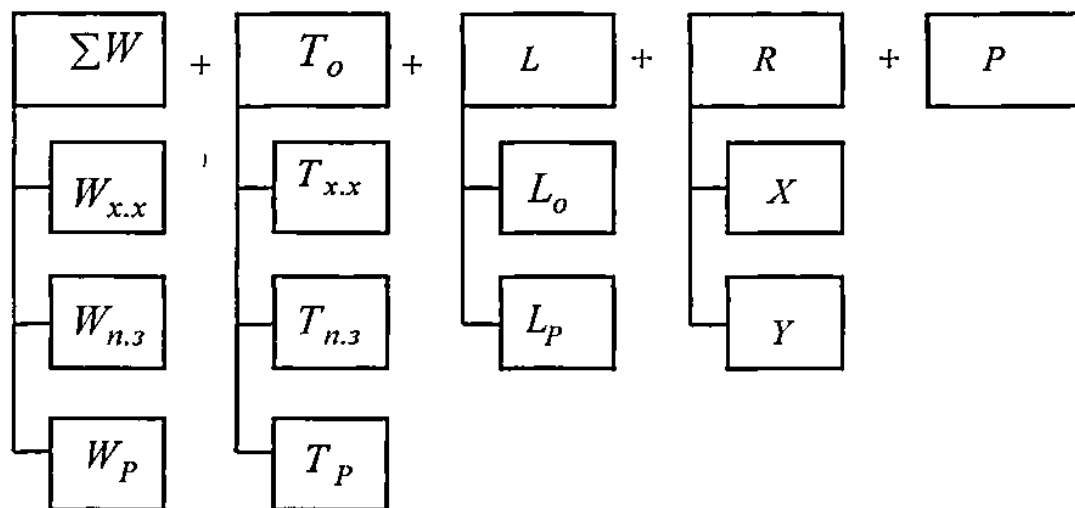


Рисунок 2.1 – Структурная схема стенда

ΣW - блок измерения затрат энергии из сети, включая затраты на работу в холостом режиме $W_{x.x}$, затраты на подготовительно-заключительные операции $W_{п.з}$ (повороты и движения ударника до момента входа резака в материал), затраты на вырубание W_p ;

T_o - блок таймеров, обеспечивающих измерение времени холостого хода $T_{x.x}$, времени на подготовительно-заключительные операции $T_{п.з}$, времени на собственно вырубание T_p ;

L - блок измерения перемещений ударника не в процессе резания L_o , перемещения резака при раскрое L_p ;

R - блок прямого измерения усилия вырубания по вертикальной составляющей Y и по боковой составляющей (на участках резака) X ;

P - блок косвенного определения усилия вырубания по давлению в рабочем цилиндре.

Измерительные устройства включают: стрелочный образцовый ваттметр класса 0,25, самопишущий прибор Н-325-6, блок мультивибраторов, обеспечивающих строб-импульсы для фиксации промежутков времени, линейные измерители перемещений реостатного типа, специальную измерительную плиту, обеспечивающую измерение усилий вырубания до 80 кН с использованием датчиков контактного сопротивления (или тензодатчиков), специальный измерительный резак, обеспечивающий измерение боковой составляющей усилия вырубания, тензометрическую аппаратуру.

Выполненные литературный и патентный обзоры по технике для вырубания деталей обуви, не выявили материалов по стандам с приведенными выше структурой и возможностями. Это, по видимому, объясняется относительно новой функцией разработанного станда, ориентированного на исследование энергоемкости процесса вырубания.

Стенд позволяет определить затраты электроэнергии более точно и достоверно в сравнении с известными измерительными средствами процесса вырубания, как на собственно процесс, так и на работу вырубочного пресса.

Очевидно, что эффективность работы вырубочного пресса и процесса вырубания на нем может быть оценена удельными затратами энергии на изготовление одной детали обуви.

Если $P_{\text{с}}$ – максимальное усилие вырубания, то работу резака по вырубанию можно определить по выражению:

$$A_P = P_{\text{с}} \cdot h / 2,$$

где h – толщина детали.

С другой стороны можно определить работу вырубочного пресса по потребляемой из сети электроэнергии W за время вырубания T_B

$$A_{\Pi} = W \cdot T_B$$

Эффективность процесса вырубания на вырубочном прессе можно оценить коэффициентом удельной (если ввести понятие эталонного резака) энергоемкости или коэффициентом эффективности потребления электроэнергии ν :

$$\nu = \frac{A_P}{A_{\Pi}} \cdot 100\%.$$

2.2 Методики исследований процессов измельчения отходов

Экспериментальные исследования процесса измельчения отходов резанием выполнялись на специальном стенде, схема которого показана на рисунке 2.2. Как видно из схемы, на валу ротора электродвигателя 7 мощностью 7,5 кВт установлен блок шкивов 8, содержащий шесть шкивов разного диаметра. Такой же блок шкивов 9 закреплен на вертикальном валу ротора 10 стенда, только в этом блоке шкивы установлены в

обратной последовательности. Наличие двух блоков шкивов разного диаметра, соединенных клиновым ремнем, обеспечивало возможность регулирования окружной скорости ножей 11, закрепленных на роторе 10.

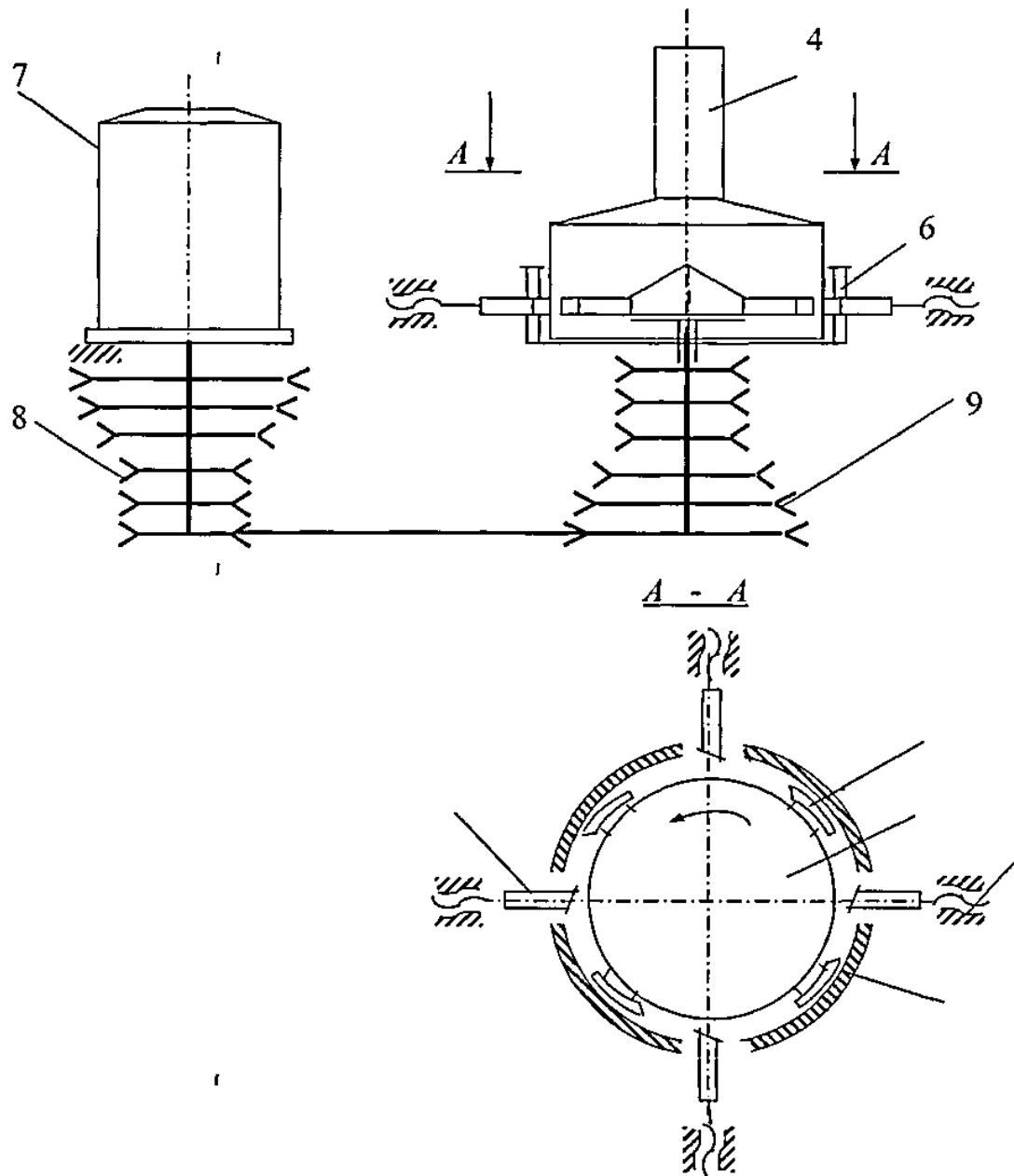


Рисунок 2.2 - Схема экспериментального стенда по измельчению отходов

За счет перестановки клинового ремня на шкивы разного диаметра можно было изменять передаточное число ременной передачи в следующем диапазоне:

$$u_{p.n.} = 2,0; 1,75; 1,50; 1,0; 0,75; 0,50.$$

При этом частота вращения ротора 10 становилась равной:

$$n_{р.} = 485, 554, 646, 970, 1293, 1940 \text{ мин}^{-1}$$

при частоте вращения ротора электродвигателя 970 мин^{-1} , а окружная скорость ножей 11 приобретала следующие значения:

$$U_{о.} = 11,4; 12,7; 14,8; 22,3; 29,7; 44,6 \text{ м/с.}$$

Ножи 11 крепились к ротору 10 болтами, что позволяло при необходимости снимать их и производить переточку или замену. Ножи 12 с помощью винтов 13 можно было перемещать в горизонтальной плоскости для регулирования зазора между ними и ножами 11. Сменные сита 6 выполнены с отверстиями по всей поверхности. Каждое сито имело постоянный размер отверстий, а их диаметр изменялся в диапазоне от 1,5 мм до 20 мм. Сита с нужным размером отверстий устанавливались на стенде до начала процесса измельчения.

Принцип работы стенда состоял в следующем. Отходы, подлежащие переработке, засыпались в загрузочную трубу 4 и попадали на верхнюю конусную поверхность ротора 10. При включении электродвигателя 7 ротор 10 начинал вращаться против часовой стрелки и под действием центробежных сил, а также за счет конусности ротора отходы попадали между ножами 11 и 12, где и происходило их измельчение. Переработка отходов продолжалась до тех пор, пока измельченные частицы материала по размеру становились меньше диаметра отверстий в сменных ситах, после чего через эти отверстия они попадали в специальные мешки, прикрепленные к ситам с наружной стороны. По мере наполнения мешков они снимались со стенда для последующего анализа измельченного материала.

Переработке на стенде подвергались отходы кож хромового дубления различной выработки, оставшиеся после раскроя деталей верха обуви, толщиной 0,95 – 1,6 мм. До проведения экспериментов по измельчению на стенде производились замеры углов заточки ножей 11 и 12, оценивалось состояние их режущей части.

В процессе экспериментов фиксировались частота вращения ротора 10, продолжительность времени измельчения, потребляемая электродвигателем 7 мощность.

Эксперименты по изучению процессов измельчения отходов фрезерованием и шлифованием выполнялись на модернизированном станке типа СММ – Р /3/. Станок предназначен для выполнения следующих операций:

- взъерошивания и шершевания следа и деталей обуви;
- шлифования (стекления) каблучков, набоек, уреза подошв и набоек;
- обработки фронта каблучков;
- выравнивания и сверления каблучков;
- чистки и полировки.

После модернизации на станке появилась возможность выполнять операции по фрезерованию уреза подошвы и каблучков.

Техническая характеристика

Частота вращения шпинделей, мин⁻¹:

фрезерного (шлифовального)	- 6000 (1970)
полировального	- 776
Установленная мощность, кВт	- 0,18

Станок СММ – Р – малогабаритный, настольного типа, состоит из корпуса, шпинделя фрезерного (шлифовального), шпинделя полировального, сменных рабочих инструментов, пылеприемника, привода с электроаппаратурой (рисунок 2.3).

Корпус представляет собой сборно-сварную конструкцию, включающую остов 1, кожух 2 и поддон 3. Шпиндель фрезерный (шлифовальный) 4 служит для закрепления на нем сменных инструментов для фрезерования, шлифования, шершевания, взъерошивания. Шпиндель консольно смонтирован в корпусе с возможностью закрепления сменных инструментов.

Шпиндель полировальный 6 служит для закрепления на нем сменных волосяных щеток и сверлильной оправки. Этот шпиндель закреплен на стойке под фрезерным шпинделем.

Привод шпинделей осуществляется от однофазного электродвигателя 7 через клиноременную передачу, состоящую из клинового ремня 8, охватывающего три шкива. Пылеприемник состоит из приемного раструба 9 и выходного патрубка с фланцем, с помощью которого станок подключается к аспирационной системе.

В процессе экспериментов фиксировались частота вращения шпинделей, время обработки, потребляемая электродвигателем мощность.

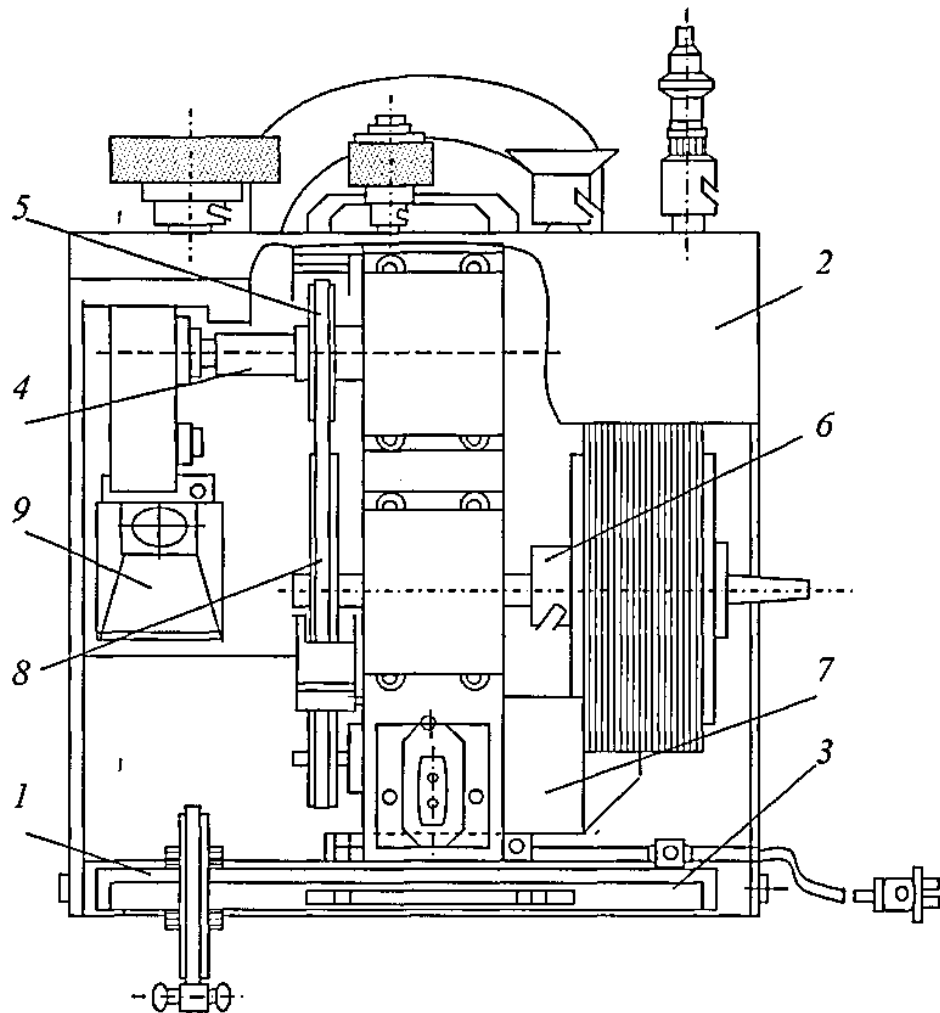


Рисунок 2.3 – Общий вид станка СНМ - Р

2.3 Методика исследований процесса вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви

В качестве объектов исследования использовались кожи хромового дубления для верха обуви толщиной 0,95 – 1,6 мм с эмульсионным покрытием, изготовленные из шкур бычины методом чередующихся половинок на Таганрогском кожевенном заводе по типовой технологии:

кожа хромового дубления, не додубленная синтанамми и не наполненная полимерами;

кожа хромового дубления, додубленная синтетическим дубителем БНС с расходом 5% от массы строганных кож, считая на дубящие;

кожа хромового дубления, наполненная полимером МХ-30 с расходом 5%, считая на сухой остаток полимера;

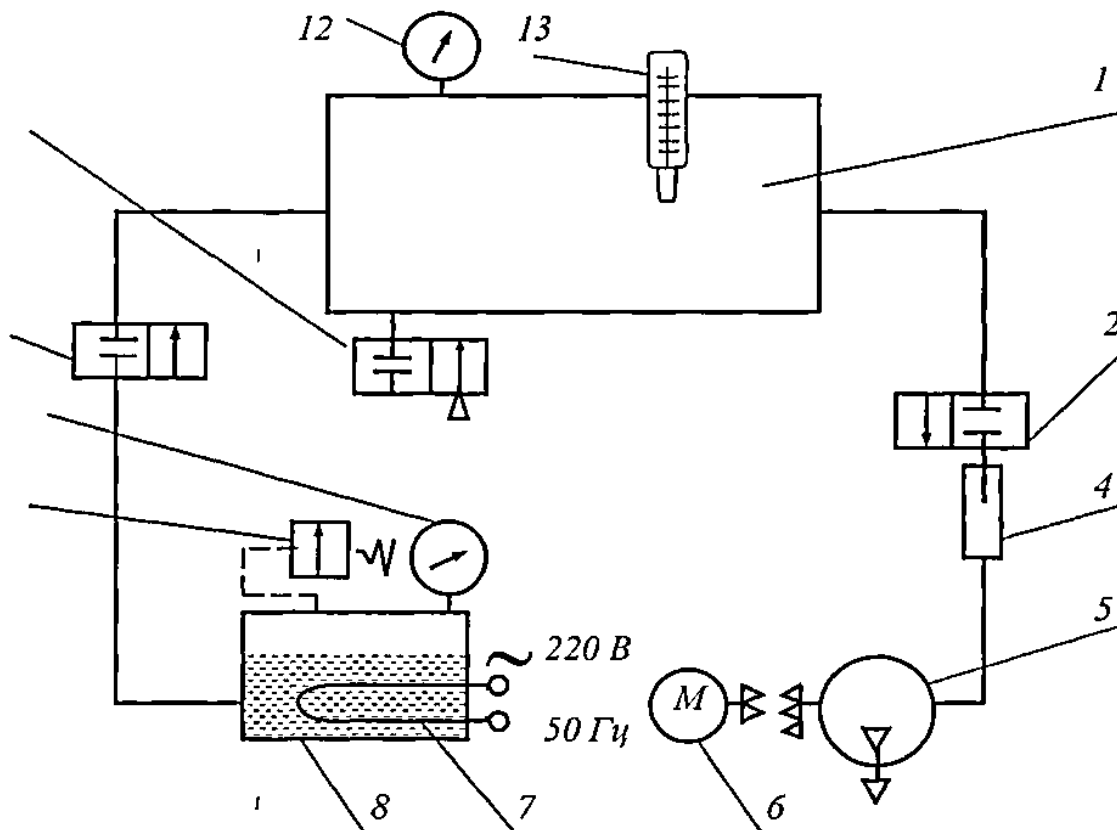
кожа хромового дубления, наполненная полимером МХ-30 с расходом 2,5%, считая на сухой остаток полимера, и додубленная синтетическим дубителем БНС с расходом 2,5%, считая на дубящие.

Исследования кинетики вакуумно-сорбционного увлажнения проводились на лабораторном стенде, который представляет собой камеру объемом 0,09 м³ с герметично закрывающейся крышкой, соединенную через золотник управления, влагофильтр с вакуумным насосом (тип 2НВР-5ДМ, производительность 5л/с, диапазон давления на входе от атмосферного до 0,02 МПа, мощность электродвигателя 0,55 кВт). Для выравнивания давления с атмосферным камера снабжена клапаном напуска воздуха. Для поддержания температуры рабочей среды внутри камеры в ней установлен трубчатый электронагреватель мощностью 1 кВт. Напряжение, подаваемое на ТЭН, регулировалось схемой электропитания стенда. Подача влаги к образцам в камере при исследовании процессов увлажнения осуществлялась двумя способами:

соединением вакуумированной камеры через впускной клапан с отдельным бачком – парогенератором, в котором находилась вода, нагретая в разных опытах до различных температур (рисунок 2.4);

испарением подогретой воды с открытой поверхности емкости с водой, предварительно установленной в камеру (рисунок 2.5).

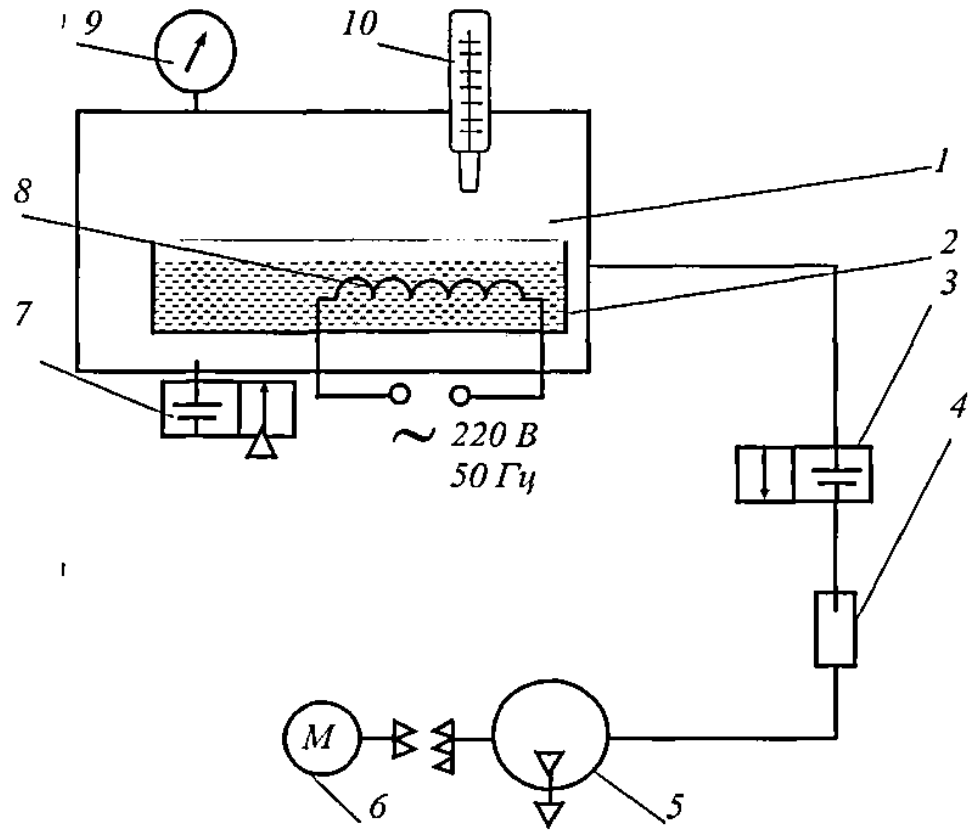
Остаточное давление в камере измерялось вакуумметром типа ВМП, а температура рабочей среды в трех точках, равномерно расположенных по высоте камеры, хромель-копелевыми датчиками диаметром 0,1 мм с выводом на цифровой милливольтметр и самописец. Температура воды в бачке и емкости измерялась ртутным термометром.



- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Камера увлажнительная вакуумная | 7. Электронагреватель |
| 2. Вентиль запорный проходной | 8. Парогенератор |
| 3. Вентиль для впуска пара | 9. Клапан предохранительный |
| 4. Ловушка для улавливания конденсата | 10. Вентиль для впуска воздуха |
| 5. Вакуумный насос | 11. Манометр |
| 6. Электродвигатель | 12. Вакуумметр |
| | 13. Термометр |

Рисунок 2.4 – Принципиальная схема экспериментальной установки с парогенератором

В задачу экспериментального исследования, выполненного на первом этапе, входила разработка таких режимов увлажнения, которые исключают конденсацию пара на поверхности образцов и обеспечивают равномерность увлажнения в пределах 30% относительной влажности.



- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Камера увлажнительная вакуумная | 5. Вакуумный насос |
| 2. Ванночка с водой | 6. Электродвигатель |
| 3. Вентиль запорный проходной | 7. Вентиль для впуска воздуха |
| 4. Ловушка для улавливания конденсата | 8. Электронагреватель |
| | 9. Вакуумметр |
| | 10. Термометр |

Рисунок 2. 5 – Принципиальная схема экспериментальной установки с открытой емкостью с водой

При проведении исследований на этом этапе использовались образцы из кожи хромового метода дубления толщиной 1,0 -1,1мм, выкроенные методом асимметричной бахромы и приведенные к стандартному воздушно-сухому состоянию путем выдержки в эксикаторе, заполненном серной кислотой плотностью 1,27 г/см³.

Чтобы обеспечить меньшее рассеивание разброса показателей и, учитывая, что наиболее трудно формуемая деталь верха обуви – союзка, образцы выкраивались из чепрачной части кожи размером 20х100 мм. Относительная влажность образцов после вакуумно-сорбционного увлажнения определялась по формуле [101]:

$$W = [100(g_2 - g_1) + g_2 W_o] / g_1, \quad (2.1)$$

где W_o - начальная равновесная влажность;

g_1, g_2 - вес образца до и после увлажнения.

Вес образцов до и после увлажнения измерялся на электронных весах с точностью до 0,1 г. Для исключения возможности конденсации пара на поверхности образцов за счет разности их температуры и температуры паровой среды, камера с помещенными в нее образцами предварительно нагревалась до 50 °С, а началом опыта считался момент достижения в увлажнительной камере температуры 60 °С и начального остаточного давления 0,02 МПа. Такие параметры среды обеспечивали насыщенность ее влагой до 100%. Продолжительность опытов составляла 2, 4, 6, 8 минут.

2.4 Методика исследований процессов транспортирования материалов шнековым конвейером

Экспериментальные исследования предполагали изучение процесса транспортирования материалов вертикальным шнековым конвейером. В качестве базового использовался шнековый конвейер известной конструкции, состоящий из шнека и охватывающего его неподвижного кожуха. Для

сравнения применялся шнековый конвейер, у которого кожух получал вращение относительно шнека в противоположную сторону. Задачей экспериментальных исследований являлось определение основных параметров процесса транспортирования в зависимости от частоты вращения шнека и частоты вращения кожуха, ширины и угла подъема спирали, величины зазора между шнеком и кожухом, свойств транспортируемых материалов.

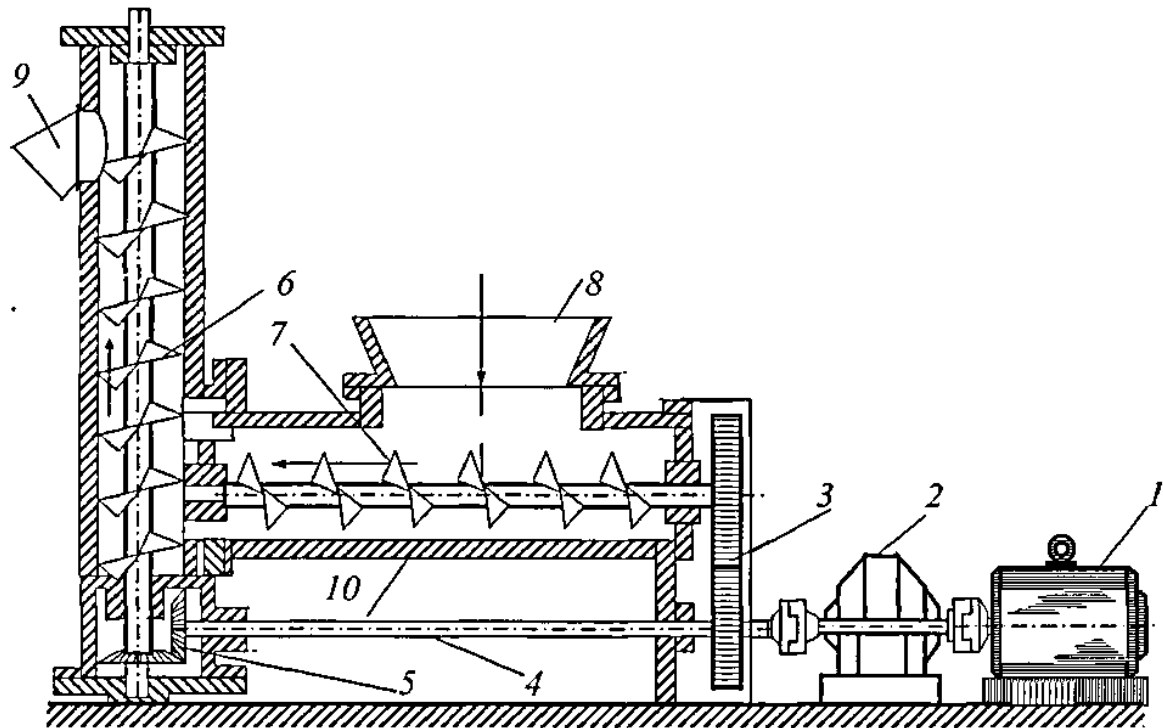


Рисунок 2.6 - Экспериментальный стенд с неподвижным кожухом

Для выполнения экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены специальные лабораторные стенды. На рисунке 2.6 показан экспериментальный стенд, на котором выполнялись исследования шнекового конвейера с неподвижным кожухом. Стенд имел вертикальный шнек 6, который получал вращение от электродвигателя 1, через редуктор 2, горизонтальный вал 4 и коническую зубчатую передачу 5. Загрузка шнека 6 осуществлялась через бункер 8 горизонтальным шнеком 7, который получал вращение также от электродвигателя 1 через редуктор 2 и цилиндрическую зубчатую передачу 3. Выгрузка транспортируемого материала производилась через лоток 9 в мерную емкость. Об эффективности работы шнекового конвейера судили по количеству материала, перемещенного из зоны загрузки

в зону выгрузки. Частота вращения шнека составляла 30, 90, 140, 224, 355 мин⁻¹. Мощность электродвигателя станда – 3,0 кВт при частоте вращения ротора - 1440 мин⁻¹.

Второй экспериментальный стенд был разработан на базе радиально- сверлильного станка модели 2Л-53 (рисунок 2.7), имеющем следующие технические характеристики:

частота вращения шпинделя, мин⁻¹ - 30, 90, 140, 224, 355;

мощность электродвигателя привода шпинделя, кВт - 2,2.

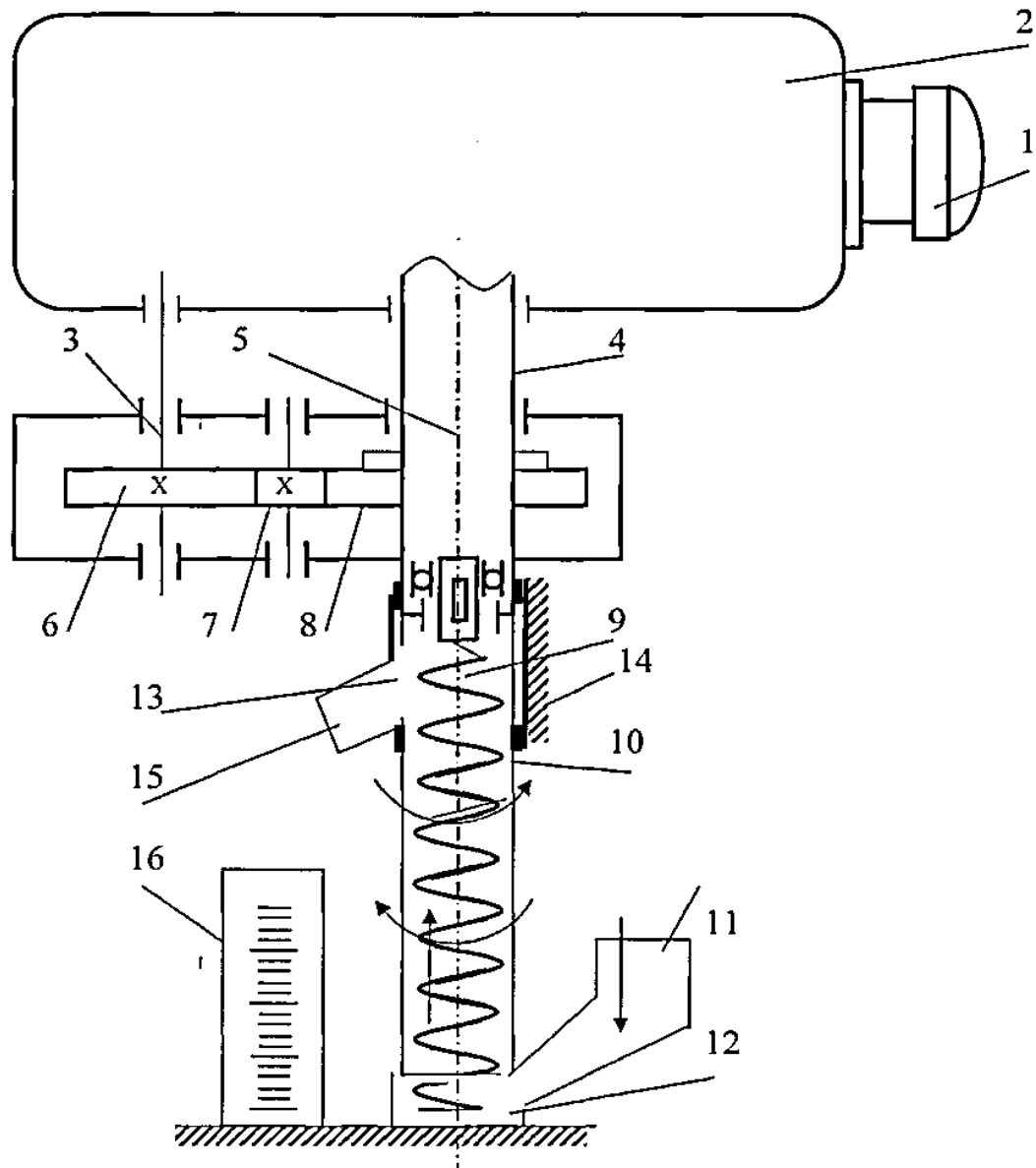


Рисунок 2. 7 – Экспериментальный стенд с вращающимся кожухом

Основным элементом экспериментального стенда являлся вертикальный шнековый конвейер, состоящий из однозаходного шнека 9 и кожуха 10. Главная трудность при проектировании и изготовлении этого стенда состояла в том, чтобы обеспечить привод вращения кожуха в сторону противоположную вращению шнека, а при необходимости иметь возможность выполнять эксперименты при неподвижном кожухе.

Вариант работы шнекового конвейера с кожухом, вращающимся в одном направлении со шнеком, на экспериментальном стенде не имел реализации, так как при такой кинематике, как показал предварительный анализ, можно было ожидать увода конвейера от оси шпинделя экспериментального стенда, что нежелательно. Кроме того, производительность шнекового конвейера при этом существенно меньше, что было доказано при рассмотрении механизма взаимодействия транспортируемого материала со шнеком и кожухом.

Необходимая кинематика работы шнекового конвейера, когда кожух вращается навстречу шнеку, реализована путем отбора крутящего момента от электродвигателя 1, выходного вала 3 коробки подачи 2 шпинделя станка и передачи его на гильзу 4, охватывающую шпиндель станка 5, через дополнительный редуктор со сменными шестернями 6, 7, 8. В дальнейшем вместо зубчатого редуктора использовали цепную передачу со сменными звездочками.

В результате этого экспериментальный стенд обеспечивал следующие соотношения частоты вращения кожуха к частоте вращения шнека

$$\frac{n_k}{n_{ш}} = 0,23; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25; 1,80.$$

При проведении экспериментов шнек 9 получал вращение от шпинделя станка 5, а кожух 10 приводился во вращение гильзой 4. При отключении выходного вала 3 вращение кожуха 10 прекращалось, и эксперименты проводились при неподвижном кожухе. Загрузочное устройство состояло из воронки 11 и неподвижного стакана 12, куда заходила нижняя

часть шнека 9, имевшая вылет по отношению к торцу кожуха 10 на половину витка спирали. Выгрузка транспортируемого материала производилась через окно 13 неподвижного стакана 14 и воронку 15 в мерную емкость 16.

С целью экспериментального изучения работоспособности шнекового конвейера с вращающимся кожухом и возможности его применения для транспортирования материалов, в качестве модели было разработано и изготовлено устройство, показанное на рисунке 2.9. Оно состояло из однозаходного шнека 1 и металлического кожуха 2. Последний имел разгрузочные окна 3 и был посажен на шнек посредством шарикоподшипника 4. Переходник 5 служил для соединения устройства со шпинделем экспериментального стенда.

При проведении опытов кожух либо вращался в сторону противоположную вращению шнека, либо не имел углового перемещения и удерживался от вращения специальным кронштейном. Вылет шнека относительно торца кожуха оставался постоянным и составлял половину шага навивки спирали. В процессе экспериментов использовались кожухи различной формы в поперечном сечении: цилиндрической, гофрированной, в виде шестигранника и др.

С целью изучения процесса захвата материала шнеком в зоне загрузки проводились эксперименты с использованием шнеков, имевших в нижней части короткую 2^x и 3^x - заходную насадку с разным углом подъема спиралей.

При изучении транспортирующих качеств шнекового конвейера с различной кинематикой работы в качестве перемещаемого материала использовался сухой песок, имевший следующие характеристики: степень влажности – 10-15%, насыпной вес – $1,35-1,39 \text{ г/см}^3$, гранулометрический состав – до 2,5 мм, коэффициент трения по стали – 0,32, угол внутреннего трения – $30-31^\circ$.

Критерием эффективности работы шнекового конвейера принимался объем песка, перемещенного в единицу времени, что представляет собой объемную производительность.

Кроме этого, производились замеры потребляемой мощности, аналитическим путем производилось определение коэффициента заполнения межвиткового объема шнека, коэффициента проскальзывания материала относительно шнека.

Замеры потребляемой мощности на холостом и рабочих режимах производились ваттметром типа Д-551. Численные значения коэффициента заполнения межвиткового объема шнека определялись из выражения:

$$K_z = V_n / V_{ми} . \quad (2.4)$$

где V_n - объем песка, находящегося на одном витке спирали шнека;

$V_{ми}$ - межвитковый объем шнека на одном шаге спирали.

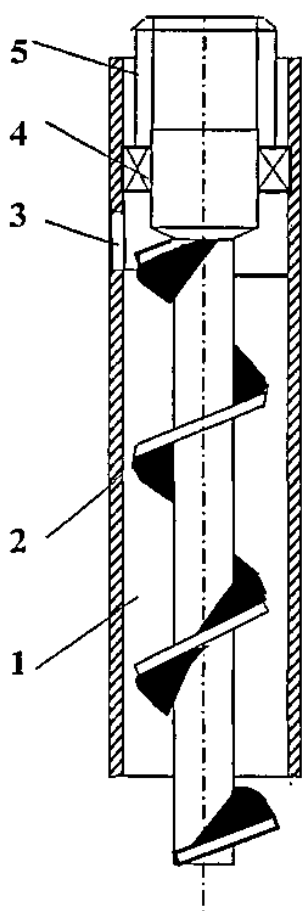


Рисунок 2.8

Схема экспериментальной
модели шнекового конвейера

В ходе экспериментов производилась регистрация следующих параметров: частоты вращения шнека и кожуха, объема песка, засыпанного в загрузочную воронку и перегруженного в мерную емкость, времени транспортирования, потребляемой мощности.

Эксперименты по определению рациональной величины угла подъема спирали шнека (шага навивки спирали) и влияния частоты вращения шнека на его производительность выполнялись на стенде с неподвижным кожухом, эксперименты по установлению рационального соотношения частоты вращения шнека и кожуха - на стенде с вращающимся кожухом.

2.5 Обработка экспериментальных данных

При организации экспериментальных работ и оценке сопоставимости получаемых результатов с теоретическими зависимостями учитывались рекомендации, содержащиеся в литературе [54, 97]. Экспериментально-статистический подход определил использование методов математической статистики [52, 67] и численных методов анализа [111] при обработке полученных данных.

Объем эксперимента определялся по формуле :

$$N = \frac{t^2 \cdot S^2\{Y_i\}}{\xi^2}, \quad (2.5)$$

где N – количество опытов;

t – табличное значение аргумента (при принятой надежности $\beta = 0,95$; $t = 1,96$).

ξ – погрешность определения показателей.

Результаты опытов рассматривались как вариационный ряд и оценивались по величине математического ожидания

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^N Y_i / N, \text{ дисперсии } S^2\{Y_i\} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i^2}{N-1} \text{ и относительной степени рассеивания}$$

$$\text{(коэффициенту вариации)} \quad V = \frac{\sqrt{S^2\{Y_i\}}}{\bar{Y}} \text{ при принятом уровне значимости}$$

$\alpha = 0,05$. Воспроизводимость эксперимента проверялась по G – критерию Кохрена, равному отношению максимальной эмпирической дисперсии к сумме всех дисперсий :

$$G_{\text{Кох}_{\text{опыт}}} = \frac{S^2\{Y_i\}}{\sum_{i=1}^N S^2\{Y_i\}} \quad (2.6)$$

Полученная величина G – критерия сравнивалась с табличной. Для оценки ошибок (выбросов) использовано распределение максимального отклонения:

$$r_{max} = \frac{Y_{max} - \bar{Y}}{S\{Y_i\} \sqrt{\frac{N-1}{N}}} \quad \text{и} \quad r_{min} = \frac{\bar{Y} - Y_{min}}{S\{Y_i\} \sqrt{\frac{N-1}{N}}} , \quad (2.7)$$

где r_{max} и r_{min} - табличные значения критерия выброса;

Y_{max} и Y_{min} - наибольшее и наименьшее значения отдельных результатов.

$$S\{Y\} = \sqrt{S^2\{Y_i\}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{N-1}} - \text{стандарт или квадратичная ошибка опыта.}$$

3. ПРОЦЕССЫ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСКРОЕ ДЕТАЛЕЙ ОБУВИ И ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ОТХОДОВ

3.1 Деформационные свойства кожевенных материалов при сжатии и растяжении

В процессе раскроя деталей обуви и измельчения отходов резанием материалы подвергаются сжатию и растяжению, оказывая при этом значительные сопротивления деформации. Поэтому для обоснованного выбора способа и рациональных режимов резания необходимо знать механические характеристики материалов и законы их поведения при сжатии и растяжении.

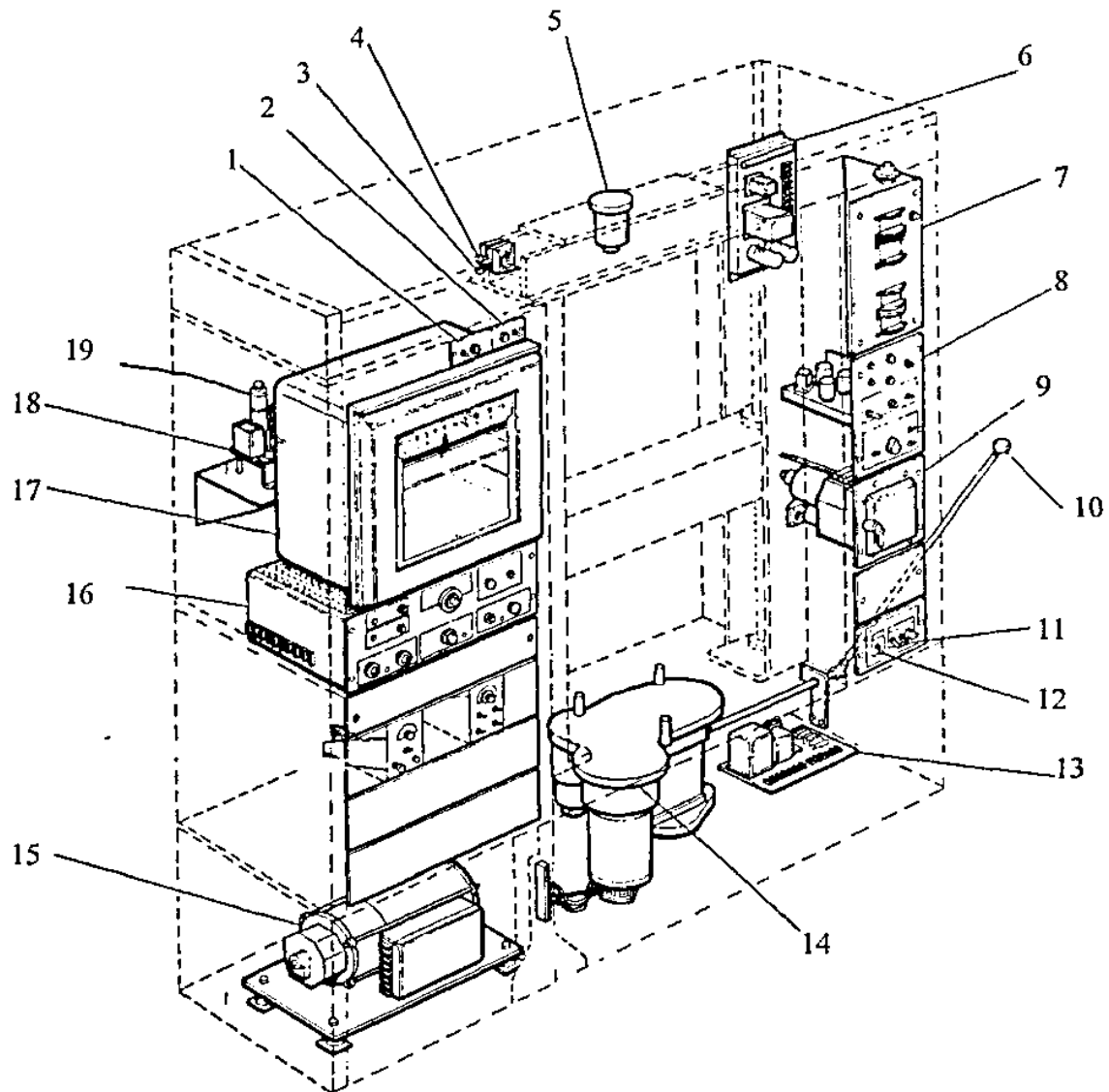
Деформационные свойства кожи при сжатии изучались на универсальной испытательной машине «Инстрон» (рисунок 3.1), на которой имеется возможность с помощью самописца получить диаграммы «нагрузка – деформация» при непрерывном увеличении деформации сжатия образца.

Скорость изменения деформации образца составляла 1мм/мин, что ввиду ее незначительной величины позволяет пренебречь силами вязкого сопротивления материала и тем, самым рассматривать внешнюю силу P в качестве результирующей сил упругости образца, распределенных по площади контакта деформирующего элемента с образцом. Схема нагружения показана на рисунке 3.2, из которого видно, что пуансон 2 закреплен в траверсе 1 и, перемещаясь вниз, создает нагрузку на образец 3.

На рисунке 3.3 показаны графики зависимости между нагрузкой и деформацией образцов кожи (опоек, выросток, полукожчик) при одноосном сжатии. Результаты экспериментов показывают, что большая часть деформации образцов происходит при незначительных нагрузках (участок 1).

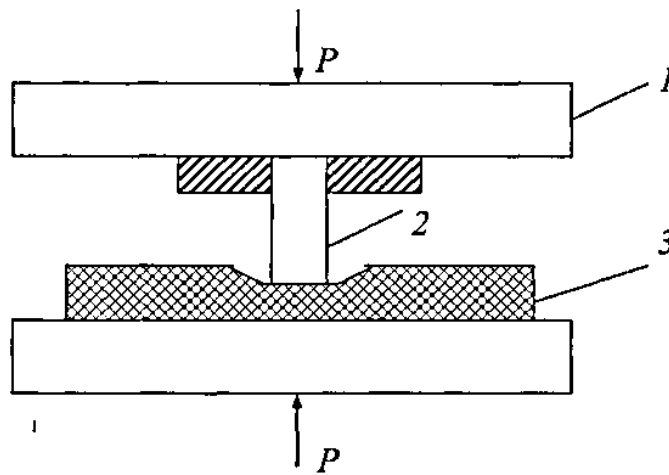
При дальнейшем увеличении нагрузки интенсивность роста деформации существенно уменьшается (участок 2). Так, при увеличении нагрузки от нуля до 50 МПа деформация составила 44%, т.е. в среднем 0,9 – 1,1% на единицу нагрузки. В дальнейшем деформация выросла на 22-33% при увеличении

нагрузки до 250 МПа, а интенсивность роста деформации составила 0,09 – 0,13 %, т.е. стала меньше примерно в десять раз. Объясняется это тем, что с началом деформации происходит уплотнение испытываемого материала, а затем возрастает его жесткость.



1,2 – самописец и пульт его управления; 3,4 – нижний и верхний выключатели; 5 – датчик нагрузки; 6 – сервоусилитель; 7,8 – панель управления ползуном; 9 – синхропривод; 10 – рукоятка; 11,12 – выключатели главного двигателя; 13 – источник питания; 14 – коробка скоростей; 15 – электродвигатель; 16 – усилитель датчика нагрузки; 17 – самописец; 18,19 – усилитель

Рисунок 3.1 - Универсальная испытательная машина «ИНСТРОН»



1 – траверса, 2 – пуансон, 3 – образец кожи.

Рисунок 3.2 – Схема нагружения образца

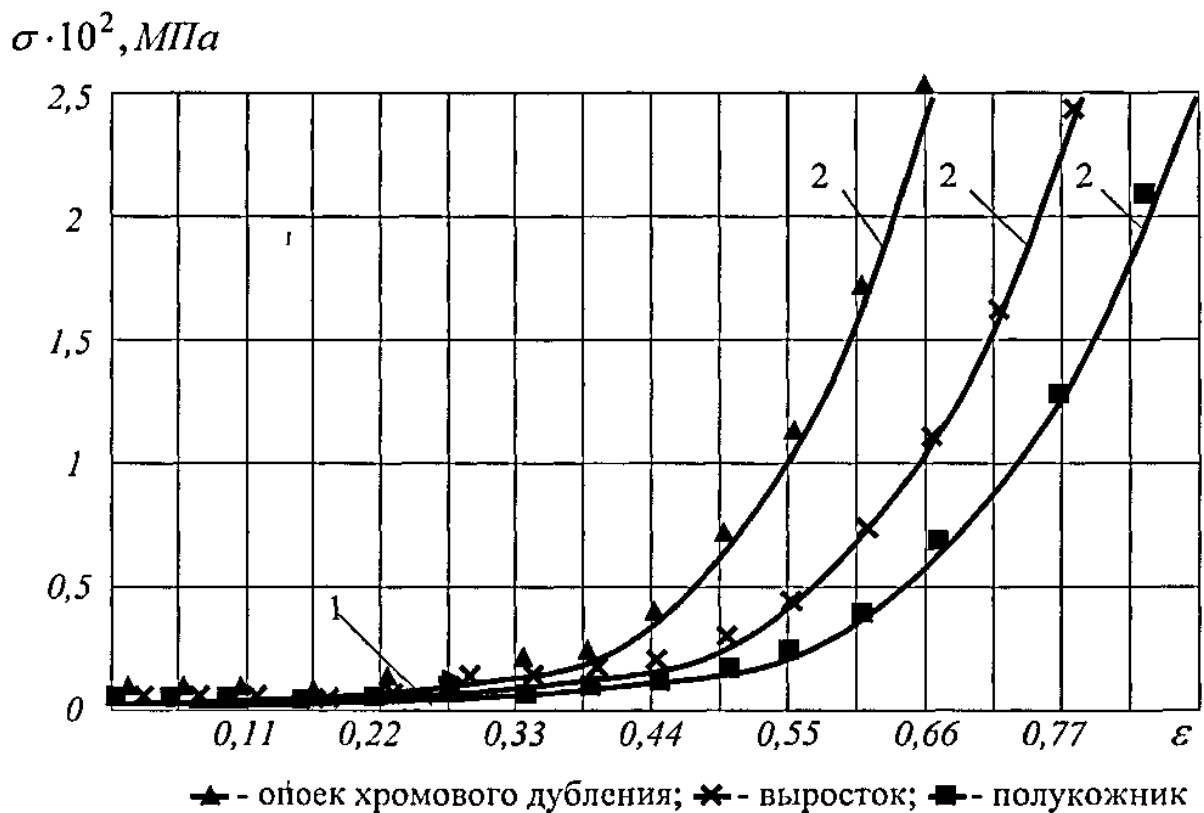


Рисунок 3.3 – Кривые «нагрузка – деформация» при одноосном сжатии

Деформационные свойства кожи при растяжении также изучались на машине «Инстрон». По толщине структура кожи различна, поэтому

кожевенные материалы при испытаниях на растяжение оценивают не по направлению, а по интенсивности нагрузки на единицу длины. Растяжению подвергались стандартные полоски, вырубленные из чепрачной части выростка хромового дубления. Результаты испытаний показаны на рисунке 3.4.

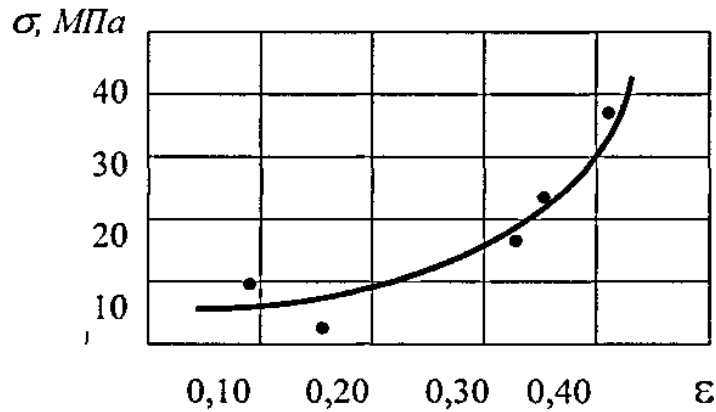


Рисунок 3.4 – Кривая «нагрузка – деформация» при одноосном растяжении

Анализ представленной зависимости показывает, что ее характер совпадает с зависимостями, показанными на рисунке 3.3, но по абсолютной величине напряжения при максимальной деформации растяжения примерно в 5 раз меньше, чем при деформации сжатия.

При раскрое деталей обуви и измельчении отходов резанием происходят высокоскоростные процессы деформирования материалов, что изменяет механические характеристики последних. Динамическое нагружение на большой скорости деформирования вызывает возникновение в материале непостоянных полей неоднородной деформации. Их анализ требует создания модели материала, выбор которой влияет на полученные результаты. В связи с этим, интерес представляют методы исследований, позволяющие, изучить поведение материала. Цель – получение более достоверных данных, адекватных реальному процессу. Поэтому представляют интерес методы исследований, позволяющие изучить поведение материала, определить его деформационные и прочностные характеристики непосредственно из результатов экспериментов без привлечения для анализа априорной модели

материала. Одним из таких методов является известный теоретический подход «составного стержня Гопкинсона» (ССГ), применяемый тогда, когда соблюдается допущение о равенстве напряжений на торцах образца /90/.

Экспериментальные задачи, решаемые методом ССГ, классифицируются следующим образом:

получение динамической диаграммы $\sigma - \varepsilon$;

получение вязкоупругих характеристик материалов на уровне любого варианта модели вязкоупругих свойств;

исследование трещиностойкости при больших скоростях нагружения.

Экспериментальное определение динамических свойств обувных материалов на имеющемся оборудовании обеспечивает во всем реальном диапазоне нагружений получения достоверных механических характеристик. Для выявления таких значений использовалась установка (рисунок 3.5), позволяющая производить ударное нагружение испытуемого образца.

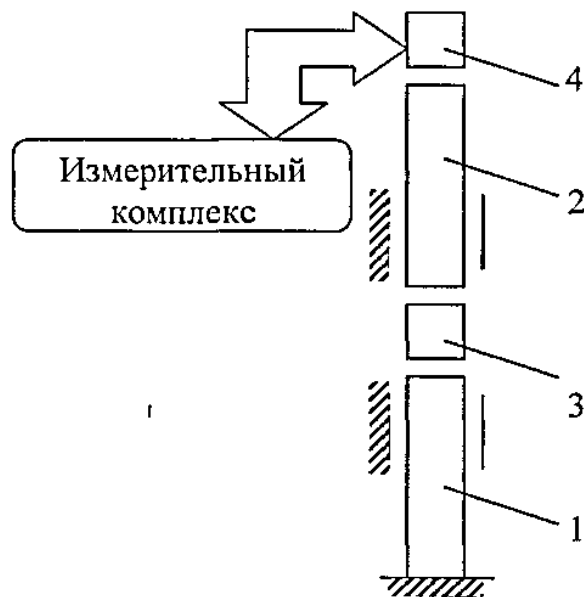


Рисунок 3.5 – Схема установки для динамических испытаний кожи

Два одинаковых призматических стержня 1 и 2 изготовлены из стали с высокими прочностными и упругими характеристиками марки 38 ХМЮГА.

Стержень 1 крепится неподвижно, а стержень 2 – имеет возможность перемещаться в свободном падении по направляющим, достигая заданной скорости движения за счет изменения начальной высоты. Образец 3 устанавливается на неподвижном стержне и при падении стержня 2 воспринимает ударный импульс. Возбуждаемый при этом сигнал передается по каждому из стержней и регистрируется датчиком 4.

Аналитически определить скорость распространения волны в стержне C_p можно по формуле:

$$C_p = \sqrt{E / \rho},$$

где E – модуль Юнга для стали;

ρ - плотность стали.

С другой стороны, экспериментальным путем находится

$$C_s = l / \Delta t,$$

где l – расстояние между датчиками, регистрирующими прохождение ударной волны;

Δt – время прохождения волны.

В принятой системе $x_1(0) = 0$; $x_2(0) = h_0$,

где h_0 - начальная толщина образца.

Текущая толщина образца при деформации

$$h(t) = x_2(t) - x_1(t).$$

Напряжения на стержнях до появления волны и отраженной от конца стержня

$$\left. \begin{aligned} \sigma_u &= -\rho c \frac{dx_2}{dt} \\ \sigma_e &= -\rho c \left(V_0 - \frac{dx_1}{dt} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Преобразуем формулы (3.1)

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_2}{dt} &= -\frac{\sigma_n}{\rho c} \\ \frac{dx_1}{dt} &= V_0 + \frac{\sigma_s}{\rho c} \end{aligned} \right\}.$$

Из закона Гука: $\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t)$ или $\sigma(t) = \rho c^2 \cdot \varepsilon(t)$,

где $\varepsilon(t)$ - относительная деформация стержня, которая измеряется датчиком.

Далее

$$\frac{dh}{dt} = -V_0 - 2 \frac{E \cdot \varepsilon(t)}{\rho c},$$

запишем в виде

$$\frac{dh}{dt} = -V_0 - 2c \cdot \varepsilon(t),$$

и интегрируя по dt , находим

$$h = h_0 - V_0 t - 2c \int_0^t \varepsilon(t) dt.$$

Таким образом, деформация образца:

$$\varepsilon(t) = \frac{h - h_0}{h_0}$$

или

$$\varepsilon(t) = -\frac{V_0 t + 2c \int_0^t \varepsilon(t) dt}{h_0}; -[\varepsilon(t) < 0 \text{ и } \varepsilon_\kappa(t) < 0] \quad (3.2)$$

Следовательно, в эксперименте в каждый момент времени t измеряется напряжение в образце $\sigma(t)$ и соответственно деформация $\varepsilon(t)$.

При реализации предлагаемого способа нагружение образца кожи осуществляется ударным воздействием, т.е. кратковременной импульсной нагрузкой, вызывающей неоднородное напряженное состояние образца.

По закону распространения упругих волн скорость частиц удваивается при отражении от нерабочего торца стержня:

$$2V(t) = \int_0^t a(t) dt,$$

где $a(t)$ – ускорение свободного конца стержня, на котором крепится датчик.

Окончательные формулы для вычисления значений напряжения и деформации:

$$\left. \begin{aligned} \sigma(t) &= \frac{1}{2} \rho_0 c_0 \int_0^t a(t) dt \\ \varepsilon(t) &= - \frac{V_0 t - \int_0^t dt \int_0^t a(t) dt}{h_0} \end{aligned} \right\}. \quad (3.3)$$

Зависимости (3.3) можно использовать при расчетах динамических процессов обработки обувных материалов.

Экспериментальное определение механических характеристик кожи на сжатие при динамическом нагружении показало, что деформация составила в среднем 3,9 – 13,0% на единицу нагрузки, т.е. по сравнению со статическими испытаниями деформация увеличилась в 4,3 – 10,9 раза.

3.2 Влияние изнашивания режущего инструмента на эффективность процесса резания

При раскрое деталей обуви резакom материал сначала прогибается, образуя впадину под лезвием. При этом объемное распространение деформации зависит от структуры материала, его свойств, режима раскроя и состояния

режущей кромки резака. По мере погружения резака деформация материала увеличивается, происходит затягивание слоев, прилегающих к вертикальной грани резака. При этом слои материала, касающиеся наклонной грани, затягиваются вниз и отодвигаются в сторону, что вызывает спрессовывание и уплотнение. Дальнейшее погружение резака в материал сопровождается выпучиванием материала, прилегающего к вертикальной грани. Местное выпучивание свидетельствует о небольшой величине зоны распространения деформации и о незначительности коэффициента объемного сжатия материала. Участки материала, прилегающие к наклонной грани, отодвигаются в сторону и продолжают опускаться, при этом деформация распространяется на большой участок материала. Когда резак погрузится на 80-90% толщины материала, оставшаяся его часть разрывается и раздвигается клином резака [88]. Если же условия процесса резания таковы, что нижний слой материала не разрывается, то удлиняется неразрезанный слой материала и отодвигается одна часть от другой. В обоих случаях, когда лезвие резака достигает до указанной глубины, усилие резания падает по мере дальнейшего продвижения резака в материал.

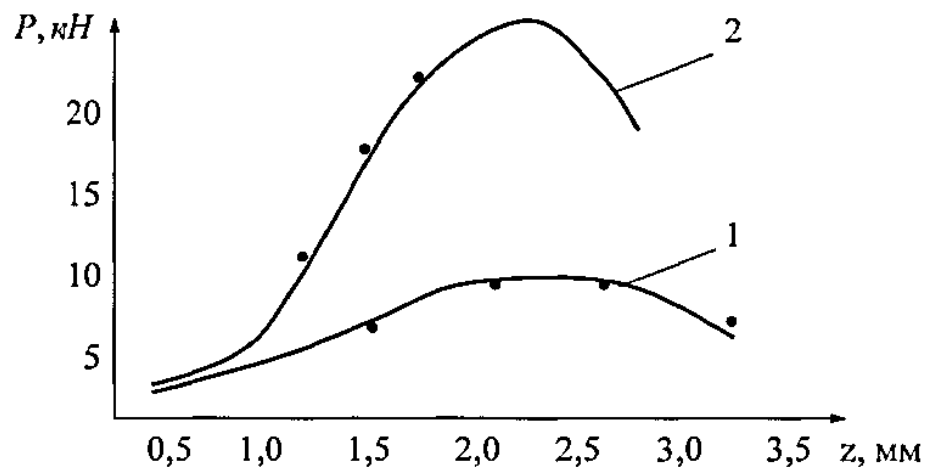


Рисунок 3.6 – Зависимости усилия резания юфти от глубины погружения резака при разных затуплениях режущей кромки:

1 - $\Delta = 0,1$ мм; 2 - $\Delta = 0,5$ мм

Результаты экспериментальных исследований показывают, что величина максимального усилия резания во многом зависит от состояния режущей кромки резака, главным образом, от степени затупления лезвия.

Как видно из рисунка 3.6, при увеличении затупления лезвия резака усилие раскроя значительно возрастает. Так, при резании практически острым резаком ($\Delta = 0,1$ мм) максимальное усилие было равно порядка 6 кН, а при затуплении лезвия до $\Delta = 0,5$ мм оно составило около 21 кН, т.е. увеличилось в 3,5 раза. Отсюда следует, что при раскрое деталей обуви острыми резаками значительно уменьшаются нагрузки на вырубочный пресс и режущий инструмент, повышается их долговечность, снижается уровень шума и вибрации, уменьшается расход энергии. То же самое можно сказать и в отношении режущих инструментов, применяемых при измельчении отходов обувных материалов резанием. Поэтому весьма актуальным является изучение процесса изнашивания режущих инструментов, используемых при раскрое деталей обуви и измельчении отходов, и разработка способов повышения их стойкости.

Изнашивание – это процесс изменения размеров и геометрии инструмента, происходящий в результате уменьшения его объема под влиянием сил трения при резании материалов. Результатом изнашивания является износ, измеряемый потерей объема или веса инструмента или оцениваемый по изменению размеров и формы инструмента либо других косвенных признаков. Стойкость – это путь резания (трения), пройденный инструментом до его износа.

Изменение формы и размеров инструмента в процессе изнашивания протекает различно в разных условиях. Поверхности износа нередко имеют сложные очертания. Показатели износа служат не только для характеристики стойкости инструментов, но и для подсчета нагрузок на них. Поэтому для характеристики износа требуется несколько показателей:

l – высота изношенного слоя или износ по высоте лезвия;

Δ - линейный износ по задней грани;

r – радиус скругления лезвия;

$F_{зам}$ - проекция площадки износа по задней грани на плоскость резания;

V – объем изношенной части лезвия.

Эти показатели связаны между собой определенными соотношениями. Однако каждый из них имеет и самостоятельное значение, например, износ по высоте лезвия может быть использован для сравнительной характеристики износостойкости инструментальных материалов различных конструкций инструментов; проекция площадки износа нужна для подсчета нагрузок на инструмент и т.д. Характеристики износа могут быть основаны на измерениях количества изношенного материала, формы поверхности износа и состояния поверхности износа (шероховатости, царапины), но наиболее общим количественным показателем, характеризующим износостойкость инструментальных материалов, является линейный износ по высоте.

Стойкость режущего инструмента измеряется в метрах пути резания L . Интенсивность изнашивания представляет собой удельный износ на элементарном пути трения:

$i_l = dl / dL$ - интенсивность изнашивания по высоте;

$i_F = dF_{зам} / dL$ - интенсивность роста площадки износа.

Износ возникает в результате трения при относительном перемещении двух прижатых друг к другу поверхностей [96]. Трущиеся поверхности всегда обладают шероховатостью, которая воспроизводится в процессе изнашивания. В зависимости от характера взаимодействия трущихся поверхностей износ может носить различный характер. При небольших нагрузках деформация выступов будет упругой и их разрушение может произойти в результате усталости материала. Число циклов, приводящих к разрушению выступов, имеет величину порядка $10^6 - 10^7$. При больших нагрузках, когда глубина внедрения выступа превышает упругую деформацию, выступ внедряется во взаимодействующую поверхность в результате пластического отеснения

материала. Разрушение происходит вследствие повторных пластических деформаций. Число циклов, приводящих к разрушению выступов, имеет порядок $10^3 - 10^4$. Износ режущей кромки определяется характером распределения контактных давлений и соответствующих им сил трения, на которые влияют геометрия инструмента, физико-механические свойства разрезаемых материалов и инструментального материала, параметры резания и др.

На основании изучения динамики износа режущих инструментов установлено следующее:

наиболее интенсивно изнашиваются участки режущей кромки с высокими удельными давлениями, у острого ножа сравнительно быстро скругляется лезвие;

по мере износа сильно нагруженных участков увеличивается нагрузка на менее нагруженные и происходит выравнивание контактных давлений, по форме износа лезвия можно судить о характере распределения контактных давлений до его износа;

при установившемся процессе, когда поверхность износа сформировалась, выравнивание давлений должно произойти на всей площадке контакта, явление выравнивания давлений подтверждается фактом пропорциональности прироста усилия резания величине проекции площадки износа.

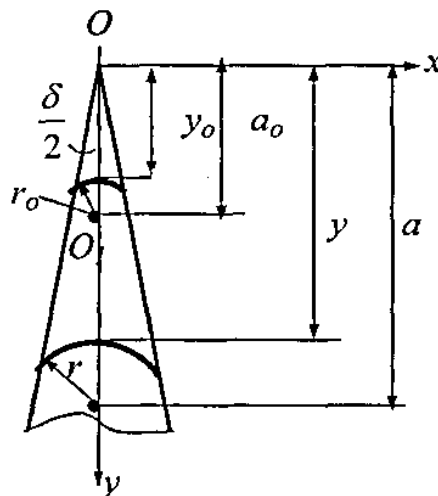


Рисунок 3.7 - Схема изнашивания режущей кромки

При раскрое обувных материалов (кожа, резина) происходит абразивное изнашивание лезвий резака. При этом, как показывает опыт, процесс изнашивания лезвий сопровождается закруглением режущих кромок (рисунок 3.7). Экспериментально установлено, что радиус закругления лезвия возрастает с увеличением δ (рисунок 3.8) /88/.

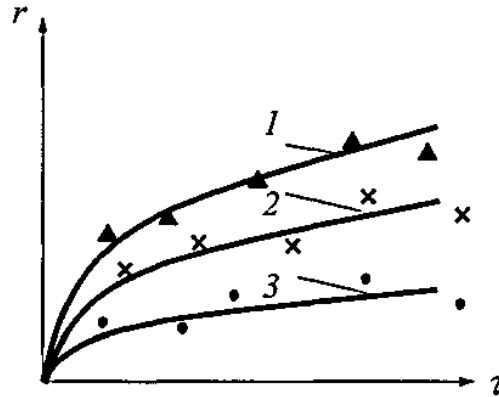


Рисунок 3.8 - Зависимости радиуса закругления режущей кромки от времени работы режущего инструмента:

1 – при $\delta = \pi/4$; 2 – при $\delta = \pi/8$; 3 – при $\delta = \pi/16$.

Стойкость режущего инструмента определяется не только его геометрией, но зависит также от свойств материала, из которого изготовлен инструмент, режима термообработки, поверхностной твердости и др. Известно, что чем тверже режущая часть инструмента, тем больше его стойкость. Исходя из этого, автором разработан достаточно простой и сравнительно недорогой способ повышения стойкости режущих инструментов /22/.

Зависимость износа лезвия от пути резания в общем случае имеет три зоны (рисунок 3.9):

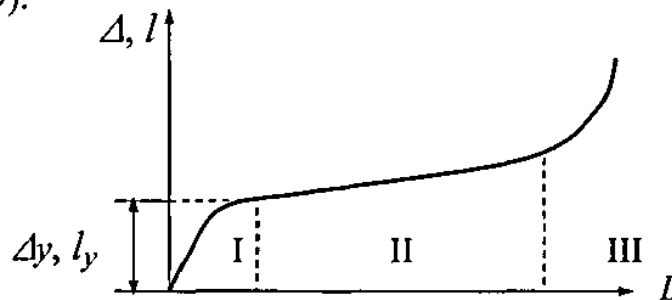


Рисунок 3.9 - Зависимость износа лезвия от пути резания

I – зона интенсивного износа. В этот период происходит интенсивное скругление лезвия. К концу зоны формируется рабочая геометрия инструмента, контактные давления на поверхности износа выравниваются;

II – зона установившегося износа. Поверхность износа увеличивается, но ее геометрия остается в среднем практически неизменной. Изнашивание происходит главным образом в результате истирания. Контактные давления на площадке износа постоянны или медленно снижаются, асимптотически приближаясь к некоторому постоянному значению;

III – зона усталостного или температурного износа, интенсивность изнашивания резко возрастает.

Протяженность зоны I в сравнении с зоной II составляет не более 5 – 10%. Зону III износа следует не допускать, назначая соответствующие режимы резания и своевременно заменяя или затачивая инструмент. Основной рабочей зоной, определяющей стойкость инструмента, следует считать зону установившегося износа. Учитывая небольшую протяженность зоны I, зависимость износа от пути резания целесообразно представить линейной функцией:

$$\Delta = \Delta_y + i_\Delta \cdot L,$$

аналогично
$$l = l_y + i_l \cdot L,$$

где Δ_y и l_y - условный начальный износ по задней грани

и по высоте лезвия соответственно.

Из исследований в области износа известно [96], что интенсивность изнашивания трущихся деталей по высоте:

$$i_l = l / L = \text{const}$$

Эта зависимость объясняется тем, что при каждом обороте ротора на режущих кромках ножей вследствие резания материала истирается определенный слой металла. Высота слоя для каждой данной точки имеет постоянное значение, не зависящее от степени затупления и от геометрии профиля. Экспериментальные исследования также подтвердили, что

интенсивность изнашивания по высоте не зависит от геометрии профиля ножа. В большинстве случаев отклонения от средних значений не превышали 5 – 10%. При этом по длине лезвия износ может быть различен в разных точках и определяется характером распределения контактных давлений.

Интенсивность изнашивания по высоте может служить показателем абразивности измельчаемых материалов и износостойкости инструмента. Можно сравнивать между собой результаты исследований, выполненных с использованием ножей с различной геометрией. Чем меньше отношение i_{Δ} / i_l , тем меньше линейный износ по задней грани и площадка износа.

3.3 Влияние величины угла и точности поворота ударника консольного прессы на качество вырабаемых деталей

Изготовление обуви высокого качества во многом зависит от правильной работы технологического оборудования, в частности, от точности выполнения операций на вырабочных прессы. Однако в производственных условиях по различным причинам не всегда соблюдаются в полной мере требуемые для изготовления изделий режимы. Например, при эксплуатации вырабочных прессы типа ПВГ-8-2-0 происходит разладка механизма поворота ударника, что отрицательно влияет на качество вырабаемых заготовок.

Оценить точность работы указанного механизма можно путем установления оптимального допуска угла поворота ударника. С этой целью были проведены эксперименты на Шахтинской обувной фирме «Дончанка» (ООО «Мадлена»), при которых фиксировались ошибки, возникающие при поворотах ударника из исходного положения к вырабочной плите, когда производился раскрой деталей для мужской обуви.

При этом принималось во внимание, что отклонения поворота ударника от заданного угла могут быть равными по абсолютной величине в ту или иную сторону, то есть вероятности распределения ошибок равны 1/2:

$$P(-\Delta\theta) = P(+\Delta\theta) = 0,5, \quad (3.15)$$

где P - вероятность отклонения ударника от центра вырубочной плиты;

$\Delta\Pi$ - случайная ошибка, т.е. отклонение ударника от заданного угла.

По данным, полученным в результате эксперимента, определялось математическое ожидание $M(\bar{\Pi})$, показывающее центр распределения фактических значений угла поворота ударника и значение средне-квадратического отклонения S_{Π} - величины рассеивания угла поворота ударника вокруг математического ожидания. По вычисленным значениям на основе теории вероятностей определялись плотность вероятности распределения случайной величины и плотность распределения случайных ошибок $\Delta\Pi$ [29].

Если ввести допуск на отклонение угла поворота δ_{Π} , то ошибка в работе пресса выразится

$$-\delta_{\Pi} \leq \Delta\Pi \leq +\delta_{\Pi},$$

а вероятность варьирования величины $\Delta\Pi$ в пределах допуска

$$P(-\delta_{\Pi} \leq \Delta\Pi \leq +\delta_{\Pi}) = \int_{-\delta_{\Pi}}^{+\delta_{\Pi}} f(\Delta\Pi) d(\Delta\Pi).$$

При нормированной ошибке $t = \Delta\Pi / S_{\Pi}$, получим

$$P\left(-\frac{\delta_{\Pi}}{S_{\Pi}} \leq t \leq +\frac{\delta_{\Pi}}{S_{\Pi}}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\delta_{\Pi}/S_{\Pi}}^{+\delta_{\Pi}/S_{\Pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = \Phi\left(\frac{\delta_{\Pi}}{S_{\Pi}}\right) \quad (3.16)$$

Для оценки работы оборудования в машиностроении обычно используют так называемую величину $3S$, т.е. в этом случае вероятность появления абсолютных ошибок при изучаемом явлении является минимальной. Таким образом, работоспособность пресса будет оптимальной при условии $\delta_{\Pi} \geq 3S$, удовлетворительной – если $\delta_{\Pi} = 3S$ и неудовлетворительной – при $\delta_{\Pi} < 3S$.

При $\delta_{\Pi} / S = 3$ вероятность того, что значения отклонения выйдут за пределы допуска δ_{Π} :

$$q = 1 - P; \quad q \approx 1 - 0,997 = 0,003,$$

составляет практически малую величину, которой можно пренебречь.

В целом вероятность появления брака может быть рассчитана по формуле:

$$q = 1 - P = 1 - \Phi\left(\frac{\delta_n}{S_n}\right) \quad (3.17)$$

Для определения точности работы вырубочного прессы можно принимать отношение допуска отклонения ударника δ_n к среднеквадратичной величине рассеивания угла его поворота S_n равным:

$$\delta_n/S_n = 1,0; 2; 2,5; 3,0.$$

По паспортным данным вырубочного прессы ПВГ-8-2-0 угол поворота ударника должен быть 90° (при допуске $\pm 5^\circ$), фактический разброс, как показали эксперименты, составил от 83° до 92° , при среднеквадратичном отклонении $2,36^\circ$. Используя формулу (3.17), таблицу значений функции Лапласа [52] и вышеуказанные значения δ_n/S_n , построена зависимость вероятности появления бракованных деталей (в процентах к общему объему заготовок), вызванных неточностью работы механизма поворота ударника вырубочного прессы (рисунок 3.11, кривая 1).

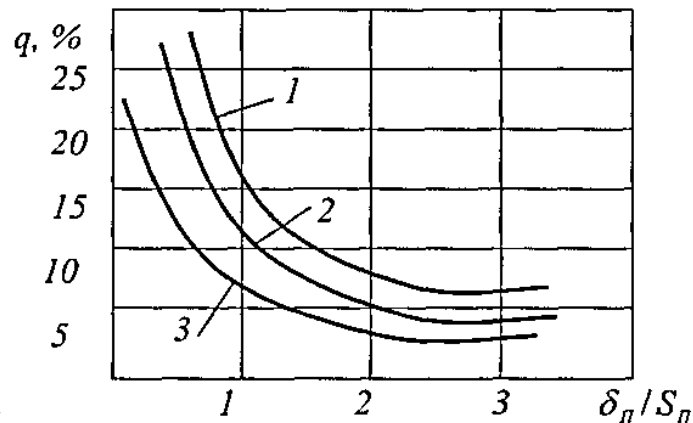


Рисунок 3.11 – Зависимости вероятности появления брака от величины угла поворота ударника (1- 90° , 2- 60° , 3- 30°)

Анализ полученной зависимости показывает, что если в механизм поворота ударника прессы ПВГ-8-2-0 ввести регулятор угла поворота,

обеспечивающий возможность отвода ударника от центра вырубочной плиты на угол меньше паспортной величины, это повысит точность работы вырубочного пресса и уменьшит количество бракованных деталей.

С целью проверки этого предположения был разработан регулятор угла поворота ударника, описание которого приведено в §6.1, обеспечивающий возможность отвода ударника от вырубочной плиты на углы 30° и 60° . При проведении экспериментов с углом отвода ударника 30° фактические значения составили 25° - 31° при среднеквадратичном отклонении $1,5^\circ$; при угле отвода ударника 60° его экспериментальные значения составили 54° - 63° при среднеквадратичном отклонении $1,85^\circ$. Расчетные зависимости, построенные с использованием этих данных, показаны в виде кривых 2 и 3 на рисунке 3.11.

Из сравнения полученных зависимостей следует, что с уменьшением угла отвода ударника вероятность появления бракованных деталей обуви становится меньше. Так, если $\delta_n = 3S$, параметр q уменьшается с 6,5% при угле поворота 90° до 0,8% при угле поворота 30° . Отсюда следует, что оснащение вырубочных консольных прессов регулятором угла отвода ударника можно считать целесообразным. При наличии последнего ударник в процессе раскроя деталей обуви может отводиться от вырубочной плиты только на такой угол, который необходим для перестановки резака. Именно таким образом поступает оператор на прессе типа ПВГ-8, не имеющем механизма поворота ударника.

3.4 Измельчение отходов на установках роторного типа

В измельчителе роторного типа с вертикальной осью вращающиеся ножи 1 жестко крепятся на роторе 2, а неподвижные ножи 3 – на корпусе (рисунок 3.12) с возможностью их перемещения относительно ножей 1 в горизонтальной плоскости.

Перерабатываемый материал загружается сверху на ротор 2 и под действием центробежных сил перемещается к неподвижной части корпуса,

попадает в зазор между вращающимися ножами 1 и неподвижными ножами 3, где и происходит его измельчение. Величина зазора между ножами 1 и 3 определяет размер фракции измельченного материала. Процесс измельчения на таких установках приблизительно можно рассматривать как процесс резания ножом материала, не имеющего фиксированного положения. Основным видом деформации материала при этом являются деформации растяжения.

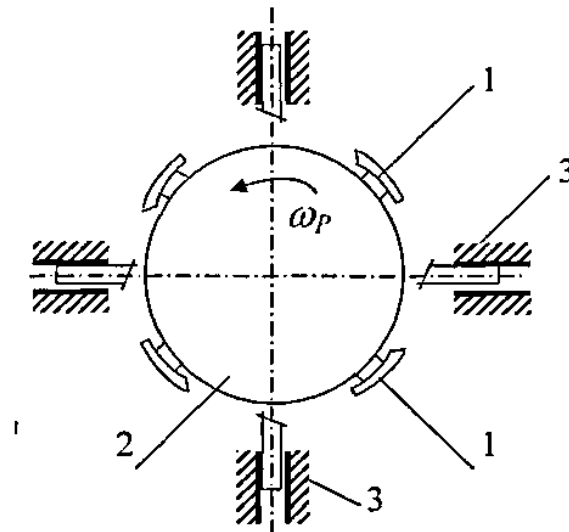


Рисунок 3.12 – Схема измельчителя роторного типа

Геометрические параметры ножей 1 имеют решающее значение как на эффективность процесса измельчения, так и на усилие резания, а следовательно, на затраты мощности и энергоемкость процесса в целом.

Установление оптимальных значений угла заострения ножа, переднего и заднего углов должно производиться с учетом деформации материала, на который действуют усилия со стороны инструмента. При высоких скоростях резания процесс перехода упругих деформаций в пластические не успевает развиваться при незначительных промежутках времени, в течение которых срезается стружка ($3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ сек), и деформации слоев материала, расположенных под ножом, находятся в упругой зоне, а поскольку зоны распространения пластических деформаций уменьшаются, материал становится более хрупким.

Существенное влияние на процесс резания имеет величина заднего угла α (рисунок 3.13). В результате давления, которое оказывает лезвие ножа на материал, последний под ним деформируется и, если задний угол α невелик, материал прижимается к задней части лезвия. В результате возникает трение между материалом и лезвием, что приводит к увеличению затрат мощности на измельчение.

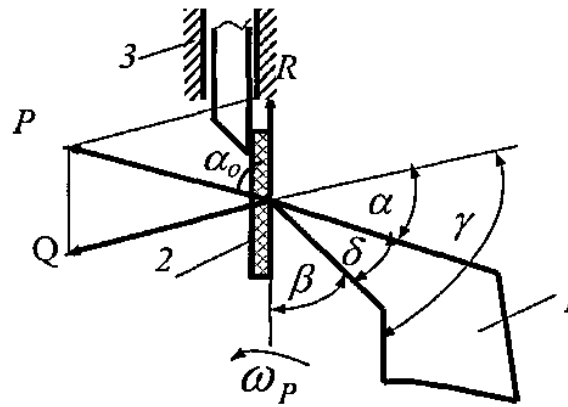


Рисунок 3.13 – Схема к определению геометрических параметров лезвия вращающегося ножа

Кроме этого, происходит нагревание инструмента, что может привести к уменьшению стойкости его лезвий. Экспериментальным путем установлено, что величина заднего угла не может быть меньше 15° , а рациональные его значения находятся в диапазоне $20-35^\circ$ в зависимости от физико-механических характеристик измельчаемых материалов.

В соответствии со схемой, показанной на рисунке 3.13, на измельчаемый материал 2 действуют со стороны лезвия ножа 1 усилие R , направленное по радиусу, и усилие Q , направленное по касательной к режущей кромке. Равнодействующая P , равная

$$P = \sqrt{R^2 + Q^2},$$

образует с усилием R угол α_o :

$$\operatorname{tg} \alpha_o = Q/R.$$

Соотношение между радиальным и тангенциальным усилиями не является постоянной величиной, оно изменяется в процессе измельчения. При резании остро заточенными ножами угол α_o близок к 90° . Когда режущие кромки затупляются, угол α_o приближается к 45° . При этом происходит существенное уменьшение усилия Q , вследствие чего снижается эффективность измельчения.

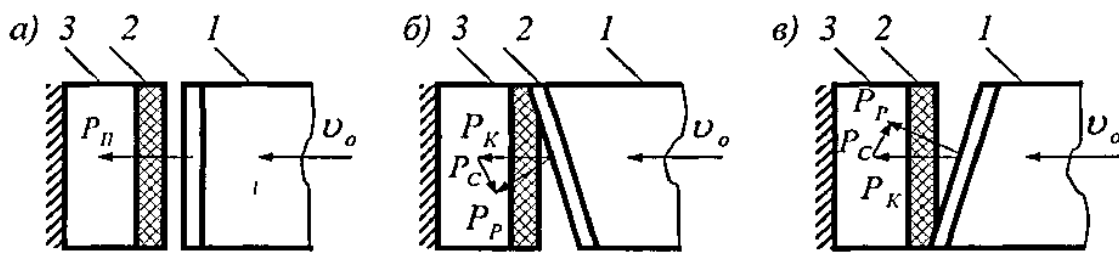


Рисунок 3.14 – Схемы измельчения материала при прямоугольном и косоугольном резании

При принятой схеме установки на измельчителе вращающихся 1 и неподвижных ножей 3 измельчаемый материал 2 прижимается к передней грани ножа 3 лезвием ножа 1. При этом передняя грань ножа 3 выполняет роль опоры для материала. Чтобы не происходило поломок лезвия, величину заднего угла ножа 3 принимают порядка 15° .

В зависимости от взаимного расположения режущего инструмента и материала резание может быть прямоугольное или косоугольное (рисунок 3.14).

Как следует из приведенных схем, при прямоугольном резании (рисунок 3.14, а) нож 1 вступает в контакт с материалом одновременно по всей длине лезвия. При косоугольном резании (рисунок 3.14, б, в) длина контакта лезвия ножа 1 с материалом 2 зависит от угла наклона лезвия, но в любом случае она меньше, чем при прямоугольном резании.

При резании по схеме (б) усилие P_K раскладывается на усилие резания P_r и сдвигающую силу P_c , направленную вниз параллельно лезвию ножа 1.

При резании по схеме (в) сдвигающая сила P_c направлена вверх. На основании анализа этих двух схем можно заключить, что для процесса измельчения материалов на установке роторного типа более предпочтительной является схема (б), так как при этом лезвие ножа 1 прижимает материал 2 и к лезвию ножа 3, и к поверхности ротора, что способствует резанию.

Рассмотрим эту схему более подробно (рисунок 3.15).

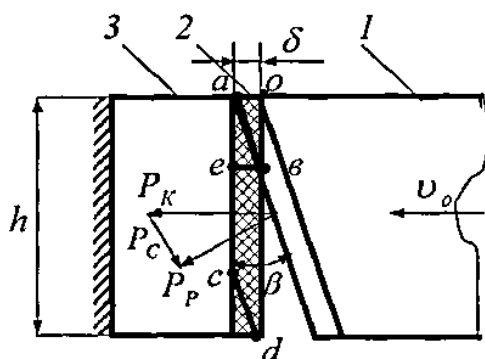


Рисунок 3.15 – Схема резания материала ножом с наклонным лезвием

Процесс резания начинается в точке o , когда вершина лезвия ножа 1 касается материала 2. По мере перемещения ножа длина контакта лезвия с материалом увеличивается и составляет максимальное значение, когда вершина лезвия достигает точки a (линия av). За время этого перемещения усилие резания возрастает от нуля до максимума, после чего оно остается постоянным до тех пор, пока лезвие ножа не достигает линии cd , а затем по аналогичному закону уменьшается.

Сравнивая схемы резания (а) и (б), можно отметить, что во втором случае требуемое усилие резания меньше благодаря тому, что отделение материала происходит последовательно по линии реза небольшой длины. Зная общую длину материала h и длину линии реза av по их соотношению можно ориентировочно определить во сколько раз требуемое усилие резания во втором случае будет меньше. Как следует из схемы на рисунке 3.15, длина

линии реза $ав$ зависит от угла наклона лезвия β , величину которого на основании экспериментальных данных рекомендуется принимать порядка 30° .

Из треугольника $авс$ имеем:

$$ав = \delta / \sin 30^\circ = 2\delta. \text{ Тогда } h/2\delta = 0,5h/\delta.$$

Обозначив усилие резания ножом с прямым лезвием P_n , получим, что усилие резания ножом с наклонным лезвием должно быть:

$$P_p = \frac{P_n \delta}{0,5h} = 2P_n \delta / h \quad (3.18)$$

Анализ зависимости (3.18) показывает, что при косоугольном резании требуемое усилие P_p будет меньше, чем при прямоугольном резании, до тех пор, пока выполняется условие:

$$\delta/h < 0,5.$$

Общее усилие P_k , приложенное к ножу (рисунок 3.15), равно:

$$P_k = P_p \cdot \cos \alpha \frac{2P_n \delta}{h \cos \beta}$$

Если $\beta = 30^\circ$, $P_k \cong 2,3P_n \cdot \delta/h$.

Окружное усилие на роторе:

$$\text{при прямоугольном резании} - F_{np} = P_n n_n, \quad (3.19)$$

$$\text{при косоугольном резании} - F_{nk} = P_k n_n \cong 2,3P_n \frac{\delta}{h} n_n, \quad (3.20)$$

где n_n - число ножей, одновременно находящихся в контакте с материалом.

Общее количество ножей, устанавливаемых на роторе измельчителя, зависит от его конструкции и размеров, но бесспорным является тот факт, что одновременно в контакте с материалом должно быть парное количество ножей, расположенных диаметрально противоположно, так как при этом обеспечивается более равномерное распределение нагрузки на опоры вала ротора. Сравнение выражений (3.19) и (3.20) показывает, что требуемое

окружное усилие во втором случае будет меньше до тех пор, пока выполняется условие:

$$\delta/h < 0,43.$$

Таким образом, и по усилию резания, и по окружному усилию вариант резания материалов ножом с наклонным лезвием является более предпочтительным.

Опыт показывает, что при измельчении отходов обувных материалов, характеризующихся достаточно высокой абразивностью, процесс резания острыми кромками заканчивается сравнительно быстро. Поэтому через небольшой промежуток времени режущие кромки приобретают некоторый радиус закругления, увеличивающийся по мере работы инструмента.

При резании ножом с лезвием, имеющим радиус закругления r , в момент соприкосновения лезвия с материалом, как и при раскрое, процесс резания еще не наступает. Только при достижении некоторого прогиба максимальное напряжение, возникающее при вдавливании лезвия в материал, будет равно некоторому критическому напряжению, при котором начинается процесс резания.

Определим силу, действующую на лезвие ножа, при вдавливании его в материал. Давление можно связать с прогибом следующим соотношением [88]:

$$R = c \cdot \delta, \quad (3.21)$$

где c – коэффициент эластичности, у материалов, применяемых для низа обуви, $c = 0,8-3,2$ Н/мм.

На рисунке 3.16 показаны зависимости усилия вдавливания от величины прогиба материала δ .

Усилие резания ножом, лезвие которого имеет радиус затупления r , равно:

$$R = R_o + \eta \cdot R_I,$$

где R_o - усилие резания острым лезвием;

η - коэффициент, учитывающий затупление лезвия;

R_I - усилие холостого хода.

Тангенциальное усилие:

$$Q = Q_0 + \eta \cdot f \cdot P_1,$$

где f - коэффициент трения между лезвием и материалом.

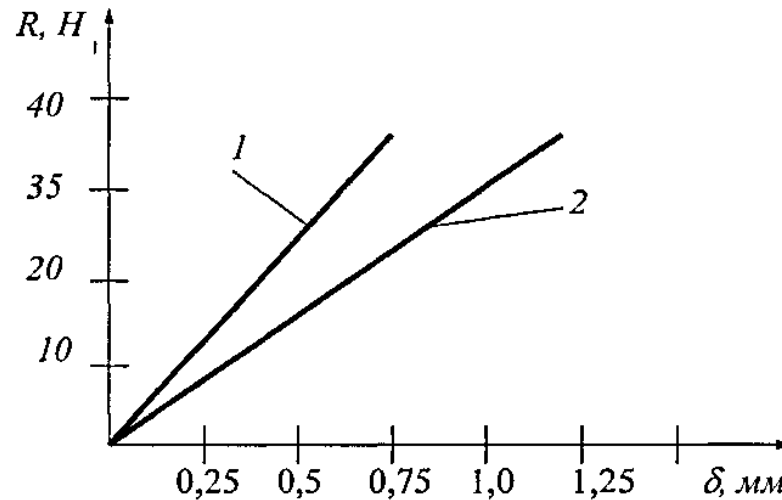


Рисунок 3.16 — Влияние усилия вдавливания на величину деформации материала: 1 — образец из кожи; 2 — образец из резины

Интенсивность затупления лезвия зависит от величины его угла заострения. Чем меньше этот угол, тем выше интенсивность его изнашивания. На основании опытных данных величину угла заострения рекомендуется принимать в диапазоне 25-40°.

Большое внимание на износостойкость и прочность режущих кромок оказывает передний угол лезвия. Его оптимальные значения лежат в диапазоне 20-40°.

К режимам работы относятся скорость резания, скорость подачи материала на нож или ножа на материал, глубина резания. Применительно к схеме измельчителя, показанной на рисунке 3.12, скорость резания является одновременно скоростью подачи ножа на материал.

Выше отмечалось, что при высоких скоростях резания уменьшаются пластические деформации, одновременно понижаются усилия резания. Кроме

того, уменьшается коэффициент трения по соприкасающимся поверхностям лезвия и материала.

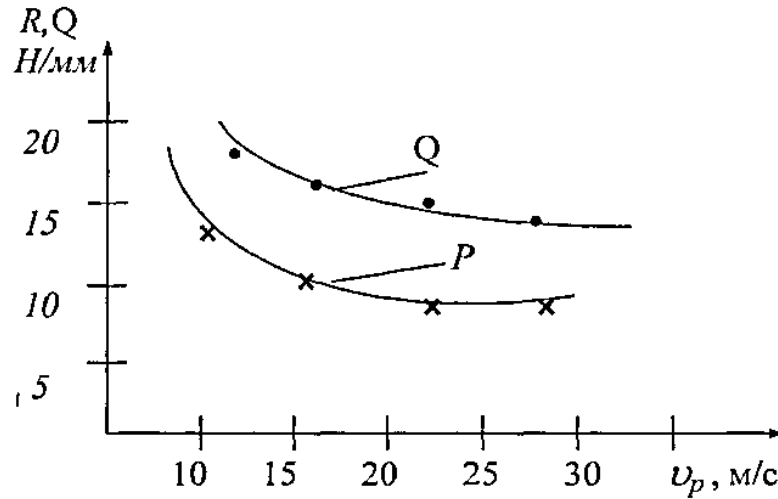


Рисунок 3.17 – Зависимости усилия резания от скорости

На рисунке 3.17 показаны экспериментальные данные, полученные при измельчении подошвенной кожи с разными скоростями резания.

Приведенные зависимости показывают, что с увеличением скорости резания происходит уменьшение усилий. Однако при достаточно большом увеличении скорости резания, за счет повышения частоты вращения ротора, быстро растут вибрационные нагрузки и при совпадении частоты собственных колебаний с частотой вынужденных колебаний наступает явление резонанса и при этом можно ожидать разрушения либо ротора, либо опор вала, на котором он закреплен. Поэтому для получения высоких скоростей резания на измельчителях роторного типа нужны специальные конструктивные решения, одно из которых описано ниже.

При увеличении толщины разрезаемого материала, как показывают опытные данные, происходит рост усилий резания (рисунок 3.18), причем усилие R растет относительно медленно, а интенсивность роста усилия Q значительно выше. Объясняется это, очевидно, тем, что при увеличении толщины материала нормальные давления на него растут незначительно, а тангенциальные, напротив, существенно вырастают.

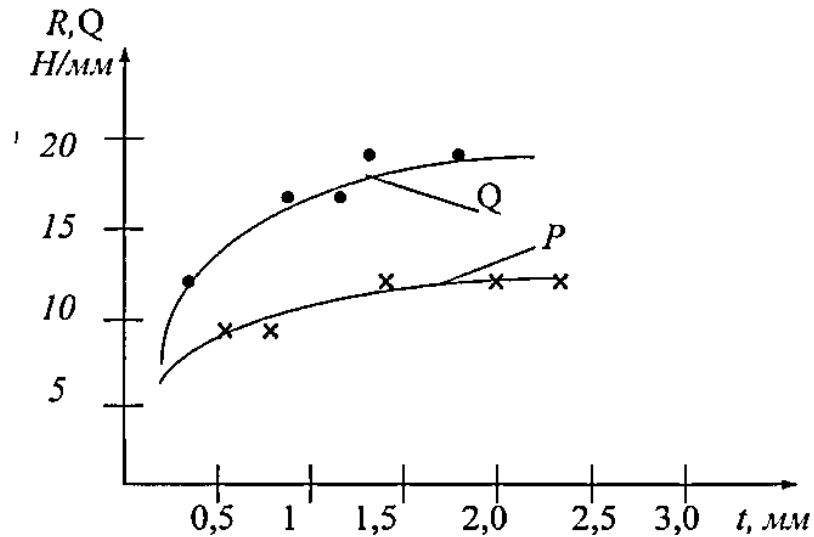


Рисунок 3.18 – Зависимости усилия резания от толщины
разрезаемого материала

Значительное влияние на эффективность процесса измельчения оказывает форма профиля режущей кромки ножа. Так, при измельчении мягких материалов можно применять ножи с прямым лезвием, рисунок 3.19.

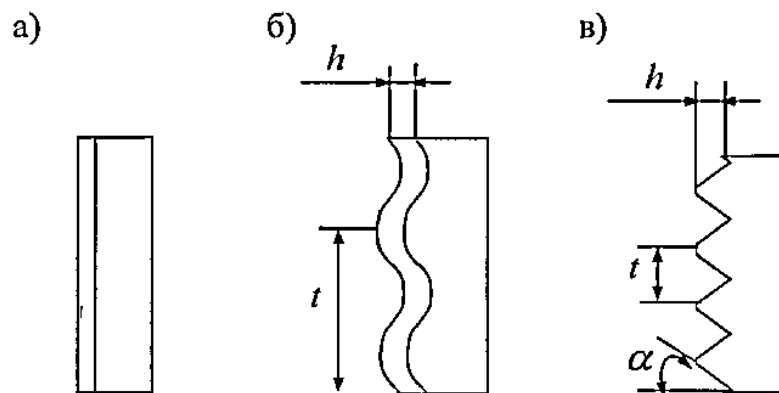


Рисунок 3.19 – Формы профилей режущих лезвий

При резании пластических материалов более пригодно лезвие с волнообразным профилем, а при резании жестких материалов – с зубчатым профилем. Для лезвий с волнообразным профилем угол резания зависит от того, в какой точке вершина кромки взаимодействует с разрезаемым материалом. Так, в точках у вершины угол α увеличивается, а у самого

основания волны он близок к 90° . Вследствие этого, происходит уменьшение угла резания. При применении ножей с зубчатым лезвием необходимо, чтобы отношение h/t было минимальным, так как чем оно меньше, тем меньше угол резания.

Из этих рассуждений следует, что при измельчении разных материалов нужно использовать ножи с различным профилем режущей кромки. Для обеспечения этого целесообразно производить замену не самих ножей, а только их режущей части, но для этого необходимо, чтобы ножи имели составную конструкцию, причем соединение режущей части с корпусом ножа должно быть быстросъемным. При такой конструкции ножей могут существенно уменьшиться затраты времени на их замену и переточку.

Исследованиями установлено также, что на режущую способность и стойкость инструмента оказывает большое влияние микрогеометрия режущей кромки [48]. Причем это влияние сказывается как на относительном увеличении удельного усилия резания, так и на характере снижения износостойкости ножей.

Средняя высота микрогребешков или результирующая высота микронеровностей режущей кромки определяется как среднеарифметическое значение высот выступов, измеряемых по всей длине рабочей части лезвия. Режущие инструменты, применяемые в обувном производстве, имеют высоту микронеровностей в диапазоне от 0,1 до 0,3 мм. В зависимости от твердости лезвия происходит либо отрыв, либо деформация микровыступов, что в конечном счете приводит к увеличению контакта режущей кромки лезвия с разрезаемым материалом и к уменьшению величины удельного контактного давления.

Установлено, что лезвия с относительно меньшей высотой микронеровностей имеют относительно большую износостойкость. Это объясняется тем, что при прочих равных условиях нагрузка распределяется по всей длине режущей кромки более равномерно, микронеровности имеют

относительно большую прочность, поэтому их деформация или отрыв менее вероятны.

Наилучшую микрогеометрию режущей кромки с точки зрения режущей способности и износостойкости имели инструменты, заточенные мягкими (M1, M2) абразивными кругами. Окружная скорость заточки при этом составила 14-15 м/с при воздушном охлаждении и 20 м/с при охлаждении водой или эмульсией. При применении алмазной заточки, которая обеспечивает более высокую производительность обработки инструмента, следует использовать крупнозернистые круги A16 – A12 на бакелитовой связке с 50% или 100% - ной концентрацией алмазного слоя.

Поскольку процесс измельчения материалов осуществляется непосредственно в зоне взаимодействия ножей 1 и 3 (рисунок 3.12), причем резание одного и того же фрагмента может производиться многократно до достижения требуемого размера фракций, нужно, чтобы рабочая поверхность ротора имела такую форму, при которой частицы материала постоянно находятся в рабочей зоне.

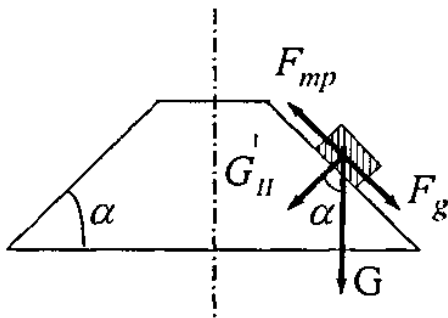


Рисунок 3.20 –

Схема к определению угла образующей конуса ротора

Это условие может выполняться, если ротор имеет форму усеченного конуса (рисунок 3.20).

Определим угол образующей конуса, при котором частица материала скатывается вниз. Из схемы на рисунке 3.20 следует, что это условие выполняется, если

$$F_g > F_{mp},$$

где F_{mp} – сила трения частицы о поверхность ротора.

$$G \cdot \sin \alpha > G \cdot f \cdot \cos \alpha,$$

где f – коэффициент трения частицы о поверхность ротора.

В итоге

$$\alpha > \arctan f. \quad (3.23)$$

Так как коэффициенты трения обувных материалов по стали находятся в диапазоне от 0,39 до 0,84 [76], угол образующей конуса должен быть не меньше $21 - 40^\circ$. Принимая большее значение угла, получим $\alpha > 40^\circ$.

Ранее уже отмечалось, что если нож производит резание материала по способу пилы, то его рабочий угол заострения становится меньше угла заточки, вследствие чего уменьшаются усилия резания. Применительно к измельчителю роторного типа в работе исследованы кривошипно-шатунный механизм дополнительного перемещения ротора с ножами в вертикальной плоскости [31], показанный на рисунке 3.21, а также кулачковый механизм.

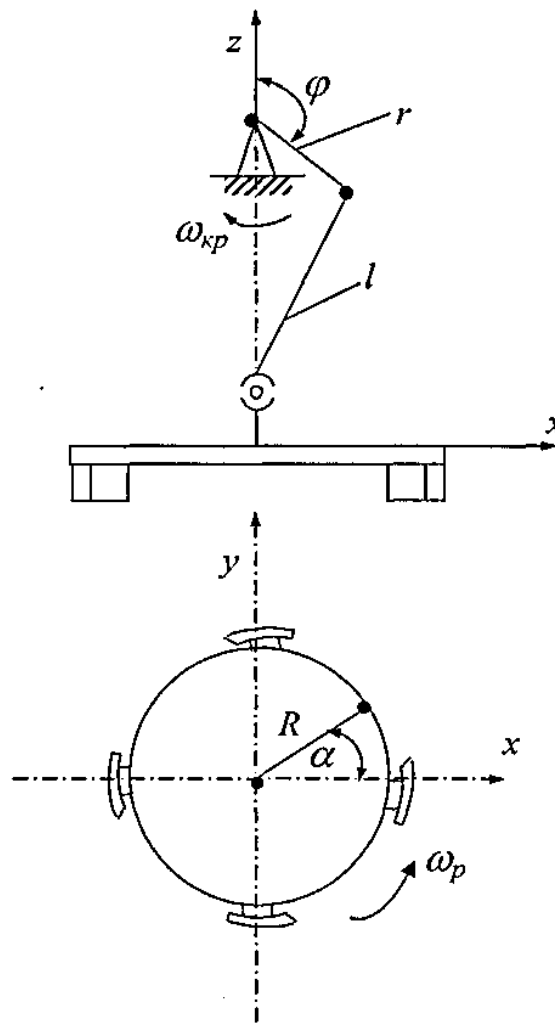


Рисунок 3.21 – Схема к определению перемещений ротора в вертикальной и горизонтальной плоскостях

В соответствии со схемой, за время t ротор измельчителя повернется в горизонтальной плоскости на угол α , а в вертикальной плоскости кривошип совершит поворот на угол φ :

$$\alpha = \omega_p \cdot t, \varphi = \omega_{kp} \cdot t, \quad (3.24)$$

где ω_p, ω_{kp} - угловые скорости ротора и кривошипа.

Перемещение ножей, закрепленных на роторе с радиусом R , в проекциях на координатные оси:

$$x_H = R \cdot \cos \alpha, \quad y_H = R \cdot \sin \alpha, \quad z_H = r \left[(1 - \cos \varphi) - \frac{r}{2l} \cdot \sin^2 \varphi \right], \quad (3.25)$$

где r, l - радиус кривошипа и длина шатуна.

Общее перемещение ножа в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$S = \sqrt{x_H^2 + y_H^2 + z_H^2} = \sqrt{R^2 + r^2 \left[(1 - \cos \varphi) - \frac{r}{2l} \cdot \sin^2 \varphi \right]}.$$

Скорость ножа в проекциях на координатные оси:

$$v_{x_H} = \frac{dx_H}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \omega_p (-R \cdot \sin \alpha) = -\omega_p \cdot R \cdot \sin \alpha$$

$$v_{y_H} = \frac{dy_H}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \omega_p \cdot R \cdot \cos \alpha$$

$$v_{z_H} = \frac{dz_H}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega_{kp} (-R \cdot \sin \varphi) = \omega_{kp} \cdot r \cdot \left(\sin \varphi - \frac{r}{l} \cos \varphi \right)$$

Результирующая скорость ножа:

$$\begin{aligned} v_H &= \sqrt{v_{x_H}^2 + v_{y_H}^2 + v_{z_H}^2} = \\ &= \sqrt{\omega_p^2 \cdot R^2 \cdot \sin^2 \alpha + \omega_p^2 \cdot R^2 \cdot \cos^2 \alpha + \omega_{kp}^2 \left(r \cdot \sin \varphi - \frac{r}{l} \sin^2 \varphi \right)^2} = \quad (3.26) \\ &= \sqrt{\omega_p^2 \cdot R^2 + \omega_{kp}^2 \left(r \cdot \sin \varphi - \frac{r}{l} \sin^2 \varphi \right)^2} \end{aligned}$$

Из последнего выражения следует, что при $\varphi = 0, 180^\circ, 360^\circ$ результирующая скорость ножа равна:

$$v_H = \omega_p \cdot R, \quad (3.27)$$

т.е. ротор и ножи перемещаются только в горизонтальной плоскости, а их скорость минимальна. При $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$ скорость ножей максимальна и перемещаются они по пространственной траектории:

$$v_H = \sqrt{\omega_p^2 \cdot R^2 + \omega_{кр}^2 \cdot r^2} \quad (3.28)$$

При других значениях φ скорость ножей занимает промежуточные значения, но всегда больше минимальной. Следовательно, только при $\varphi = 0, 180^\circ, 360^\circ$ рабочий угол заострения ножей равен углу их заточки, а во всех остальных случаях он становится меньше, за счет чего уменьшаются силы резания. Кроме того, вертикальные перемещения ножей способствуют исключению случаев заклинивания материала при измельчении.

Запишем последнее выражение в виде:

$$v_H = \omega_p \cdot R \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_{кр} \cdot r}{\omega_p \cdot R} \right)^2}. \quad (3.29)$$

Из этой формулы следует, что при $\omega_{кр} = \omega_p$ реальное увеличение результирующей скорости ножа возможно, если $r \geq 0,5R$, что практически неприемлемо, так как при этом ротор с ножами должен совершать большие вертикальные перемещения. Следовательно, увеличение v_H возможно за счет повышения угловой скорости кривошипа после того, как достигнута максимальная угловая скорость ротора.

С целью упрощения конструкции измельчителя представляется целесообразным использовать для вертикальных перемещений ротора кулачковый механизм, который обладает по сравнению с кривошипно-шатунным механизмом значительно меньшими габаритными размерами. При

этом появляется возможность использовать привод вращения ротора также и для обеспечения его вертикальных перемещений. Кинематическая схема механизма, обеспечивающего и вращение ротора, и его вертикальные перемещения, может выглядеть так, как показано на рисунке 3.22.

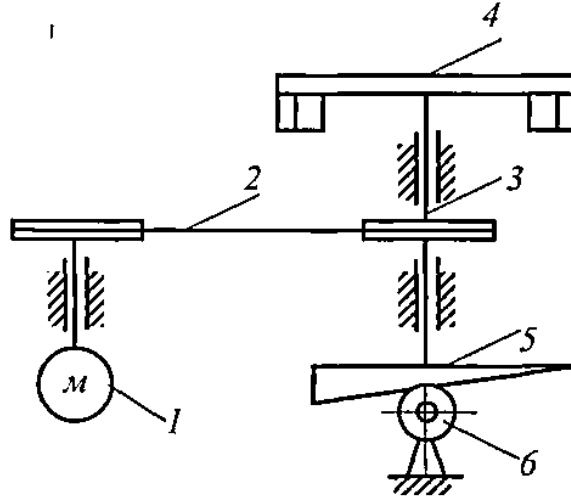


Рисунок 3.22 - Схема механизма привода ротора измельчителя

В соответствии с приведенной схемой при включении электродвигателя 1 через ременную передачу 2 обеспечивается вращение вертикального вала 3, а вместе с ним ротора 4 и диска 5. Если выполнить нижнюю торцовую поверхность диска 5 в виде цилиндрического профилированного кулачка, а в простейшем случае в виде наклонной плоскости, опирающейся на ролик 6, то при вращении вала 3 диск 5 обеспечит вертикальные перемещения ротора 4.

Поскольку вертикальные перемещения ротора 4 связаны с преодолением значительных сил инерции, большое значение имеет правильный выбор профиля рабочей поверхности диска 5. Если эту поверхность выполнить в виде наклонной плоскости, расположенной под углом β к торцу диска, вертикальное перемещение S ротора 4 в зависимости от угла поворота ротора α можно определить по формуле:

$$S = R(1 - \cos \alpha) \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Аналог скорости перемещения ротора в вертикальном направлении определяется как первая производная от этого выражения, а аналог ускорения – как вторая производная:

$$\begin{aligned}\dot{S} &= R \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta; \\ \ddot{S} &= R \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta.\end{aligned}\quad (3.30)$$

Выражение (3.30) показывает, что закон изменения ускорения при вертикальных перемещениях ротора – косинусоидальный, при котором происходит быстрое нарастание скорости в начале движения и быстрое убывание скорости в конце движения, а в средней части отрезка, которая является основной, скорость вертикального перемещения ротора близка к постоянной величине (рисунок 3.23)

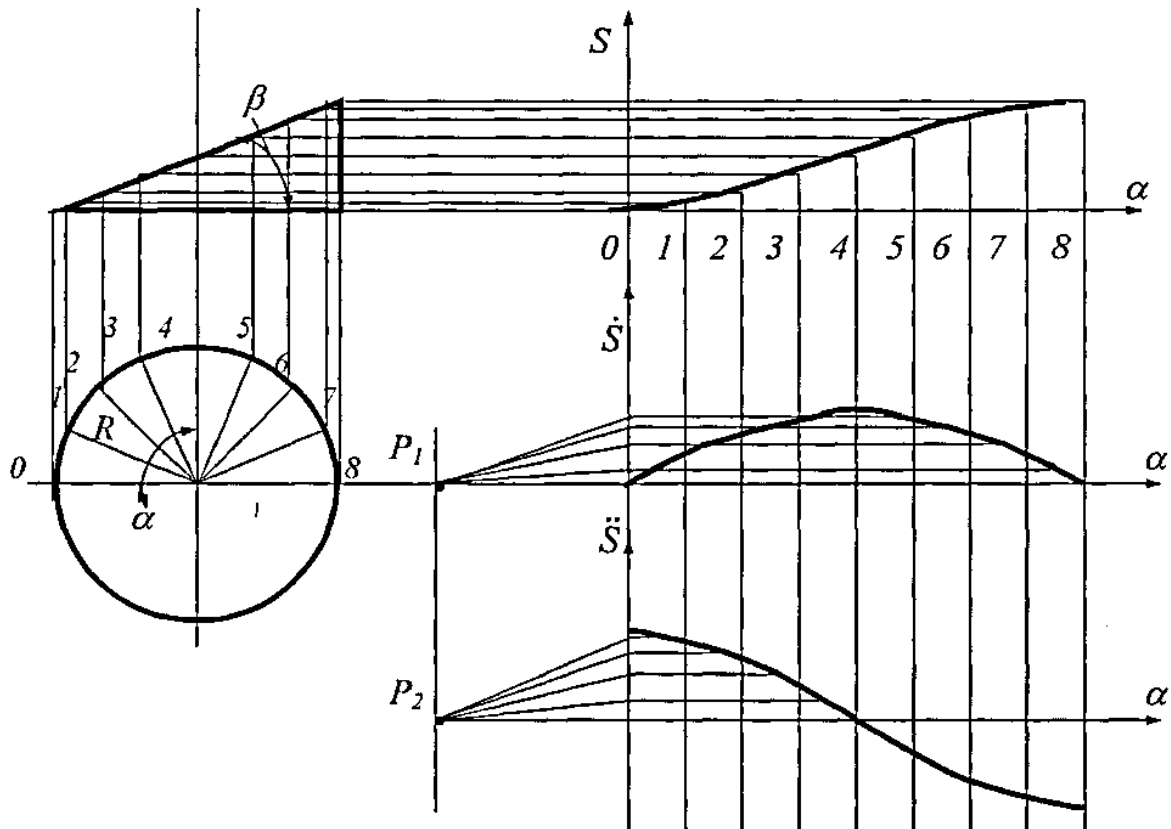


Рисунок 3.23 – Диаграммы перемещения, скорости и ускорения ротора при применении кулачкового механизма

У кривошипно-шатунного механизма закон изменения ускорения синусоидальный, при котором скорость вертикальных перемещений ротора нарастает и убывает более плавно, вследствие чего в средней части отрезка скорость меньше, чем в первом случае. Следовательно, применение кулачкового механизма более целесообразно.

Результаты экспериментальных исследований показали, что с ростом площадки затупления на режущей кромке лезвия усилие резания пропорционально увеличивается. Поэтому для его уменьшения необходимо периодически производить заточку ножей, но слишком часто осуществлять эту операцию невозможно, так как это потребует частых остановок измельчителя. Поэтому представляется целесообразным установить на роторе измельчителя (рисунок 3.24) вместо плоских ножей многолезвийные вращающиеся цилиндрические фрезы. Применение фрез позволит многократно (кратность равна числу зубьев фрезы) увеличить время работы измельчителя до переточки их лезвий. Кроме того, при одной и той же скорости резания частота вращения ротора становится существенно меньше и, как следствие, меньше затраты мощности.

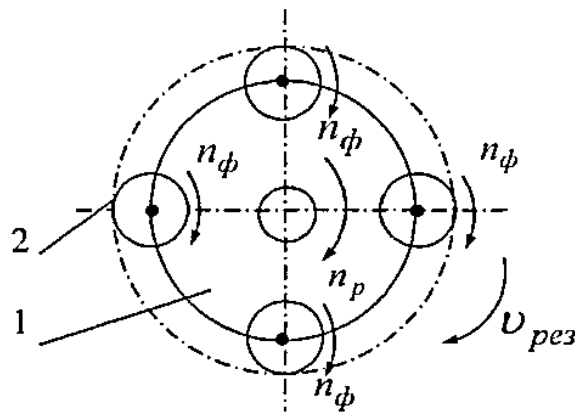


Рисунок 3.24 - Схема к определению частоты вращения ротора

Как видно из схемы, на роторе 1 закреплены фрезы 2, которые вращаются вместе с ротором и, кроме того, они вращаются вокруг своих осей. Окружная скорость ротора равна /5/:

$$v_{o.p.} = \frac{\pi}{60} D_p \cdot n_p, \quad (3.31)$$

где D_p и n_p - диаметр и частота вращения ротора.

Аналогично окружная скорость фрезы:

$$v_{o.ф.} = \frac{\pi}{60} d_{ф} \cdot n_{ф}, \quad (3.32)$$

где $d_{ф}$ и $n_{ф}$ - диаметр и частота вращения фрезы.

Приняв, что окружная скорость фрезы равна окружной скорости ротора, получим:

$$v_{o.ф.} = v_{o.p.} = d_{ф} \cdot n_{ф} = D_p \cdot n_p$$

Откуда следует, что частота вращения ротора

$$n_p = \frac{d_{ф}}{D_p} \cdot n_{ф}.$$

зависит от отношения диаметров фрезы и ротора.

Из схемы на рисунке 3.24 видно, что скорость резания равна:

$$v_{рез.} = v_{o.p.} + v_{o.ф.},$$

но так как $v_{o.p.}$ по условию равно $v_{o.ф.}$, то

$$v_{рез.} = 2v_{o.p.} = 2v_{o.ф.}$$

Отсюда
$$v_{рез.} = 2v_{o.p.} = 2 \frac{\pi}{60} D_p \cdot n_p = \frac{\pi}{30} D_p \cdot n_p$$

Тогда частота вращения ротора:

$$n_p = \frac{30 \cdot v_{рез.}}{\pi \cdot D_p} \quad (3.33)$$

При измельчении материалов плоскими ножами, закрепленными по периметру ротора, его частота вращения равна:

$$n'_p = \frac{60 \cdot v_{рез.}}{D_p} \quad (3.34)$$

Сравнение двух последних формул показывает, что если на роторе установлены вращающиеся фрезы, его частота вращения уменьшается в 6,28 раза.

Как отмечалось выше, резание одного и того же фрагмента материала при измельчении может производиться неоднократно до получения необходимого размера фракций. С целью интенсификации процесса измельчения представляется целесообразным обеспечить подачу в зону резания сжатого воздуха, основное назначение которого состоит в том, чтобы приподнимать частицы материала над рабочей поверхностью ротора и осуществлять их перемешивание в процессе резания. Кроме этого, сжатый воздух способствует выносу измельченных до нужного размера частиц через отверстия в ситах в мешки, закрепляемые с внешней стороны измельчителя. При этом продолжительность процесса измельчения до достижения необходимого размера фракций материала сокращается, уменьшается также энергопотребление.

Определение рациональных параметров потока сжатого воздуха состоит в установлении необходимого расхода и давления. Расход воздуха определяет эффективность перемешивания измельчаемого материала и удаления из рабочей зоны частиц, достигших необходимых размеров. При недостаточном количестве воздуха может происходить повторное измельчение, при его избытке – возрастает энергоемкость процесса.

Возможны следующие варианты перемещения частиц материала в воздушном потоке внутри измельчителя: без осевого перемещения, в потоке воздуха без осаждения на ротор, в потоке воздуха с периодическим осаждением на ротор. Очевидно, что для целей измельчения материалов наиболее пригодным является третий вариант, когда при достижении необходимого размера фракций частицы должны перемещаться в потоке воздуха к ситам и удаляться из измельчителя.

Изучение закономерностей движения дискретных масс твердой фазы под действием потока воздуха обычно производится с применением дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Применительно к данным условиям уравнения движения имеют вид /133/:

$$S \cdot \rho_T \cdot \left(\frac{\partial v_{ri}}{\partial t} + \sum_{k=1}^3 \frac{\partial v_{zi}}{\partial x_k} \right) = R_i + (\rho_T - \rho_v) \cdot S \cdot X_{si}, \quad (3.35)$$

где S – объемная концентрация твердого компонента в аэросмеси;

ρ_T, ρ_v – плотности твердой фазы и воздуха;

v_{ri} – составляющая векторов скорости твердых частиц;

R_i – составляющая вектора взаимодействия потока воздуха с твердыми частицами;

X_{si} – составляющая вектора массовых сил, отнесенных к единичным площадкам твердых частиц;

x_k – координаты частицы материала.

Для описания движения несущего потока можно оперировать его осредненными характеристиками. Решение уравнений (3.35) возможно с применением метода конечных разностей, сущность которого заключается в их аппроксимации, а также путем замены начальных и граничных условий их конечно-разностными аналогами, что позволяет перейти от поиска решений уравнений с частными производными к решению алгебраических уравнений.

При пневматическом перемешивании эффективность этого процесса зависит от скорости воздушного потока и силы его давления на частицу материала.

Необходимая скорость движения потока воздуха равна:

$$v_v = v_{кр} + v_{изб},$$

где $v_{кр}$ – критическая скорость движения потока воздуха, при которой частицы материала расчетного размера переходят во взвешенное состояние;

$v_{изб}$ – избыточная скорость воздушного потока, обеспечивающая перемещение частиц материала к ситам.

Как правило, критическую скорость движения потока воздуха определяют для частиц со сферической формой поверхности. Однако получаемые при измельчении частицы материала имеют неправильную форму, в результате чего наблюдаются отклонения фактических значений $v_{кр}$ от расчетных. Большое число экспериментов свидетельствует о том, что частица неправильной формы стремится занять такое положение, при котором наибольшее ее сечение располагается перпендикулярно к потоку, в результате чего взвешивание частицы происходит при меньшей критической скорости движения воздуха.

Проведенными исследованиями установлено, что взвешивание частиц неправильной формы подчиняется тем же закономерностям, что и шарообразных. Критическую скорость движения потока воздуха можно определить из выражения:

$$v_{кр} = 2,26 \cdot K_k^2 \cdot L_a \sqrt{d_l \cdot \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r}} \cdot \sqrt{\frac{P_{ст}}{P_{вых}}},$$

где K_k - коэффициент концентрации частиц материала в потоке воздуха;

L_a - безразмерный параметр;

$P_{ст}$ - статическое давление на роторе измельчителя;

$P_{вых}$ - давление воздуха на выходе из измельчителя; чтобы не происходило запыление помещения, где установлен измельчитель, $P_{вых}$ принимают равным порядка 0,12 МПа.

На рисунке 3.25 приведены зависимости критической скорости воздушного потока от диаметра частиц, полученных при измельчении отходов натуральной кожи различной плотности.

Избыточная скорость воздушного потока должна обеспечивать своевременное удаление из зоны резания частиц материала, достигших в результате измельчения требуемых размеров. В противном случае может происходить дополнительное измельчение материала, что нецелесообразно. В то же время при выборе величины избыточной скорости не рационален и

перерасход воздуха, что может вызвать неоправданное увеличение установочной мощности привода компрессора.

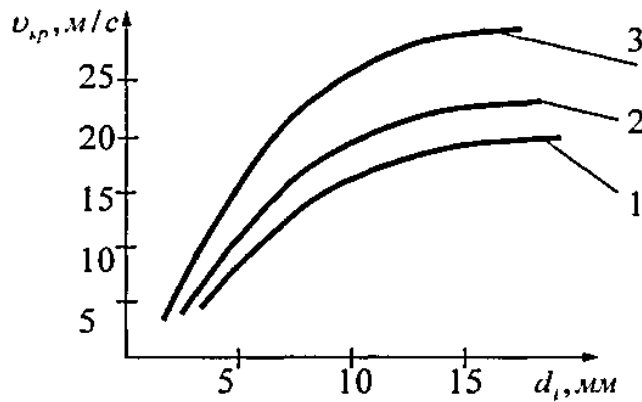


Рисунок 3.25 – Зависимости $v_{кр} = f(d_i)$:

1 - $\rho_T = 1,0 \text{ г/см}^3$; 2 - $\rho_T = 1,5 \text{ г/см}^3$; 3 - $\rho_T = 2,0 \text{ г/см}^3$

Непосредственно в зоне измельчения за счет избыточной скорости воздуха создаются дополнительные усилия, действующие на частицы материала и обеспечивающие их трогание с места и разгон.

При измельчении режущим инструментом критерием достаточности избыточной скорости в зоне резания можно считать соответствие ее линейной скорости на ножах, т.е.

$$v_{изб} = \pi \cdot D_p \cdot n_p$$

Величина избыточной скорости воздуха, определяемой по этой зависимости, является расчетной для определения общего расхода воздуха при транспортировании измельченных частиц и распространяется на частицы всех размеров. Но фактические скорости движения частиц будут различными.

Наличие разницы в скоростях движения частиц обуславливает неизбежность их соударений. Мелкие частицы, имея большую скорость подъема, сталкиваются с более крупными. Эти соударения не изменяют количества движения системы и движения центра масс, а вызывают перераспределение энергии между частицами. Однако система потока частиц отличается устойчивостью и к сохранению скоростей движения, которая

вытекает из закона инерции. При увеличении скорости крупной частицы после соударения с мелкой возникает нарушение равновесия действующих на нее сил – подъемная сила воздуха становится меньше силы веса частицы. В результате происходит замедление движения и уменьшение скорости частицы до первоначальной величины. Наоборот, уменьшение скорости мелкой частицы вызывает увеличение подъемной силы воздуха и ускорение движения до восстановления прежней скорости. Таким образом, благодаря устойчивой инерционности потока мелочи, влиянием соударений частиц на скорости их движения можно пренебречь.

Процесс отрыва от ротора и взвешивания частиц материала в воздушном потоке весьма сложен и недостаточно изучен. По данным работы /142/ в его основе лежит комплексное воздействие на частицу различных факторов – турбулентных вихрей, неоднородности скоростного поля, наличия градиента скорости и др. Опытами установлено, что в зависимости от скорости потока и крупности частиц движение может начинаться путем перекатывания или их скольжения, скачкообразного движения с периодическим взвешиванием, а также устойчивого перемещения во взвешенном состоянии. Скорость воздуха, при которой происходит отрыв частицы и начинается движение, определяется состоянием равновесия между силами частицы. Эта скорость, как и критическая скорость воздуха $v_{кр}$, определяет граничные условия трогания и называется критической скоростью трогания $v_{тр}$. Очевидно, что $v_{тр} \leq v_{кр}$.

Коэффициент сопротивления движению частиц при трогании отличается по величине от коэффициента сопротивления при взвешивании в вертикальном потоке. Существенное влияние при этом оказывает асимметричность обтекания частиц потоком воздуха. Экспериментальные исследования /142/ свидетельствуют о рациональности оценки критической скорости трогания через критическую скорость воздуха. Установлено, что для частиц размером более 1,5-2,0 мм

$$v_{тр} = v_{кр} \sqrt{\psi'},$$

где ψ' – приведенный коэффициент сопротивления, зависящий от формы частиц и состояния их поверхности ($\psi < 1,0$).

Расход воздуха, необходимый на перемешивание измельчаемого материала зависит от скорости воздушного потока и площади поперечного сечения каналов для его выхода:

$$Q = \kappa \cdot S \cdot v_a, \quad (3.36)$$

где κ – коэффициент запаса, принимаемый обычно равным 1,2;

S – суммарная площадь поперечного сечения каналов.

Применительно к схеме измельчителя, показанной на рисунке 3.12, отверстия для подачи сжатого воздуха следует располагать непосредственно перед режущими лезвиями вращающихся ножей. В этом случае расход воздуха на перемешивание измельчаемых материалов может быть незначительным (рисунок 3.26).

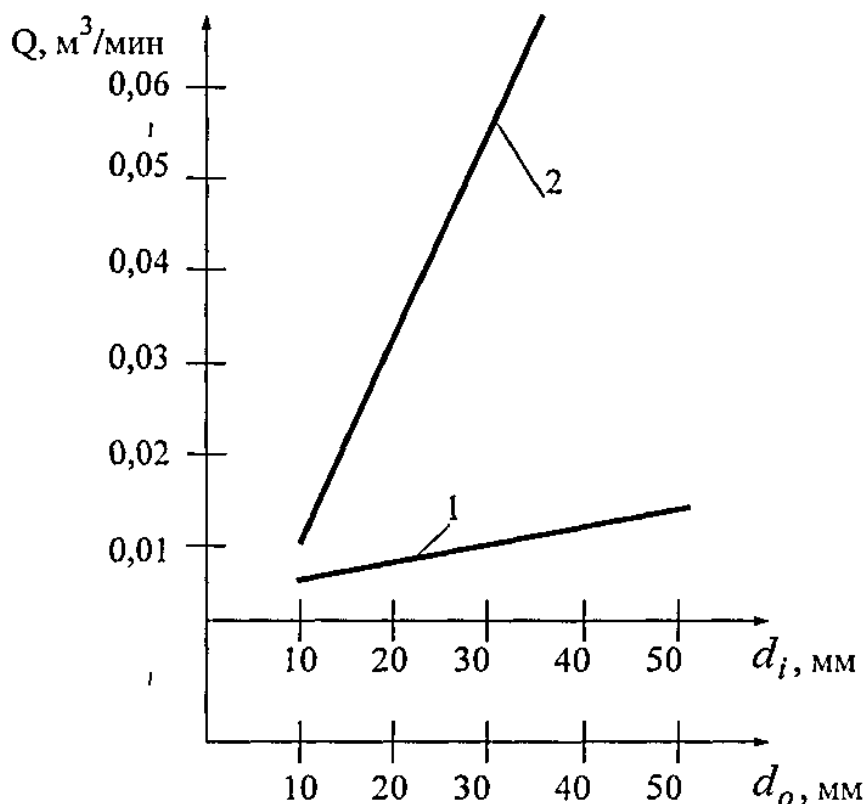


Рисунок 3.26 – Зависимости расхода сжатого воздуха от размера частиц материала (1) и диаметра отверстий (2).

Как следует из расчетных данных, представленных на рисунке 3.26, размер частиц материала не оказывает существенного влияния на расход воздуха, но при увеличении диаметра отверстий для подачи сжатого воздуха его расход резко возрастает.

Для определения необходимой силы давления воздушного потока рассмотрим схемы взаимодействия измельчаемого материала с ротором и корпусом измельчителя.

При нахождении на роторе измельчителя 1 одиночной частицы материала 2 (рисунок 3.27) в состоянии покоя на частицу действует только сила веса $G_{\text{ч}}$. После включения измельчителя за счет вращения ротора частица материала подвергается воздействию центробежной силы $F_{\text{ц.б.}}$, которая вызывает силу трения $F_{\text{тр}}$ частицы о неподвижный корпус измельчителя 3.

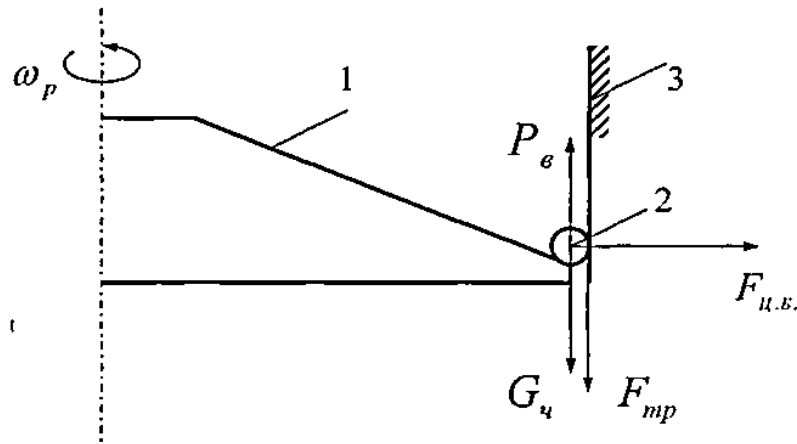


Рисунок 3.27 – Схема сил, действующих на одиночную частицу материала

В этом случае сила давления воздушной струи, необходимая для подъема частицы материала, равна:

$$P_{\text{в}} = G_{\text{ч}} + F_{\text{тр}} = G_{\text{ч}} + F_{\text{ц.б.}} \cdot f_{\text{к}} = G_{\text{ч}} + m_{\text{ч}} \cdot \omega_p^2 \cdot R \cdot f_{\text{к}}$$

или $P_{\text{в}} = m_{\text{ч}} \cdot g + m_{\text{ч}} \cdot \omega_p^2 \cdot R \cdot f_{\text{к}} = m_{\text{ч}} (g + \omega_p^2 \cdot R \cdot f_{\text{к}}), \quad (3.37)$

где R - радиус ротора измельчителя;

f_k - коэффициент трения частицы материала о корпус.

В процессе измельчения на роторе находится не одиночная частица, а определенный объем материала, располагаемый послойно (рисунок 3.28)

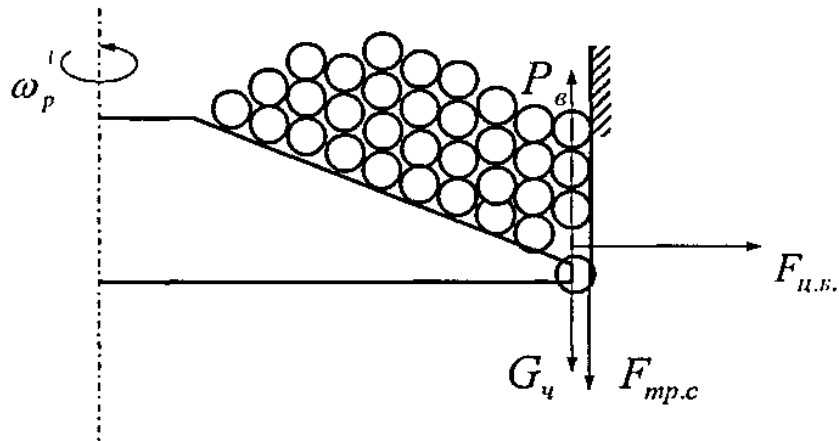


Рисунок 3.28 – Расположение частиц материала на роторе измельчителя

При таком расположении материала величина центробежной силы зависит от места нахождения частицы на роторе. Если принять массу частиц условно одинаковой, получим:

$$F_{ц.б.1} = m_q \cdot \omega_p^2 \cdot R,$$

$$F_{ц.б.2} = m_q \cdot \omega_p^2 \cdot (R - d_q),$$

$$F_{ц.б.3} = m_q \cdot \omega_p^2 \cdot (R - 2d_q),$$

$$F_{ц.б.n} = m_q \cdot \omega_p^2 \cdot (R - nd_q),$$

где $F_{ц.б.1}$, $F_{ц.б.2}$, $F_{ц.б.3}$ - центробежная сила, действующая на частицу материала, находящуюся в первом, втором, третьем вертикальном ряду от корпуса измельчителя.

Как следует из приведенных выражений, наибольшая центробежная сила действует на частицы материала, расположенные в первом вертикальном ряду, т.е. непосредственно у корпуса измельчителя.

Поскольку отверстия для подачи сжатого воздуха конструктивно следует располагать по периферии ротора, так как здесь закреплены вращающиеся

ножи, то усилие струи сжатого воздуха должно обеспечивать перемещение частиц материала в зоне их контакта с корпусом измельчителя. При этом сила веса частиц, находящихся в вертикальном ряду:

$$G = G_q \cdot n_{cl},$$

где n_{cl} - число слоев материала в вертикальном ряду.

Суммарная сила трения этих частиц равна:

$$F_{тр.с} = F_{тр1} + F_{тр2} + \dots + F_{тр.n_{cl}} = m_q \cdot n_{cl} \cdot \omega_p^2 \cdot R \cdot f_{ср},$$

где $f_{ср}$ - средняя величина коэффициента трения.

Так как под действием струи воздуха движущаяся частица трется и о корпус измельчителя, и о другие частицы, то

$$f_{ср} = \frac{1}{2}(f_k + f_q),$$

где f_q - коэффициент трения частицы о частицу.

Таким образом, необходимая сила давления воздушной струи равна

$$P'_e = G_q \cdot n_{cl} + F_{тр.с} = m_q \cdot n_{cl} (g + \omega_p^2 \cdot R \cdot f_{ср})$$

Экспериментальная проверка полученных результатов показала, что при подаче сжатого воздуха от компрессора производительностью 0,3 м³/мин при давлении 0,15 МПа происходило эффективное перемешивание измельчаемых материалов.

3.5 Шлифование материалов машиной с исполнительным органом двойного вращения

Ранее выполненными исследованиями /108/ установлено, что чем меньше фракция измельченных отходов, тем больше их область применения при изготовлении тепло- и звукоизоляционных изделий, строительных материалов и другой продукции. Поэтому целесообразно, на наш взгляд,

рассмотреть возможность применения процесса шлифования при измельчении отходов, как обеспечивающего наименьшую величину фракции.

Шлифование изделий абразивным кругом может производиться либо его периферией при применении плоского круга, либо торцом при применении чашечного круга (рисунок 3.29). Производительность обработки материалов во втором случае может быть значительно выше, так как при этом за один проход обрабатывается большая площадь.

При изучении процесса шлифования торцом круга [82] нами установлено, что обработка изделий производится, как правило, машинами с одним кругом, закрепленным на вертикальном валу. При этом направление усилия прижатия круга к изделию совпадает с его осью вращения.

Такая схема взаимодействия абразивного круга с изделием обладает следующими недостатками:

- наблюдается неустойчивость работы круга на изделии, а также его увод в сторону от оси вращения;
- необходимо гашение реактивного момента, возникающего при обработке изделия.

С целью устранения отмеченных недостатков, нами предложен исполнительный орган шлифовальной машины, имеющий два абразивных круга, установленных соосно и вращающихся в противоположные стороны [82].

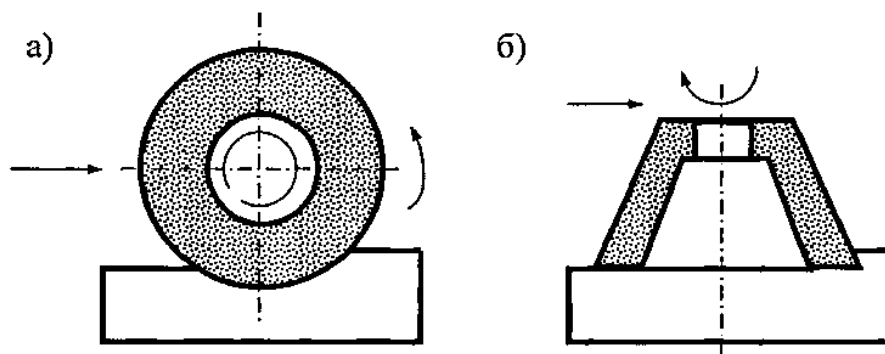


Рисунок 3.29 - Плоское шлифование

а) периферией круга;

б) торцом круга.

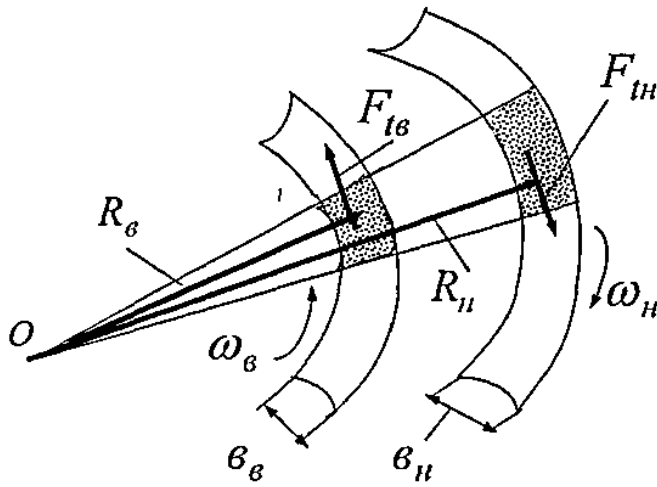


Рисунок 3.30 -
Схема к определению площади контакта
абразивных кругов с изделием

При этом необходимым условием обеспечения равенства крутящих моментов на внешнем и внутреннем абразивных кругах является неравенство площадей их контактных поверхностей с обрабатываемым материалом, а именно: площадь контакта внутреннего круга с изделием должна быть больше площади контакта наружного круга (рисунок 3.30). Равенство крутящих моментов на абразивных кругах можно записать следующим образом:

$$T_n = T_v,$$

$$T_n = F_{tn} \cdot R_n, \quad T_v = F_{tv} \cdot R_v,$$

$$F_{tn} \cdot R_n = F_{tv} \cdot R_v, \quad (3.38)$$

где F_{tn} , F_{tv} - окружные силы на наружном и внутреннем абразивных кругах;

R_n , R_v - радиусы приложения окружных сил.

Окружные силы можно определить из формул:

$$F_{tn} = q \cdot S_n, \quad F_{tv} = q \cdot S_v,$$

где q - удельное усилие резания.

Как видим, при постоянстве q окружная сила зависит от площади контакта абразивного круга с изделием S .

Расчетами установлено, что если принять величину зазора между внутренним и внешним кругами равным 5 – 10 мм, то соотношение радиусов этих кругов R_e / R_n составляет 0,90 – 0,95, а с увеличением диаметров кругов при постоянной величине зазора между ними, это соотношение приближается к единице. Тогда из выражения (3.38):

$$F_{in} = (0,90 - 0,95)F_{iv}$$

и следовательно

$$S_n = (0,90 - 0,95)S_e \quad (3.39)$$

Зная геометрические размеры наружного круга и используя выражение (3.39), можно определить параметры внутреннего круга. При таком подборе абразивных кругов, как показали эксперименты, отмеченные выше недостатки не наблюдаются.

Анализируя схему процесса обработки изделия исполнительным органом с одним и двумя абразивными кругами, нами установлено, что во втором случае можно ожидать повышения производительности шлифования за счет новой схемы взаимодействия рабочего органа с обрабатываемой поверхностью (рисунок 3.31). Так, если принять ширину изделия равной диаметру наружного круга, и последовательно обрабатывать его сначала одним кругом, а затем двумя кругами, обнаружим, что при шлифовании одним кругом за один проход все изделие обрабатывается один раз, а площадь $abcd$ - два раза; при шлифовании двумя кругами за один проход все изделие обрабатывается два раза, а площадь $a'b'e'd'$ - четыре раза.

Эксперименты, выполненные при шлифовании жестких кож из бычины шлифовальной машиной с двумя абразивными кругами, показали, что исполнительный орган такой конструкции обеспечивает повышение производительности процесса в 1,6 - 1,7 раза.

Вместе с тем установлено, что торцевые поверхности наружного и внутреннего абразивных кругов не всегда имеют одновременный контакт с обрабатываемой поверхностью, вследствие ее кривизны, и для достижения этого необходимо, чтобы один из кругов, предпочтительнее внутренний, был посажен на вал с возможностью осевого смещения и прижатия его к обрабатываемому изделию посредством пружины.

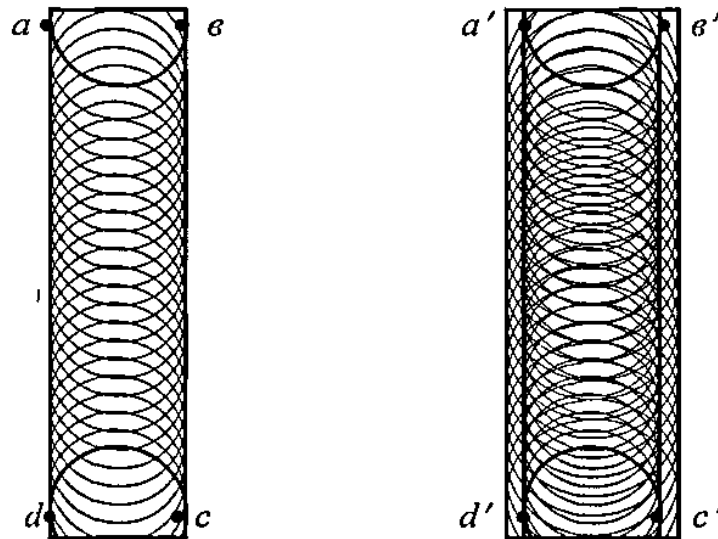


Рисунок 3.31 – Схемы обработки изделия одним и двумя абразивными кругами за один проход

В этом случае обработка изделия начинается внутренним кругом, так как за счет пружины он выдвинут относительно торца внешнего круга, а затем при приложении осевого усилия внутренний круг утапливается и обработка изделия производится обоими кругами одновременно, при этом обеспечивается постоянный контакт рабочих поверхностей абразивных кругов с изделием.

Процессы шлифования применяются также и при изготовлении и ремонте обуви, в частности, при клеевом креплении низа обуви, которое получило широкое распространение на предприятиях сервиса.

Прочность клеевого соединения зависит от ряда факторов, которые можно разделить на четыре группы: адгезионные, конструкционные, технологические, эксплуатационные [132]. Среди этих факторов существенное

значение имеет процесс образования шероховатости склеиваемых поверхностей, так как при этом увеличиваются площади контакта поверхностей за счет их разрыхления и, кроме того, происходит глубокое проникание клея в поры, трещины и неровности склеиваемых поверхностей. Экспериментально доказано, что искусственное увеличение шероховатости поверхностей приводит к значительному увеличению прочности клеевого соединения. Так, прочность на расслаивание для системы опоек хромового дубления – подошвенная кожа составила без обработки лицевой поверхности 0,63-1,2 кН/м, при смывании аппретуры – 1,0-1,6 кН/м, а при снятии лицевой поверхности взъерошиванием – 5,9-8,4 кН/м. При шлифовании неходовой поверхности кожаных подошв перед склеиванием прочность на расслаивание изменялась от 2,5-2,8 кН/м до 6,1-7,6 кН/м /132/.

Прочность на расслаивание существенно зависит также от технологии приклеивания деталей низа на прессе. Так, при приклеивании деталей низа на прессе типа ГПГ-4-0 пресс-подушки перемещаются к колодочным упорам с постоянной, нерегулируемой и достаточно высокой скоростью. Вследствие этого, при подходе колодки с затянутой заготовкой верха обуви к упорам происходит их ударное взаимодействие, что может вызывать смещение подошвы относительно колодки, разрывы заготовки верха и другие дефекты. С целью устранения этих недостатков, разработан пресс, обеспечивающий точную установку колодки относительно упоров /128/.

В ы в о д ы:

1. При раскрое деталей обуви и измельчении отходов резанием обувные материалы испытывают напряжения сжатия, растяжения, изгиба, основными из них являются напряжения сжатия и растяжения. Экспериментальное определение зависимостей «нагрузка-деформация» на образцах из кожи показало, что при статическом нагружении напряжения при максимальной деформации растяжения примерно в 5 раз меньше, чем при деформации сжатия; при динамическом нагружении деформация кожи увеличивается в 4-10 раз. Следовательно, резание кожевенных материалов целесообразно

осуществлять в динамическом режиме и таким образом, чтобы при этом преобладали напряжения растяжения материала.

2. Установлено, что как при раскрое деталей обуви, так и при измельчении отходов резанием происходит интенсивное изнашивание режущих лезвий, вследствие чего значительно увеличиваются усилия резания, а также возрастают нагрузки на вырубочные прессы и измельчающее оборудование, что приводит к их преждевременному износу. Вместе с этим, увеличиваются затраты времени и средств на поддержание режущих инструментов в требуемом рабочем состоянии. Поэтому весьма актуальной является задача разработки способа длительного сохранения необходимой степени остроты режущих инструментов.

3. Установлено, что процесс раскроя деталей обуви на прессе типа ПВГ-8-2-0 качество вырубаемых деталей зависит от точности установки ударника относительно вырубочной плиты. Аналитически показано, что, если ввести в конструкцию прессы регулятор угла поворота ударника, это позволит уменьшить количество дефектных деталей, получаемых при раскрое.

4. Показано, что при измельчении отходов обувного производства на установках роторного типа, необходимо обеспечить вращающимся ножам дополнительное перемещение в вертикальной плоскости относительно неподвижных ножей, что может быть достигнуто посредством применения кулачкового или кривошипно-шатунного механизма. При этом уменьшается угол резания материалов, а следовательно, и затраты мощности на процесс измельчения. Замена плоских ножей на цилиндрические вращающиеся фрезы позволит многократно увеличить время безостановочной работы измельчителя и уменьшить частоту вращения ротора.

5. Показано, что с целью интенсификации процесса измельчения на установках роторного типа, необходимо обеспечить подачу в зону резания небольшого количества сжатого воздуха для перемешивания измельчаемых материалов. Экспериментально-аналитическим путем определены требуемые параметры воздушного потока.

6. При изучении процесса шлифования материалов установлено, что применение шлифовальной головки с исполнительным органом двойного

вращения, когда установленные соосно абразивные круги вращаются в противоположные стороны, обеспечивает повышение производительности обработки изделия в 1,6-1,7 раза, одновременно с этим снижается уровень вибрации, повышается устойчивость головки на изделии в процессе шлифования за счет гашения реактивного момента.

4. ПРОЦЕССЫ ВАКУУМНО-СОРБЦИОННОГО УВЛАЖНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХА ОБУВИ

4.1 Влияние фазы влагопереноса на его скорость

Известно /85/, что для любой капиллярно-пористой системы, типичным представителем которой является кожа, влагоперенос может осуществляться различными способами: эффузией (молекулярный поток по Кнудсену), диффузией жидкообразной влаги (вязкий поток по Пуазейлю), переносом в адсорбционном слое (поверхностная диффузия, пленочное течение).

Для оценки вклада каждого из этих процессов в суммарный влагоперенос при вакуумно-сорбционном увлажнении используем первый закон Фика /86/.

$$\Delta M = -D \frac{d\rho}{dx} \cdot \Delta S \cdot \Delta \tau, \quad (4.1)$$

где ΔM - масса компонента, которая переносится за время $\Delta \tau$ через элементарную площадку ΔS в направлении нормали x к рассматриваемой площадке в сторону убывания плотности;

$\frac{d\rho}{dx}$ - градиент плотности;

D - коэффициент диффузии.

Величину коэффициента диффузии в газовой среде согласно кинетической теории газов определим по формуле /101/

$$D = \frac{1}{3} \bar{u} \cdot \bar{\lambda}, \quad (4.2)$$

где $\bar{u}$ - средняя скорость теплового движения молекул;

$\bar{\lambda}$ - средняя длина свободного пробега молекул.

Существует ряд формул для определения средней длины свободного пробега молекул, например /101/:

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\pi \sqrt{2} \cdot d^2 \cdot p}, \quad (4.3)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана;
 T – температура по Кельвину;
 d – диаметр молекулы;
 p – давление газа.

Так, при $T=323\text{K}$ /50 °C и соответствующем ей равновесном давлении паров воды $p = 12,3 \cdot 10^3$ Па величина средней длины свободного пробега молекулы воды диаметром $3,0 \cdot 10^{-10}$ м составит $0,906 \cdot 10^{-6}$ м.

Величину средней скорости теплового движения молекулы воды определим по формуле /101/:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot \mu}} \approx 1,60 \sqrt{\frac{kT}{m}}, \quad (4.4)$$

где m – масса молекулы воды, равная $29,9 \cdot 10^{-27}$ кг.

При принятых параметрах $\bar{u} \approx 6,17 \cdot 10^2$ м/с.

Тогда коэффициент диффузии пара составит:

$$D = \frac{1}{3} \cdot 6,17 \cdot 10^2 \cdot 0,906 \cdot 10^{-6} = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$$

Для определения коэффициента диффузии жидкообразной влаги воспользуемся формулой:

$$D_l = \frac{kT}{6\pi \cdot \eta \cdot d}, \quad (4.5)$$

где η – динамический коэффициент вязкости воды.

Этот коэффициент можно определить по формуле Пуазейля:

$$\eta = \eta_0 [1 + 0,0377 \cdot (T - 273\text{K}) + 0,000221 \cdot (T - 273\text{K})^2]^{-1}, \quad (4.6)$$

где η_0 – величина динамического коэффициента вязкости

(при $T=273\text{K}$, $\eta_0 = 17,9 \cdot 10^{-4}$ Нс/м²).

Тогда при $T=323\text{K}$ имеем:

$$\eta = 17,9 \cdot 10^{-4} [1 + 0,0377 \cdot 50 + 0,000221 \cdot 50^2]^{-1} = 5,21 \cdot 10^{-3} \text{ Нс/м}^2,$$

а коэффициент диффузии жидкообразной влаги $D_I = 1,51 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

Таким образом, из сравнения величин $D = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ и $D_I = 1,51 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ следует, что интенсивность массопереноса влаги в газовой фазе на 6 порядков выше, чем в жидкой.

В связи с этим, при моделировании процесса вакуумно-сорбционного увлажнения следует рассматривать влагоперенос по капиллярам кожи в газообразной фазе, как более эффективный.

4.2 Характер изменения концентрации пара от времени по длине капилляра.

Пусть в цилиндрической трубке длиной L в момент времени $\tau < 0$ нет молекул водяного пара и воздуха. В момент времени $\tau = 0$ убирается перегородка между одним из оснований трубки и резервуаром, содержащим водяной пар.

Предполагаем, что объем резервуара много больше объема трубки. Определим концентрацию водяного пара в трубке в момент времени $\tau > 0$, предполагая, что длина трубки намного больше ее поперечных размеров. В этом случае задачу можно считать одномерной. Начало координат расположим на границе между трубкой и резервуаром с парами воды. Ось x направлена в трубку. Тогда процесс проникновения водяных паров в трубку может быть описан уравнением диффузии [98]:

$$\frac{du}{d\tau} = D \frac{d^2 u}{dx^2}, \quad (4.7)$$

где $u(x, \tau)$ - концентрация паров воды, зависящая от расположения и времени.

На границе между резервуаром и трубкой, т.е. при $x=0$, концентрация равна u_o , где u_o - концентрация паров в резервуаре. Так как объем резервуара по принятому нами условию много больше объема трубки, величину u_o можно считать постоянной.

Получаем граничное условие:

$$u(0, \tau) = u_o \quad (4.8)$$

На другом конце трубки (при $x=L$) происходит отражение молекул воды (выполняется условие непроницаемости).

Математически это условие запишется в виде:

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{x=L} = 0 \quad (4.9)$$

Так как при $\tau = 0$ в трубке нет паров воды, то имеем:

$$u(x, 0) = 0, \quad (4.10)$$

где $0 \leq x \leq L$.

Решение уравнения (4.7) с краевыми условиями (4.8) и (4.9) и начальным условием (4.10) имеет вид:

$$u(x, \tau) = u_o - \frac{4u_o}{\pi} \cdot \sum_{K=0}^{\infty} \frac{1}{2K+1} \cdot e^{-\frac{(2K+1)^2 \pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{(2K+1) \cdot \pi x}{2L} \quad (4.11)$$

Остаток данного ряда оценивается по формуле [97]:

$$\left| R_n(x, \tau) \right| < \frac{2u_o \cdot e^{-A_n^2}}{\pi \cdot A_n^2}, \quad (4.12)$$

$$\text{где } A_n = \frac{(2n+1)\pi\sqrt{D\tau}}{2L}.$$

Из формулы (4.12) следует, что при малых τ в уравнении (4.11) нужно учитывать значительное число членов ряда, затем по мере возрастания τ их число можно уменьшить и, наконец, при больших значениях τ в ряде можно

учитывать один-два члена, а затем при максимальном значении τ ряд становится практически равным нулю, а концентрация всюду равной u_o .

При малых значениях τ вместо уравнения (4.11) удобнее воспользоваться решением, полученным в работе /155/:

$$u(x, \tau) = 2u_o \left[1 - \Phi\left(\frac{x}{\sqrt{2D\tau}}\right) + \Phi\left(\frac{x-2L}{\sqrt{2D\tau}}\right) \right], \quad (4.13)$$

здесь $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{\alpha^2}{2}} \cdot d\alpha$ - интеграл вероятностей.

Так, при $\tau < \tau_o = \frac{0,2L^2}{D}$ рекомендуется пользоваться уравнением (4.13),

при $\tau \geq \tau_o$ ниже приведенным уравнением:

$$u(x, \tau) = u_o - \frac{4u_o}{\pi} \cdot \left[e^{-\frac{\pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{2L} + \frac{1}{3} e^{-\frac{9\pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{3\pi \cdot x}{2L} \right] \quad (4.14)$$

Для дальнейшего анализа упростим уравнения (4.13) и (4.14) с помощью замены переменных

$$C_1 = \frac{2D}{L^2}, \quad C_2 = \frac{x}{L} \quad (4.15)$$

После преобразования уравнений (4.13) и (4.14) получаем:

$$\text{для } \tau < \tau_o \quad u(x, \tau) = 2u_o \left[1 - \Phi\left(\frac{C_2}{\sqrt{C_1}}\right) + \Phi\left(\frac{C_2-2}{\sqrt{C_1}}\right) \right], \quad (4.16)$$

для $\tau \geq \tau_o$

$$u(x, \tau) = u_o - \frac{4u_o}{\pi} \cdot \left[e^{-\frac{\pi^2 C_1}{8}} \cdot \sin \frac{\pi C_2}{2} + \frac{1}{3} \cdot e^{-\frac{9\pi^2 C_1}{8}} \cdot \sin \frac{3\pi \cdot C_2}{2} \right] \quad (4.17)$$

Следовательно, как следует из анализа уравнений (4.16) и (4.17), концентрация является функцией только трех переменных - u_0 , C_1 , C_2 , причем u_0 является просто множителем.

Таким образом, концентрацию $u(x, \tau)$ можно выразить уравнением:

$$u(x, \tau) = u_0 \cdot f(C_1, C_2),$$

где $f(C_1, C_2)$ - определяется либо уравнением (4.16), либо уравнением (4.17).

Из анализа функции $f(C_1, C_2)$, представленной в виде таблицы в работе /155/, следует, что средняя концентрация паров воды в трубке, равная $u_0/2$, наступит через время τ :

$$\tau = 0,22 \frac{L^2}{D}, \quad (4.18)$$

а для создания 95% концентрации паров воды в трубке потребуется время

$$\tau = 1,95 \frac{L^2}{D} \quad (4.19)$$

Реальные капилляры кожи не являются цилиндрическими трубками, к тому же имеют малый диаметр, поэтому при анализе процесса диффузии в капиллярах необходимо учитывать малость их диаметров и извилистость /102/.

Как следует из формулы (4.2), коэффициент диффузии пропорционален средней длине свободного пробега молекул. Вблизи стенок капилляра, очевидно, средняя длина пробега молекул будет меньше, так как молекулы пара будут сталкиваться не только друг с другом, но и со стенками. Чем меньше диаметр капилляра, тем меньше средняя длина свободного пробега, а значит, и коэффициент диффузии.

Известно, /104/ что средний радиус капилляров кож хромового дубления составляет $2,48 \cdot 10^{-6}$ м, следовательно, средний диаметр примерно в 5 раз больше средней длины пробега молекул пара $\bar{\lambda} = 0,906 \cdot 10^{-6}$ м, определенной при $t = 50^\circ \text{C}$ и давлении $P = 12,3 \cdot 10^3$ Па. Поэтому для пор среднего радиуса

и более коэффициент диффузии в поперечном направлении будет отличаться не более, чем на 20%. При движении молекул в продольном направлении уменьшение средней длины свободного пробега молекул, очевидно, еще меньше. Извилистость капилляров также несколько уменьшает коэффициент диффузии, так как молекулы чаще сталкиваются со стенками, но в виду малой величины $\bar{\lambda}$, это влияние будет незначительно для пор среднего и большого радиусов. Извилистость капилляров для хромовых кож составляет 1,4-2,6 м/м.

Считая продольный коэффициент диффузии в средних и широких капиллярах примерно таким же, как и вдали от стенок, время τ , за которое средняя концентрация пара в капилляре со средним значением коэффициента извилистости $\xi = 2,0 \text{ м/м}$ и толщиной кожи в 1,5 мм станет равной 95% концентрации пара в резервуаре составляет примерно 10^{-1} с .

В микрокапиллярах ($r < 10^{-7} \text{ м}$) средняя длина свободного пробега молекулы пара в поперечном направлении равна примерно диаметру капилляра и в этом случае заполнение микрокапилляров происходит в течение нескольких секунд.

4.3 Характер капиллярно - сорбционного процесса конденсации паров¹ воды при вакуумно-сорбционном увлажнении

Известно [105], что капиллярная конденсация водяного пара происходит только в мелких капиллярах с эффективным радиусом $r < 10^{-7} \text{ м}$ и даже в тех случаях, когда стенки капилляров гидрофобны. Отсюда следует, что при вакуумно-сорбционном увлажнении привес влаги в коже происходит за счет конденсации влаги в микрокапиллярах.

Для построения математической модели этого процесса представим капилляры кожи как цилиндрические трубки, длина каждой из которых значительно больше ее диаметра, равного $2r_0$, где r_0 - радиус единичного

капилляра. Пусть в момент времени τ_0 начинается процесс переноса пара в трубку и его осаждение на стенках. Процесс конденсации пара можно считать равномерным, потому что, во-первых, диффузия паров, как было выяснено выше, происходит очень быстро, так как воздух из капилляров удален при вакуумировании, а во-вторых, число сконденсировавшихся молекул пара зависит от первоначальной разности температур стенки, водяного пара и сил поверхностного натяжения, которые одинаковы по всей длине капилляра.

В результате конденсации пара на стенках радиус части трубки, не занятой паром, будет уменьшаться. Изменение этого радиуса обозначим $r(\tau)$ и выясним, как он зависит от времени.

Пусть за время $\Delta\tau$ на стенках трубки сконденсируется масса влаги Δm , для которой справедливо выражение:

$$\Delta m = \Delta V \cdot \rho_v, \quad (4.20)$$

где ΔV - приращение объема водяного слоя, м^3 ;

ρ_v - плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Приращение объема влаги ΔV равно:

$$\Delta V = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot L, \quad (4.21)$$

где Δr - изменение радиуса трубки;

L - длина трубки

$$L = \xi \cdot l,$$

где l - расстояние между торцами трубки.

Масса Δm по закону Фика [85]:

$$\Delta m = -D \frac{d\rho_n}{dx} \cdot S(\tau) \cdot d\tau, \quad (4.22)$$

где $S(\tau)$ - площадь сечения трубки в момент времени $\Delta\tau$

$$S(\tau) = \pi[r(\tau)]^2,$$

ρ_n - плотность пара.

Подставляя выражения (4.21) и (4.22) в (4.20), получим:

$$-D \frac{d\rho_n}{dx} \cdot \pi r^2 \cdot \Delta \tau = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot L \cdot \rho_v \quad (4.23)$$

$$\text{или} \quad -D \frac{d\rho_n}{dx} \cdot r \cdot \Delta \tau = 2L \cdot \rho_v \cdot \Delta r \quad (4.24)$$

Заменяя приращение дифференциалами, получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными:

$$-\frac{D \frac{d\rho_n}{dx}}{2L \cdot \rho_v} \cdot d\tau = \frac{dr}{r} \quad (4.25)$$

Проинтегрировав выражение (4.25), получим:

$$\ln(r) = -\frac{D \frac{d\rho_n}{dx}}{2L \cdot \rho_v} \cdot \tau + C_1, \quad (4.26)$$

$$\text{или} \quad r(\tau) = C_1 \cdot e^{-\frac{D\rho'_n}{2L \cdot \rho_v} \cdot \tau} \quad (4.27)$$

При $\tau = 0$ радиус равен r_0 , поэтому $C_1 = r_0$, а $\rho'_n = \rho'_n(0)$ - градиент концентрации пара на входе в капилляр, тогда

$$r(\tau) = r_0 \cdot e^{-\frac{D\rho'_n(0)}{2L \cdot \rho_v} \cdot \tau} \quad (4.28)$$

Объем сконденсированной влаги в капиллярной трубке определяется по следующему выражению:

$$\begin{aligned} V_{вл} &= V_{тр.нач} - V_{тр.кон} = \pi r_0^2 L - \pi r_0^2 \cdot \left(e^{-\frac{D\rho'_n(0)}{2L \cdot \rho_v} \cdot \tau} \right)^2 \cdot L = \\ &= \pi r_0^2 L \cdot \left(1 - e^{-\frac{D\rho'_n(0)}{2L \cdot \rho_v} \cdot \tau} \right)^2 \end{aligned} \quad (4.29)$$

Для вычисления объема влаги по формуле (4.29) необходимо знать значения D и $\rho'_n(0)$, которые зависят от давления и температуры пара.

Задавшись их средними значениями, можно теоретически определить объем сконденсированной влаги. Средний градиент концентрации пара по длине трубки равен:

$$\frac{d\rho_n}{dx} = \frac{\rho_n}{x} \quad (4.30)$$

Для установления зависимости между средним градиентом концентрации пара и градиентом концентрации на входе в капилляр, рассмотрим решение уравнения диффузии с поглощением [155]:

$$D \frac{d^2 \rho_n}{dx^2} - K_I = 0, \quad (4.31)$$

где K_I - масса пара, сконденсировавшегося за единицу времени на единице длины трубки.

Проинтегрировав дважды выше приведенное уравнение, получим:

$$\rho_n = \frac{K_I}{2D} \cdot x^2 + C_1 x + C_2 \quad (4.32)$$

Для определения величин C_1 и C_2 воспользуемся начальными условиями:

$$\rho_n(0) = \rho_{n_0},$$

где ρ_{n_0} - плотность пара на входе в капилляр.

$$\left. \frac{d\rho_n}{dx} \right|_{x=L} = 0 \text{ - из условия непроницаемости.}$$

Следовательно

$$C_2 = \rho_{n_0}, \quad C_1 = -\frac{K_I}{D} \cdot L$$

Подставляя найденные значения в уравнение (4.32), получим:

$$\rho_n = \frac{K_1}{2D} \cdot x^2 - \frac{K_1}{2D} \cdot x \cdot L + \rho_{n_0} \quad (4.33)$$

Отсюда
$$\frac{d\rho_n}{dx} = \frac{K_1}{D} \cdot x - \frac{K_1}{D} \cdot L$$

Тогда при $x=0$ имеем:

$$\left. \frac{d\rho_n}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{K_1}{D} \cdot L.$$

Найдем средний градиент пара на отрезке $(0;L)$, используя формулу:

$$\left(\frac{d\rho_n}{dx} \right)_{cp} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L \frac{d\rho_n}{dx} \cdot dx, \quad (4.34)$$

из которой имеем:

$$\left(\frac{d\rho_n}{dx} \right)_{cp} = \frac{1}{L} \left(\frac{K_1}{D} \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{K_1}{D} \cdot L \cdot x \right) \Big|_0^L = \frac{1}{L} \left(\frac{K_1}{D} \cdot \frac{L}{2} - \frac{K_1}{D} \cdot L \cdot L \right) = -\frac{K_1 L}{2D} \quad (4.35)$$

Следовательно, величина среднего градиента концентрации пара на отрезке $(0; L)$ в два раза меньше градиента в точке $x=0$.

Градиент концентрации пара на входе в капилляр:

$$\rho'_n(0) = \frac{d\rho_n(0)}{dx} = \frac{2\rho_n}{L} \quad (4.36)$$

Подставив выражение (4.36) в уравнение (4.29), получим:

$$V_{вл} = \pi r_o^2 L \cdot \left(1 - e^{-\frac{2D\rho_n}{L^2 \cdot \rho_v} \cdot \tau} \right)^2 \quad (4.37)$$

Уравнение (4.37) представляет собой выражение, позволяющее определить объем влаги, сконденсированной в коже, а если умножить его на плотность воды $\rho_в$, получим формулу для расчета массы влаги.

С учетом того, что конденсация паров воды может происходить только в микрокапиллярах, объем которых составляет в среднем 16,5 % в кожах хромового дубления, по уравнению (4.37) можно рассчитать теоретический привес влаги. Среднее значение плотности пара можно вычислить, используя закон Клайперона - Менделеева:

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} RT \quad (4.38)$$

Откуда плотность пара равна:

$$\rho_n = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}, \quad (4.39)$$

где μ - молярная масса водяного пара, равная 18 кг/К моль;

R - универсальная газовая постоянная, равная $8,31 \cdot 10^3$ Дж/(моль К)

Результаты расчета теоретического привеса влаги приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Теоретический привес влаги в коже в зависимости от времени вакуумно-сорбционного увлажнения

Теоретический привес влаги, %	Время увлажнения, мин				
	2	4	6	8	10
	9,5	13,5	15,3	16,0	15,8

Как видно из приведенных данных, с увеличением времени увлажнения интенсивность конденсации пара за счет капиллярно-сорбционных явлений падает. Наглядно это показано на рисунке 4.1.

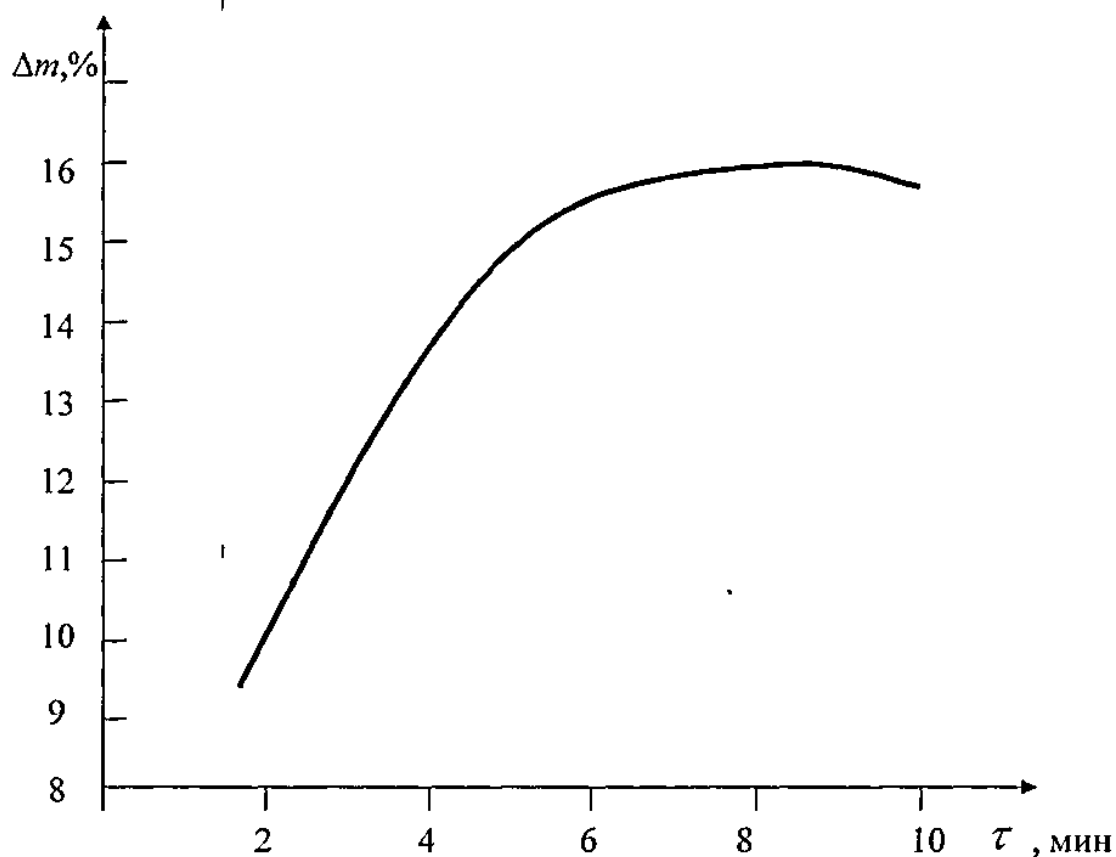


Рисунок 4.1 - Зависимость теоретического привеса влаги от времени вакуумно-сорбционного увлажнения

4.4 Характер конденсации в процессе теплообмена между кожей и паром

В результате теплообмена между кожей, имеющей начальную температуру T_n , и нагретым паром, происходит его конденсация, что и вызывает увеличение массы кожи за счет прироста в ней влаги [1, 101].

В общем случае зависимость удельной теплоемкости воды и парообразования от температуры в первом приближении является линейной. Для нахождения зависимости между температурой кожи и

количеством сконденсировавшейся в ней влаги в результате теплообмена, без учета капиллярно-сорбционных процессов, составим дифференциальное уравнение процесса.

Пусть за время $\Delta\tau$ в коже массой M_K произошла конденсация пара массой Δm , при этом коже передано количество тепла Δq :

$$\Delta q = \Delta m \cdot C_n(T), \quad (4.40)$$

где C_n - удельная теплоемкость парообразования.

В результате теплообмена за время $\Delta\tau$ температура кожи и уже сконденсированной влаги повысится на ΔT :

$$\Delta q = (M_K \cdot C_K + m \cdot C_v) \Delta T, \quad (4.41)$$

где C_K - удельная теплоемкость кожи;

C_v - удельная теплоемкость воды.

Приравняв правые части уравнений (4.40) и (4.41), получим дифференциальное уравнение:

$$\Delta m \cdot C_n(T) = (M_K \cdot C_K + m \cdot C_v) \Delta T \quad (4.42)$$

Заменяя приращения массы и температуры дифференциалами и разделяя переменные, получим:

$$\frac{dm}{M_K \cdot C_K + m \cdot C_v} = \frac{dT}{C_n(T)} \quad (4.43)$$

Решим полученное уравнение относительно m :

$$\frac{1}{C_v} \cdot \ln |M_K \cdot C_K + m \cdot C_v| = \int \frac{dT}{C_n(T)} + C_1 \quad (4.44)$$

$$M_K \cdot C_K + m \cdot C_v = C_1 \cdot e^{C_v \int \frac{dT}{C_n(T)}} \quad (4.45)$$

или

$$m = \frac{1}{C_v} \cdot \left(C_1 \cdot e^{C_v \int \frac{dT}{C_n(T)}} - M_K \cdot C_K \right) \quad (4.46)$$

Если предположить, что теплоемкость парообразования в интервале температур от 20 °С до 80 °С изменяется линейно, то получим:

$$\int \frac{dT}{C_n(T)} = \int \frac{dT}{a + \epsilon T} = \frac{1}{\epsilon} \cdot \ln|a + \epsilon T| \quad (4.47)$$

Тогда

$$e^{\frac{C_\epsilon}{\epsilon} \int \frac{dT}{C_n(T)}} = e^{\frac{C_\epsilon}{\epsilon} \ln|a + \epsilon T|} = (a + \epsilon T)^{\frac{C_\epsilon}{\epsilon}} \quad (4.48)$$

Следовательно

$$m(T) = \frac{1}{C_\epsilon} \left[(a + \epsilon T)^{\frac{C_\epsilon}{\epsilon}} - M_\kappa \cdot C_\kappa \right] \quad (4.49)$$

Рассмотрим частный случай, когда $C_n(T) = a = \text{const}$.

Тогда получим:

$$\ln|M_\kappa \cdot C_\kappa + m \cdot C_\epsilon| = \frac{C_\epsilon}{a} T + C_I \quad (4.50)$$

или

$$m = \frac{1}{C_\epsilon} \left(C_I \cdot e^{\frac{C_\epsilon T}{a}} - M_\kappa \cdot C_\kappa \right) \quad (4.51)$$

Найдем постоянную C_I из начального условия

$$m(T_H) = 0 \quad (4.52)$$

Тогда

$$C_I \cdot e^{\frac{C_\epsilon T_H}{a}} = M_\kappa \cdot C_\kappa \quad (4.53)$$

Отсюда

$$C_I = \frac{M_\kappa \cdot C_\kappa}{e^{\frac{C_\epsilon T_H}{a}}} \quad (4.54)$$

Окончательно получим:

$$m(T) = \frac{1}{C_\epsilon} \left(\frac{M_\kappa \cdot C_\kappa}{e^{\frac{C_\epsilon T_H}{a}}} \cdot e^{\frac{C_\epsilon T}{a}} - M_\kappa \cdot C_\kappa \right) \quad (4.55)$$

$$\text{или} \quad m(T) = \frac{M_k \cdot C_k}{C_v} \left(e^{\frac{C_v}{a}(T - T_n)} - 1 \right) \quad (4.56)$$

Задавшись средней удельной теплотой парообразования при 50 °С, равной 2382 кДж/кг [98], теплоемкостью воды, равной 4,19 кДж/(кг · К) и подставив их значения в уравнение (4.56), получим:

$$m(T) = \frac{M_k \cdot C_k}{4,19} \cdot \left(e^{\frac{4,19}{2382} \cdot (T - T_n)} - 1 \right) \quad (4.57)$$

Разделив обе части уравнения (4.57) на M_k , т.е., рассматривая влажность кожи как отношение массы влаги m к массе кожи до увлажнения, получим:

$$\frac{m}{M_k} = \frac{C_k}{4,19} \cdot \left(e^{0,00176 \cdot (T - T_n)} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (4.58)$$

Задавшись удельной теплоемкостью кожи C_k , равной 1,61 кДж/(кг · К), получим численные значения привеса влаги в коже в зависимости от температуры, представленные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Теоретические значения привеса влаги в коже в результате теплообмена в зависимости от температуры

Характеристика	Температура, °С						
	20	30	40	50	60	70	80
Привес влаги, %	0	0,7	1,3	2,1	2,8	3,6	4,3

Суммарный теоретический привес влаги в коже при вакуумно-сорбционном увлажнении может быть рассчитан как сумма привесов влаги, полученных в результате капиллярно-сорбционных явлений и теплообмена.

Численные значения этих величин, полученных теоретически, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Значения суммарного теоретического привеса влаги в зависимости от времени вакуумно-сорбционного увлажнения.

Показатели привеса	Время увлажнения, мин			
	2	4	6	8
Теоретический привес влаги при капиллярно-сорбционных процессах, %	9,5	13,5	15,3	16,0
Теоретический привес влаги в результате теплообмена, %	2,5	2,6	2,7	2,8
Теоретический суммарный привес влаги, %	12,0	16,1	18,0	18,8

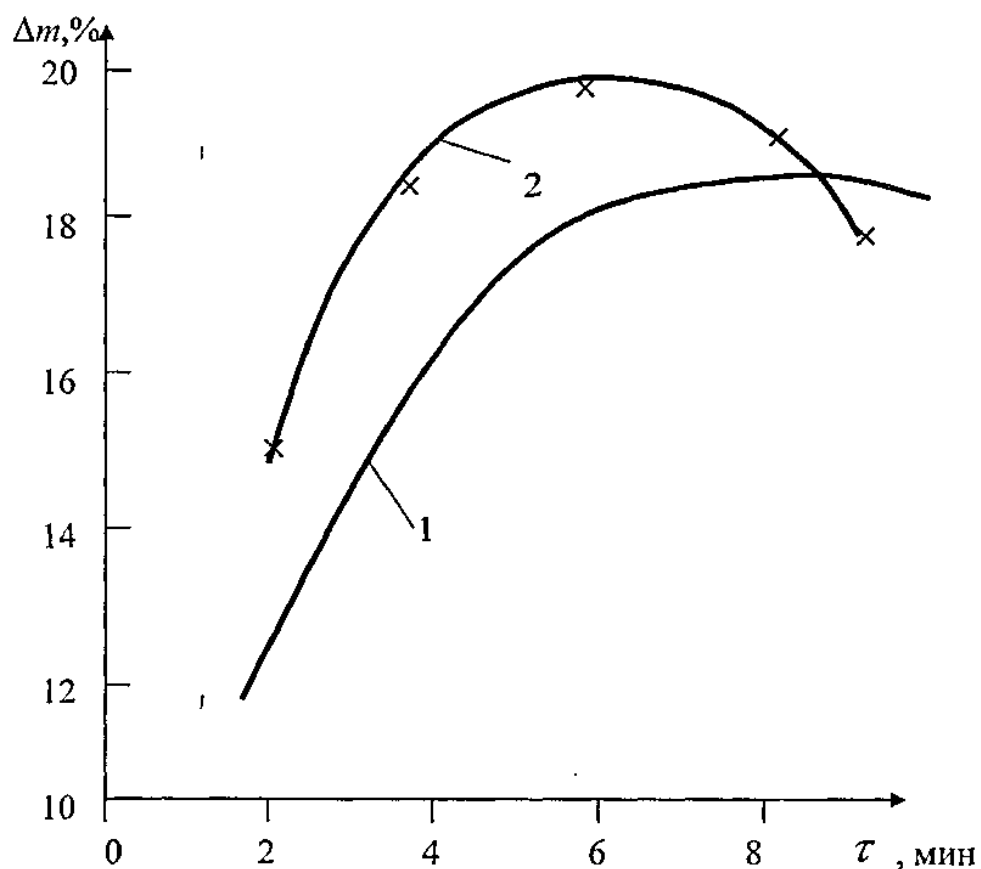


Рисунок 4.2 - Зависимости привеса влаги в образцах кожи, рассчитанные теоретически (1) и полученные экспериментальным путем (2).

С учетом этого получены аналитические выражения для теоретического определения массы сконденсированной влаги в результате капиллярно-сорбционных процессов и массы влаги, сконденсированной в начальный момент времени в результате теплообмена между паром и кожей:

$$m_{вл} = \pi r_o^2 L \cdot \left(1 - e^{-\frac{2D \cdot \rho_n \cdot \tau}{L^2 \cdot \rho_v}} \right) \cdot \rho_v, \quad (4.59)$$

$$m = \frac{C_k}{4,19} \left(e^{0,00176 \cdot (T - T_n)} - 1 \right) \cdot M_k. \quad (4.60)$$

Экспериментальная проверка расчетов, выполненных по формулам (4.59), (4.60) представлена на рисунке 4.2. Разница в показателях, рассчитанных теоретически и полученных экспериментальным путем, не превышает 20%, что свидетельствует об адекватности разработанной математической модели процесса увлажнения.

4.5 Режимы вакуумно-сорбционного увлажнения

В известных устройствах /20, 80/, реализующих вакуумно-сорбционный способ увлажнения, подача пара к образцам, расположенным внутри вакуумной камеры, производится из парогенератора. Причем пар, в отдельно стоящем парогенераторе, образуется при атмосферном или пониженном давлении, но данные о влиянии предварительного нагрева воды, геометрических размеров парогенератора и камеры на относительную влажность увлажняемых кож в литературе отсутствуют.

Влияние способа подачи пара и предварительного нагрева воды, на относительную влажность кож хромового дубления и систем материалов изучалось на экспериментальных установках, описанных в главе 2. Образцы в камере располагались в двух зонах – непосредственно над впускным патрубком, соединяющим камеру через вентиль с водяным бачком (зона 1) и на расстоянии 150 мм по горизонтали от патрубка (зона 2). Эта серия опытов

проводилась при диаметре проходного сечения вентиля 3 мм. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Влияние температуры предварительного нагрева воды в парогенераторе на привес влаги в образцах кожи хромового дубления (время увлажнения 5 мин)

Температура воды, °C	Конечное давление в камере, МПа	Конечная температура в камере, °C	Привес влаги в образцах, %	
			Зона 1	Зона 2
60	0,024	55	3,51	2,35
70	0,028	56	4,02	2,44
80	0,034	58	4,25	2,522

Как видно из данных таблицы 4.4, значения привеса влаги в образцах, находившихся в разных зонах, существенно отличаются. При этом с увеличением температуры воды относительная влажность как в той, так и в другой зонах возрастала.

Температура в камере в точках измерения не отличалась друг от друга (в пределах точности измерения) и незначительно росла по мере увеличения температуры воды в бачке. Конечное давление в камере изменялось незначительно в интервале температур 60-70 °C от 0,024 до 0,028 МПа, максимальный рост – 0,034 МПа наблюдался при температуре воды 80 °C.

Малый привес влаги в образцах, полученный в этой серии опытов, объясняется, очевидно, тем, что из-за низкой пропускной способности вентиля в камеру поступало небольшое количества пара. Градиенты влажности и температуры, под действием которых влага проникала в образцы, в этих условиях были небольшими. В связи с этим, дальнейшие опыты были проведены при диаметре проходного сечения вентиля 10 мм, а температура воды в бачке изменялась от 60 до 90 °C, таблица 4.5.

Таблица 4.5 - Влияние температуры предварительного нагрева воды в парогенераторе на привес влаги в образцах кожи хромового дубления (время увлажнения 5 мин)

Температура воды, °C	Конечное давление в камере, МПа	Конечная температура в камере, °C	Привес влаги в образцах, %	
			Зона 1	Зона 2
60	0,036	53	6,01	3,88
70	0,040	55	6,75	4,01
80	0,042	58	7,04	5,19
90	0,043	62	7,05	5,19

Как видно из данных таблицы 4.5, увеличение пропускной способности вентиля привело к осязательному росту привеса влаги в увлажняемых образцах.

Однако, по-прежнему, наблюдался существенный разброс в величинах привеса влаги в образцах, помещенных в различных зонах камеры. Кроме того, в первые моменты после открытия вентиля отмечался выброс воды из бачка вследствие резкого перепада давлений. Выброс воды приводил к частичному намоканию образцов, расположенных непосредственно над патрубком (входом пароводяной смеси в камеру). Установка в камере отражателя и рассекателя пара значительно усреднило увлажненность образцов в разных точках камеры. Однако и в этой серии опытов максимальная влажность образцов после обработки оставалась недостаточной. Кроме этого, с ростом температуры воды выше 80° C практического привеса влаги не наступало.

В связи с имеющейся картиной неравномерного увлажнения образцов, находящихся в интенсивном паропотоке и вне его, были проведены эксперименты, в которых изменялся рабочий объем камеры при неизменном его общем объеме и постоянном объеме и площади зеркала воды в емкости. Это достигалось введением в камеру дополнительных перегородок, ограничивавших распространение интенсивного паропотока в разные стороны.

В результате проведенных экспериментов было выявлено, что по мере уменьшения рабочего объема камеры влажность образцов, находящихся в

нем нивелировалась. Одновременно с этим росло приходящееся на единицу рабочего объема камеры количество воды, выброшенной из бачка. Когда рабочий объем был доведен до $1/3$ объема камеры, все образцы имели замокание. При этом наблюдался конденсат водяного пара как на стенках, так и на поверхности образцов.

Были проведены также эксперименты по уменьшению общего объема камеры при неизменном объеме бачка. Это достигалось введением в камеру наполнителя с малой гигроскопичностью. Опыты показали, что с уменьшением объема давление в камере росло во времени быстрее, что приводило к быстрому затуханию парообразования в бачке и, как следствие, незначительному увлажнению. Это хорошо согласуется с теоретическими данными /43/, согласно которым существует критическое соотношение между объемом камеры, величиной разрежения (вакуума) и массой изделий, помещенных в камеру, меньше которого вакуумное увлажнение практически не происходит, так как процесс при быстром повышении давления в камере переходит в другую фазу - увлажнение сорбцией влаги из воздуха при давлениях, близких к атмосферному.

Для того, чтобы избавиться от нежелательного явления выброса воды из бачка в камеру, а также с целью увеличения зоны интенсивного паропотока, емкость с водой была помещена непосредственно в камеру, так, что образцы в любой точке камеры находились над открытой водной поверхностью. В этих условиях при понижении давления в камере пар, образующийся в процессе кипения воды, не изменяет своего термодинамического состояния при поступлении к поверхности увлажняемых образцов, но находится в таком состоянии которое соответствует давлению и температуре, имеющимся внутри камеры.

В результате проведенной серии экспериментов было установлено, что образцы, помещенные в различные зоны камеры имели равномерное увлажнение, при этом разброс привеса влаги в образцах не превышал 1 %. Результаты опытов представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Влияние температуры предварительного нагрева воды в емкости на привес влаги в образцах кожи хромового дубления (время увлажнения 5 мин)

Давление в бачке, кПа		Температура в камере, °C		Температура воды в бачке, °C	Привес влаги в образцах, %
начальное	конечное	начальная	конечная		
20	42	50	55	60	10,3
20	44	50	58	70	13,2
20	48	50	67	80	12,1
20	55	50	78	90	9,6

Как видно из таблицы 4.6, наиболее приемлемым диапазоном температуры нагрева воды, обеспечивающим максимальный привес влаги является 70 - 80° C. С дальнейшим увеличением температуры воды наблюдалось резкое увеличение давления и температуры паровоздушной среды в камере, что вызывало уменьшение влагонасыщения образцов. С целью уточнения интервалов выдержки образцов в вакууме при увлажнении (отсчет времени велся с момента достижения начального разрежения), были проведены эксперименты по увлажнению при различных значениях времени. В этих экспериментах начальное разрежение в камере равнялось 20 кПа, температура - 50° C, температура воды в бачке - 70 °C.

Результаты исследований приведены на рисунке 4.3.

Как видно из графика, с повышением температуры сначала происходит интенсивное увеличение влаги в образцах, а рекомендуемый диапазон температуры составляет 70 - 80° C, так как при дальнейшем ее увеличении наблюдалось снижение влагосодержания.

Это можно объяснить тем, что эффузионный перенос влаги при пониженном давлении имеет место до определенного предела, затем давление в камере поднимается, решающее значение начинает играть внешний массоперенос, при котором происходит обратная диффузия влаги из образцов в рабочую среду.

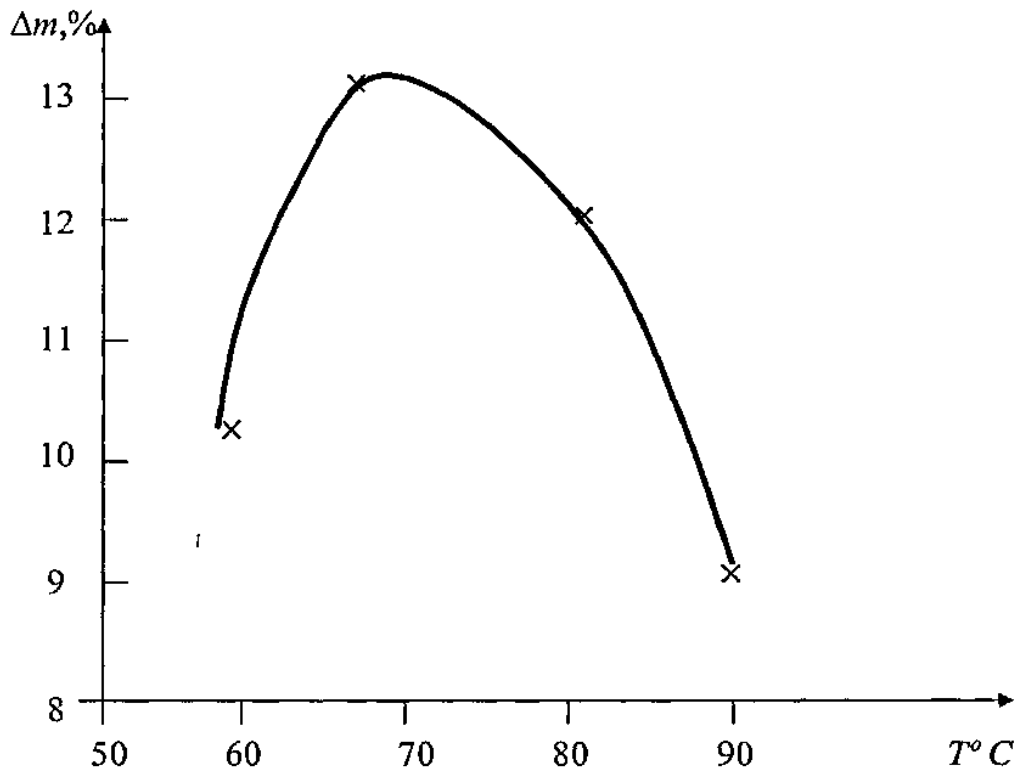


Рисунок 4.3 - Зависимость привеса влаги в образцах кожи от температуры воды в бачке

Особо следует отметить, что подача паров влаги к образцам, осуществляемая испарением подогретой воды с открытой поверхности емкости с водой, установленной внутри камеры, обеспечивает высокий прирост влаги в образцах кожи.

Сравнительные результаты экспериментальных исследований по увлажнению образцов кожи в установке с отдельным парогенератором и в установке имеющей открытую емкость с водой нагреваемой ТЭНом, показаны на рисунке 4.4.

Из представленных данных можно сделать следующие выводы:

во втором случае привес влаги в образцах кожи был больше в 1,3-1,9 раза по сравнению с первым вариантом;

максимальное значение привеса влаги во втором случае достигалось при температуре воды в емкости 70°C .

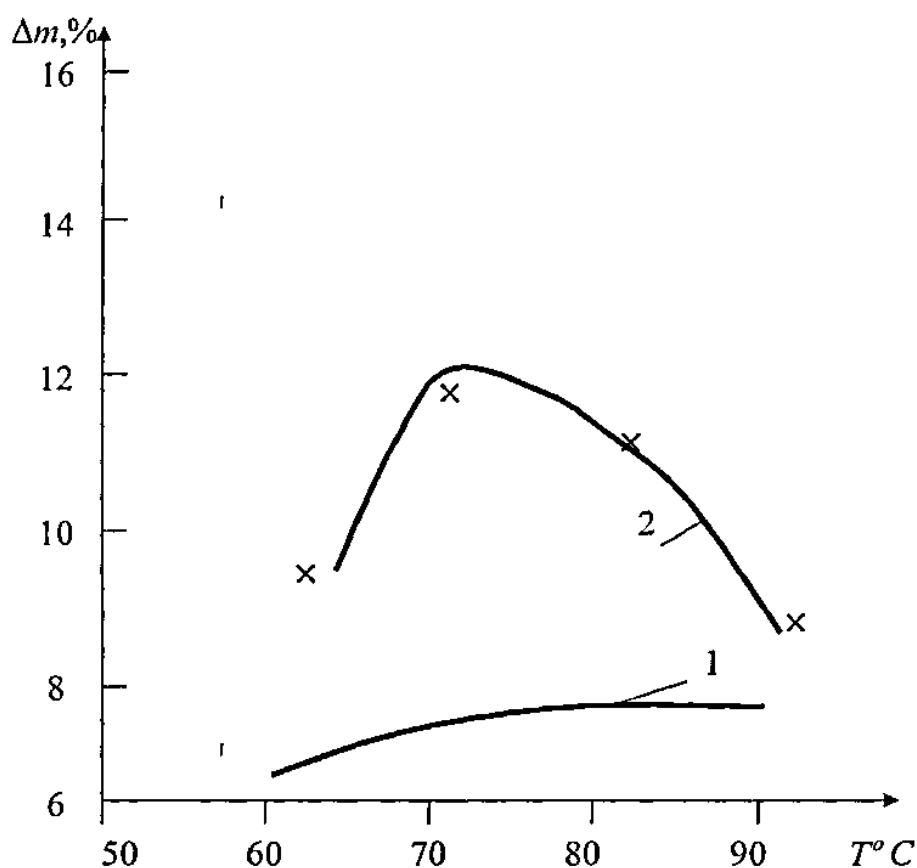


Рисунок 4.4 - Зависимости привеса влаги в образцах кожи, рассчитанные теоретически (1) и полученные экспериментальным путем (2).

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви рекомендуются следующие режимы работы установки для реализации этого процесса:

предварительный нагрев воздушной среды в камере до температуры (50-60)° С и воды в емкости до температуры 70° С, мин	- 2
вакууммирование рабочей камеры с заготовками верха обуви до величины остаточного давления (0,02-0,01) МПа, мин	- 4-5
выдержка заготовок верха обуви в рабочей камере во влажном насыщенном влагой паре, мин	- 4-6
напуск воздуха в рабочую камеру до достижения в ней атмосферного давления, мин	- 0,2

В ы в о д ы:

1. На основе анализа механизмов влагопереноса в капиллярно-пористых системах можно утверждать о наличии при вакуумно-сорбционном увлажнении двух разных процессов: капиллярной конденсации в результате сорбционных явлений и конденсации, обусловленной теплообменом между кожей и паром.

2. Теоретические исследования этих процессов позволили получить аналитические выражения для определения массы сконденсированной влаги в результате капиллярно-сорбционных явлений и массы влаги в результате теплообмена между кожей и паром. Основным процессом, обеспечивающим требуемый привес влаги в коже, следует считать вакуумно-сорбционный.

3. Наибольший привес влаги в коже хромового дубления наблюдался в том случае, когда подача влаги к образцам осуществлялась испарением подогретой воды с открытой поверхности емкости, установленной внутри вакуумированной камеры.

4. Теоретически и на основе экспериментальных исследований кинетики вакуумно-сорбционного способа увлажнения установлено быстрое (в течение 4-6 минут) насыщение влагой образцов кожи, что позволяет сократить процесс увлажнения в несколько раз по сравнению с традиционным способом.

5. В результате экспериментальных исследований установлена необходимая температура воды в емкости, равная 70°C , при которой достигается максимальный привес влаги в образцах кожи.

6. На основании проведенных исследований разработаны режимы работы установки для вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви, обеспечивающие требуемый привес влаги в течение 10-13 мин.

5. ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ШНЕКОВЫМ КОНВЕЙЕРОМ

5.1 Математическая модель процесса транспортирования

Шнек (винт) является основным элементом конвейера. Он представляет собой полый или сплошной цилиндрический сердечник с навитой на него спиралью. Линия контакта спирали с сердечником является винтовой линией, а спираль представляет собой винтовую поверхность.

Винтовая линия это пространственная кривая, образуемая при сложном движении точки M по цилиндрической поверхности (рисунок 5.1): поступательном вдоль образующей и вращательном вокруг оси цилиндра [50].

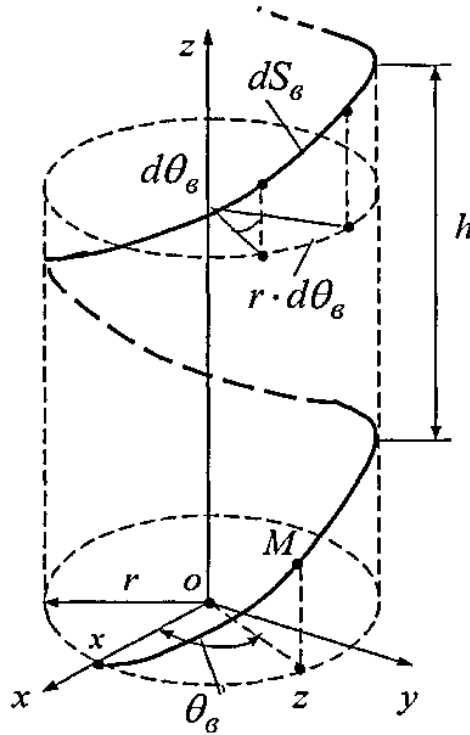


Рисунок 5.1 – Схема к определению параметров винтовой линии

Цилиндрическая винтовая линия описывается уравнениями:

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \theta_{\theta}, \\ y = r \cdot \sin \theta_{\theta}, \\ z = C_{\theta} \cdot \theta_{\theta} \end{cases} \quad (5.1)$$

где x, y, z – координаты точек винтовой линии;

r - расстояние от оси шнека до точек винтовой линии;

θ_θ - угол поворота точек винтовой линии по отношению к первоначальному положению;

C_θ - приращение высоты (координаты z) винтовой линии, приходящейся на один радиан угла θ_θ .

$$C_\theta = \frac{h}{2\pi} = r \cdot \operatorname{tg} \alpha_r, \quad (5.2)$$

где h - шаг винтовой линии;

α_r - угол подъема винтовой линии на радиусе r .

Из уравнений (5.1) и (5.2) следует, что

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg} \theta_\theta, \quad \theta_\theta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y}{x}$$

Подставляя значения θ_θ в уравнение (5.1), получим

$$z = C_\theta \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y}{x} \quad (5.3)$$

Проекция винтовой линии на плоскости xoz и yoz являются соответственно косинусоидой и синусоидой:

$$x = r \cdot \cos \left(\frac{z}{C_\theta} \right), \quad y = r \cdot \sin \left(\frac{z}{C_\theta} \right).$$

Проекция винтовой линии на плоскость xoy является окружностью с радиусом r и центром в начале координат: $x^2 + y^2 = r^2$.

Элемент дуги винтовой линии

$$dS_\theta = \sqrt{r^2 + C_\theta^2} \cdot d\theta_\theta.$$

Длина дуги

$$S_\theta = \sqrt{r^2 + C_\theta^2} \cdot \theta_\theta = \frac{r \theta_\theta}{\cos^2 \theta_\theta} \quad (5.4)$$

Винтовая линия, как пространственная кривая, обладает кривизной и кручением. Кривизну винтовой линии, которая характеризуется отклонением ее от прямой, можно определить по формуле:

$$K_{\theta} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2} = \sqrt{\frac{d^2x}{dS_{\theta}^2} + \frac{d^2y}{dS_{\theta}^2} + \frac{d^2z}{dS_{\theta}^2}}, \quad (5.5)$$

где $\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{z}$ - вторые производные от x , y , z по S_{θ} .

Заменяя параметр θ_{θ} через S_{θ} , получим

$$\theta_{\theta} = \frac{S_{\theta}}{\sqrt{r^2 + C_{\theta}^2}},$$

уравнения винтовой линии представим в виде

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos \frac{S_{\theta}}{\sqrt{r^2 + C_{\theta}^2}}, \\ y &= r \cdot \sin \frac{S_{\theta}}{\sqrt{r^2 + C_{\theta}^2}}, \\ z &= C_{\theta} \frac{S_{\theta}}{\sqrt{r^2 + C_{\theta}^2}}. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Дифференцируя уравнения (5.6) дважды по C_{θ} и подставляя $\frac{d^2x}{dS_{\theta}^2}$, $\frac{d^2y}{dS_{\theta}^2}$, $\frac{d^2z}{dS_{\theta}^2}$ в уравнение (5.5), после преобразований получим

$$K_{\theta} = \frac{r}{r^2 + C_{\theta}^2} \quad (5.7)$$

Из (5.7) видно, что кривизна винтовой линии – величина постоянная.

Радиус кривизны

$$r_{\theta} = \frac{r}{\cos^2 \alpha_r} \quad (5.8)$$

Винтовая линия имеет правое направление, если $C_{\theta} > 0$, и левое, если $C_{\theta} < 0$.

Кручение винтовой линии

$$\sigma_{\theta} = \frac{C_{\theta}}{r^2 + C_{\theta}^2} = \frac{tg\alpha_r}{r \cdot (1 + tg^2\alpha_r)} \quad (5.9)$$

Касательный вектор к винтовой линии

$$t = \cos\alpha_r \cdot (-\sin\theta_{\theta} \cdot \cos\theta_{\theta} \cdot tg\alpha_r) \quad (5.10)$$

Касательная образует с направлением оси z постоянный угол равный $(90^\circ - \alpha_r)$. Уравнения касательной можно записать в виде

$$\frac{X-x}{\sin\theta_{\theta}} = \frac{Y-y}{\cos\theta_{\theta}} = \frac{Z-z}{tg\alpha_r} \quad (5.11)$$

Уравнение касательной плоскости к винтовой линии имеет вид:

$$(X-x) \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_M + (Y-y) \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_M + (Z-z) = 0, \quad (5.12)$$

где $\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_M$ и $\left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_M$ - частные производные Z по X и Y в точке $M(x, y, z)$.

В нашем случае

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{C_{\theta} \cdot y}{x^2 + y^2} = -\frac{C_{\theta} \cdot y}{r^2}, \quad \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{C_{\theta} \cdot x}{x^2 + y^2} = \frac{C_{\theta} \cdot x}{r^2}.$$

Заменив $C_{\theta} = r \cdot tg\alpha_r$ и подставив значения частных производных в уравнение (5.12), получим

$$-\frac{y \cdot tg\alpha_r}{r} \cdot (X-x) + \frac{x \cdot tg\alpha_r}{r} \cdot (Y-y) + (Z-z) = 0 \quad (5.13)$$

Нормальная плоскость к винтовой линии описывается уравнением

$$-yX + xY + C_{\theta}Z - C_{\theta}z = 0 \quad (5.14)$$

Соприкасающаяся плоскость к винтовой линии

$$C_{\theta} \cdot \sin \theta_{\theta} \cdot X - C_{\theta} \cdot \cos \theta_{\theta} \cdot Y + rZ = rC_{\theta} \cdot \theta_{\theta} \quad (5.15)$$

Угол, образуемый соприкасающейся плоскостью с осью z

$$\sin \varphi_{\theta} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + C_{\theta}^2}} \quad (5.16)$$

Если все точки кривой описывают около одной и той же оси винтовые линии одинакового шага h , то образуется общая винтовая поверхность, которая описывается следующими уравнениями:

$$x = R \cdot \cos \theta_{\theta} \cdot t; \quad y = R \cdot \sin \theta_{\theta} \cdot t; \quad z = C_{\theta} \cdot \theta_{\theta} + U,$$

где $U = \Phi(R)$.

Для прямой винтовой поверхности $U = 0$.

Угол подъема винтовой линии:

на цилиндрическом сердечнике шнека радиусом r

$$\alpha_r = \arctg h / 2\pi r, \quad (5.17)$$

на наружном радиусе шнека R

$$\alpha_R = \arctg h / 2\pi R, \quad (5.18)$$

в любой точке винтовой поверхности

$$\alpha_i = \arctg h / 2\pi R_i, \quad (5.19)$$

Из выражений (5.17), (5.18), (5.19) следует, что угол подъема винтовой линии является переменной величиной (рисунок 5.2).

Из формул (5.17) и (5.18) имеем

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_r}{\alpha_R} \right) = \frac{R}{r} \quad \text{или} \quad \frac{\alpha_r}{\alpha_R} = \arctg \left(\frac{R}{r} \right) \quad (5.20)$$

Численные значения разности углов $(\alpha_r - \alpha_R)$ у вертикальных шнеков известных конструкций колеблются в пределах от 7° до 19° .

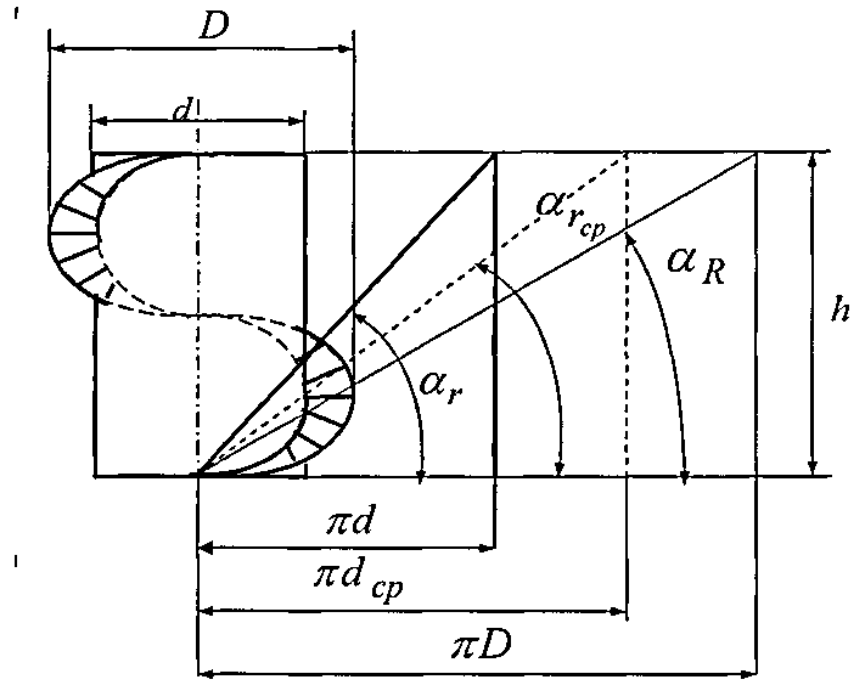


Рисунок 5.2 – Зависимость угла подъема винтовой линии от радиуса

Прямая винтовая поверхность принадлежит к числу минимальных, т.е. к таким поверхностям, которые при заданной ограничивающей кривой обладают наименьшей площадью.

В общем случае площадь винтовой поверхности, ограниченной радиусом R , определяется из выражения:

$$F = \frac{1}{2} R^2 \theta_g \cdot \left(\frac{1}{\cos \alpha_R} - \operatorname{tg} \alpha_R \cdot \ln \operatorname{tg} \frac{\alpha_R}{2} \right), \quad (5.21)$$

где $\alpha_R = \operatorname{arc} \operatorname{tg} C_g / R$.

Площадь винтовой поверхности шнека с внешним радиусом R и внутренним радиусом r равна:

$$F_g = \frac{\theta_g}{2} \left[R^2 \cdot \left(\sec \alpha_R - \operatorname{tg} \alpha_R \cdot \ln \operatorname{tg} \frac{\alpha_R}{2} \right) - r^2 \left(\sec \alpha_R - \operatorname{tg} \alpha_R \cdot \ln \operatorname{tg} \frac{\alpha_R}{2} \right) \right] \quad (5.22)$$

Винтовая поверхность шнека представляет собой коноид, пронизанный круговым цилиндром радиусом r , имеющим с ним общую ось. В результате пересечения образуется цилиндрическая винтовая линия, шаг которой одинаков с шагом направляющей винтовой линии радиусом R .

Математическая модель движения частицы материала по вертикальному шнеку базируется на следующих допущениях /60/

объем транспортируемого материала представлен в виде дискретной массы (частицы);

силы трения частицы о шнек и о стенку кожуха являются силами трения скольжения;

кольцевой зазор между шнеком и стенкой кожуха имеет постоянную величину по длине конвейера;

шнек совершает движение вокруг собственной оси, а его спираль имеет прямоугольный профиль.

Движение частицы материала при перемещении ее вертикальным шнеком описывается системой уравнений Лагранжа II рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_q, (i=1,2,...), \quad (5.23)$$

где T – кинетическая энергия транспортируемой частицы;

q_i – обобщенные координаты, определяющие положение частицы;

Q_q – обобщенные силы по обобщенным координатам q ;

i – число обобщенных координат, равное числу степеней свободы частицы материала при транспортировании ее вертикальным шнеком.

Положение частицы в процессе транспортирования может быть определено двумя координатами: углом поворота ее относительно шнека θ_s и положением шнека относительно кожуха z_n и описано системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta_s} = Q_\theta \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} \right) - \frac{\partial T}{\partial z_n} = Q_z \end{cases} \quad (5.24)$$

Так как в шнековом конвейере кожух не имеет осевого перемещения ($z_n = 0$), необходимо найти решение первого уравнения системы (5.24).

Кинетическая энергия частицы

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot v_a^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_a^2, \quad (5.25)$$

где G – вес частицы материала;

g – ускорение силы тяжести;

m – масса частицы;

v_a – абсолютная скорость частицы.

$$v_a = R \sqrt{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_e)^2 + (\dot{\theta}_e \cdot \operatorname{tg} \alpha_R)^2}, \quad (5.26)$$

где $\omega_{ш}$ – угловая скорость шнека;

$\dot{\theta}_e$ – угловая скорость частицы относительно шнека.

Подставляя (5.26) в (5.25), получим

$$T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left[(\omega_{ш} - \dot{\theta}_e)^2 + (\dot{\theta}_e \cdot \operatorname{tg} \alpha_R)^2 \right] \cdot R^2, \quad (5.27)$$

Тогда

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}_e} = m \cdot R^2 \left[\dot{\theta}_e (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_R) - \omega_{ш} \right], \quad (5.28)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}_e} \right) = m \cdot R^2 \left(\ddot{\theta}_e - \dot{\omega}_{ш} \cdot \cos^2 \alpha_R \right) \cdot \sec^2 \alpha_R, \quad (5.29)$$

где $\dot{\omega}_{ш}$ – угловое ускорение шнека;

$\ddot{\theta}_e$ – угловое ускорение частицы относительно шнека.

Обобщенная сила Q_θ может быть определена из выражения

$$Q_\theta = \sum F_{ix} \frac{\partial x_R}{\partial \theta_e} + \sum F_{iy} \frac{\partial y_R}{\partial \theta_e} + \sum F_{iz} \frac{\partial z_R}{\partial \theta_e}, \quad (5.30)$$

где $\sum F_{ix}$, $\sum F_{iy}$, $\sum F_{iz}$ – алгебраическая сумма проекций
активных сил, действующих на частицу материала
по осям координат x, y, z ;

x_R, y_R, z_R – координаты частицы материала относительно шнека.

Предположим, что движение частицы транспортируемого материала относительно винтовой поверхности вертикального шнекового конвейера может происходить как с отрывом от нее, так и без отрыва за счет проскальзывания.

Для вывода математической модели безотрывного перемещения рассмотрим схему сил, действующих на частицу материала (рисунок 5.3)

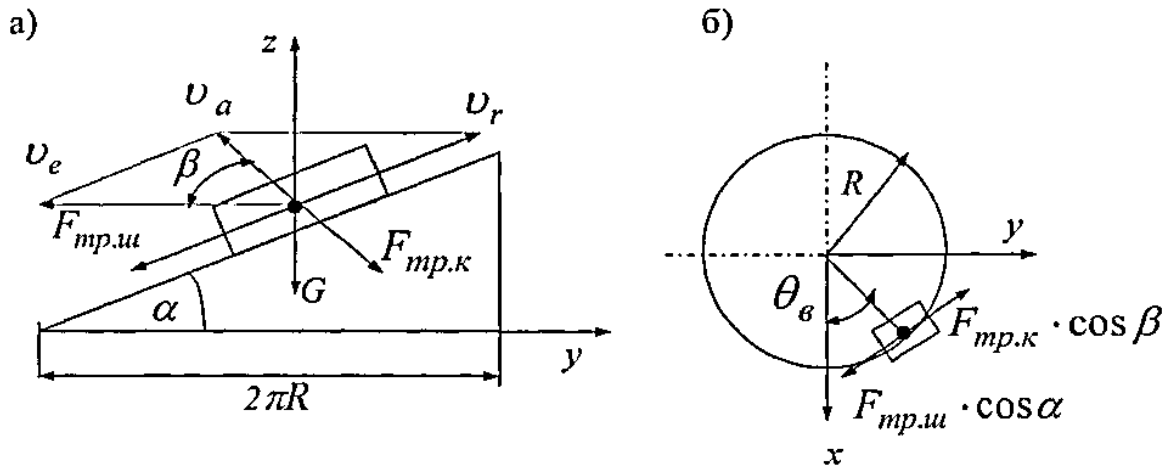


Рисунок 5.3 – Расчетная схема

Из схемы сил имеем:

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = F_{тр.ш} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \theta_{\text{в}} - F_{тр.к} \cdot \cos \beta \cdot \sin \theta_{\text{в}}, \\ \sum F_{iy} = -F_{тр.ш} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta_{\text{в}} + F_{тр.к} \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta_{\text{в}}, \\ \sum F_{iz} = -G - F_{тр.ш} \cdot \sin \alpha - F_{тр.к} \cdot \sin \beta, \end{cases} \quad (5.31)$$

где $F_{тр.ш}$ – сила трения частицы о шнек;

$F_{тр.к}$ - сила трения частицы о кожух;

β - угол наклона винтовой линии, по которой частица движется в абсолютном движении.

Угол β - из плана скоростей

$$\beta = \arccos \frac{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_s)R}{v_a} = \arcsin \frac{v_z}{v_a} \quad (5.32)$$

или

$$\beta = \arccos \frac{\omega_{ш} - \dot{\theta}_s}{\sqrt{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_s)^2 + (\dot{\theta}_s \operatorname{tg} \alpha)^2}} = \arcsin \frac{\dot{\theta}_s \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_s)^2 + (\dot{\theta}_s \operatorname{tg} \alpha)^2}}.$$

Сила трения частицы о кожух, направленная против абсолютной скорости частицы, равна:

$$F_{тр.к} = f_k \cdot N_k, \quad (5.33)$$

где f_k - коэффициент трения частицы о кожух;

N_k - нормальная реакция стенки кожуха.

Сила трения частицы о шнек:

$$F_{тр.ш} = f_{ш} \cdot N_{ш} \sin \theta_s, \quad (5.34)$$

где $f_{ш}$ - коэффициент трения частицы о шнек;

$N_{ш}$ - нормальная реакция шнека.

Нормальные реакции N_k и $N_{ш}$ могут быть найдены из условия динамического равновесия транспортируемой частицы

$$\frac{G}{g} \bar{a} + \sum \bar{P} = 0. \quad (5.35)$$

Спроектировав усилия, действующие на частицу, соответственно на главную нормаль $\bar{n}$ и бинормаль $\bar{b}$, после преобразований получим:

$$N_k = \frac{G}{g} (\omega_{ш} - \dot{\theta}_s)^2 R \quad (5.36)$$

$$N_{ш} = \frac{G}{g} \left[g + f_k (\omega_{ш} - \dot{\theta}_s)^2 R \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} + \omega_{ш} R \operatorname{tg} \alpha \right] \cos \alpha \quad (5.37)$$

С учетом (5.36) и (5.37) силы трения будут равны:

$$F_{тр.к} = f_k \frac{G}{g} (\omega_{ш} - \dot{\theta}_s)^2 \cdot R, \quad (5.38)$$

$$F_{mp\ u} = f_u \frac{G}{g} [g \cos \alpha + f_k (\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 R \times \\ \times \sin (\alpha + \beta) + \omega_u R \cdot \sin \alpha] \cos^2 \alpha \quad (5.39)$$

Положение частицы относительно шнека в процессе ее перемещения определяется координатами:

$$\begin{cases} x_R = R \cdot \cos \theta_e, \\ y_R = R \cdot \sin \theta_e, \\ z_R = R \cdot \theta_e \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{cases} \quad (5.40)$$

Продифференцировав выражение (5.40) по θ_e , получим:

$$\frac{\partial X_R}{\partial \theta_e} = -R \sin \theta_e; \quad \frac{\partial Y_R}{\partial \theta_e} = R \cos \theta_e; \quad \frac{\partial Z_R}{\partial \theta_e} = R \operatorname{tg} \alpha \quad (5.41)$$

После преобразований имеем:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_e = & -GR(f_u \sin \dot{\theta}_e + \operatorname{tg} \alpha) + f_k \frac{G}{g} (\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 \times \\ & \times [(1 - f_u \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \dot{\theta}_e) - \frac{\dot{\theta}_e \operatorname{tg} \alpha - \dot{z}_n / R}{\omega - \dot{\theta}_e} (f_u \sin \dot{\theta}_e + \operatorname{tg} \alpha)] \times \\ & \times \frac{\omega_u - \dot{\theta}_e}{\sqrt{(\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 + (\dot{\theta}_e \operatorname{tg} \alpha - \dot{z}_n / R)^2}} - \\ & - f_u \frac{G}{g} \dot{\omega}_u R^2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \dot{\theta}_e + \ddot{z} \sin \theta_e \end{aligned} \quad (5.42)$$

Уравнение (5.24) с учетом (5.29) и (5.20) можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 mR^2(\ddot{\theta}_e - \dot{\omega}_u \cos^2 \alpha_R) \sec^2 \alpha = & -GR(f_u \sin \dot{\theta}_e - \operatorname{tg} \alpha)^2 + \\
 & + f_\kappa \frac{G}{g}(\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 [(1 - f_u \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \dot{\theta}_e) - \\
 & - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{\theta}_e - \frac{\dot{z}_n}{R}}{\omega_u - \dot{\theta}_e} (f_u \sin \dot{\theta}_e + \operatorname{tg} \alpha)] \times \\
 & \times \frac{\omega_u - \dot{\theta}_e}{\sqrt{(\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 + (\operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{\theta}_e - \frac{\dot{z}_n}{R})^2}} - \\
 & - f_u \frac{G}{g} \dot{\omega}_u R^2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \dot{\theta}_e + f_u \frac{G}{g} \ddot{z} \cdot \sin \theta_e
 \end{aligned} \tag{5.43}$$

Окончательно имеем:

$$\begin{aligned}
 \ddot{\theta}_e = & \frac{g}{R}(f_u \sin \dot{\theta}_e + \operatorname{tg} \alpha) \cos^2 \alpha + f_\kappa (\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 \times \\
 & \times [(1 - f_u \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \dot{\theta}_e) - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{\theta}_e - \frac{\dot{z}_n}{R}}{\omega_u - \dot{\theta}_e} (f_u \sin \dot{\theta}_e + \operatorname{tg} \alpha)] \times \\
 & \times \frac{\omega_u - \dot{\theta}_e}{(\omega_u - \dot{\theta}_e)^2 + (\operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{\theta}_e - \frac{\dot{z}_n}{R})^2} \cdot \cos^2 \alpha + \\
 & + \dot{\omega}_u (1 - f_u \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \dot{\theta}_e) \cos^2 \alpha + \frac{\ddot{z}_n}{R} (f_u \sin \dot{\theta}_e + \operatorname{tg} \alpha) \cdot \cos^2 \alpha
 \end{aligned} \tag{5.44}$$

Уравнение (5.44) описывает безотрывное движение транспортируемых частиц по вертикальному шнеку.

Условие отрыва частицы от спирали выполняется, если:

$$N_u \leq 0$$

Учитывая выражение (5.37) и считая, что $\cos \alpha > 0$ имеем:

$$G + f_\kappa m(\omega_u - \dot{\omega}_\theta)^2 R \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} + \omega_u \cdot R \cdot m \cdot \operatorname{tg} \alpha \leq 0 \tag{5.45}$$

Анализируя выражение (5.45), видим, что каждое из слагаемых левой части больше нуля, а следовательно, условие отрыва частицы не может выполняться без дополнительных возмущающих сил.

5.2 Закономерности перемещения частицы материала вертикальным шнековым конвейером с неподвижным кожухом

5.2.1 Необходимые условия для перемещения частицы материала

Поскольку шнек вращается с постоянной угловой скоростью и перемещение его по вертикали отсутствует ($\omega_{ш} = \text{const}$, $\dot{z}_n = 0$), уравнение (5.44) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\dot{\theta}_c}{dt} = & -\frac{g}{R}(f_{ш} + \operatorname{tg} \alpha) \cos^2 \alpha + f_k (\omega_{ш} - \dot{\theta}_c)^2 \times \\ & \times \left[(1 - f_{ш} \operatorname{tg} \alpha) - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{\theta}_c}{\omega_{ш} - \dot{\theta}_c} (f_{ш} + \operatorname{tg} \alpha) \right] \times \\ & \times \frac{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_c) \cos^2 \alpha}{\sqrt{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_c)^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \dot{\theta}_c^2}} \end{aligned} \quad (5.46)$$

Рядом исследователей установлено, что угол β изменяется в пределах $\beta = 0-12^\circ$ [49, 66]. Так как этот угол сравнительно мал, можно принять, что $\cos \beta \approx 1$.

Тогда

$$\frac{\omega_{ш} - \dot{\theta}_c}{\sqrt{(\omega_{ш} - \dot{\theta}_c)^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \dot{\theta}_c^2}} \approx 1$$

При этом уравнение (5.46) примет вид:

$$\frac{d\dot{\theta}_e}{dt} = -\frac{g}{R}(f_{\text{ш}} + \operatorname{tg} \alpha) \cos^2 \alpha + f_{\kappa}(\omega_{\text{ш}} - \dot{\theta}_e)^2 \times \\ \times [(1 - f_{\text{ш}} \operatorname{tg} \alpha) - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{\theta}_e}{\omega_{\text{ш}} - \dot{\theta}_e}(f_{\text{ш}} + \operatorname{tg} \alpha)] \cos^2 \alpha \quad (5.47)$$

или

$$\frac{d\dot{\theta}_e}{dt} = A\dot{\theta}_e^2 - B\dot{\theta}_e + C, \quad (5.48)$$

где

$$A = f_{\kappa}; \quad B = \omega_{\text{ш}} f_{\kappa} [2(1 - f_{\text{ш}} \operatorname{tg} \alpha) \cos^2 \alpha + (f_{\text{ш}} + \operatorname{tg} \alpha)] \sin \alpha \cdot \cos \alpha;$$

$$C = \omega_{\text{ш}}^2 f_{\kappa} (1 - f_{\text{ш}} \operatorname{tg} \alpha) \cos^2 \alpha - \frac{g}{R} (f_{\text{ш}} + \operatorname{tg} \alpha) \cos^2 \alpha$$

Уравнение (5.48) представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами.

Выполняя подстановку $\dot{\theta}_e = -\frac{\dot{y}}{Ay}$ и решая полученное однородное линейное дифференциальное уравнение вида $\ddot{y} + B\dot{y} + ACy = 0$, получим

$$\dot{\theta}_e = -\frac{1}{A} \cdot \frac{C_1(K - \frac{B}{2})e^{(K - \frac{B}{2})t} - C_2(K + \frac{B}{2})e^{-(K + \frac{B}{2})t}}{C_1e^{(K - \frac{B}{2})t} + C_2e^{-(K + \frac{B}{2})t}}, \quad (5.49)$$

$$\text{где } K = \sqrt{\frac{B^2}{4} - AC}.$$

Полагая, что при $t = 0$, $\theta_e = 0$, $\dot{\theta}_e = 0$, получим постоянные интегрирования C_1 и C_2

$$C_1 = \frac{K + \frac{B}{2}}{2K} \exp(-A\theta_o); \quad C_2 = \frac{K - \frac{B}{2}}{2K} \exp(-A\theta_o)$$

Подставляя значения C_1 и C_2 в выражение (5.49), имеем:

$$\dot{\theta}_e = -\frac{1}{A} \cdot \frac{e^{(K-\frac{B}{2})t} - e^{(K+\frac{B}{2})t}}{\frac{1}{K-\frac{B}{2}} e^{(K-\frac{B}{2})t} + \frac{1}{K+\frac{B}{2}} e^{-(K+\frac{B}{2})t}} \quad (5.50)$$

Из экспериментальных исследований [62, 94] известно, что переходный процесс занимает небольшой промежуток времени (менее 0,3 с), поэтому принимая $\dot{\theta}_e = const$, $\ddot{\theta}_e = 0$, получим уравнение установившегося процесса:

$$\dot{\theta}_e = \frac{\omega_{ш}}{2} \left[\frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha} \right] - \sqrt{\frac{\omega_{ш}^2}{4} \left[\frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha} \right]^2 - \frac{\omega_{ш}^2 ctg(\alpha + \varphi_{ш}) - \frac{g}{Rf_{ш} \omega_{ш}^2}}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}}, \quad (5.51)$$

где $\varphi_{ш} = \arctg f_{ш}$ - угол трения частицы о винтовую поверхность шнека.

Скорость перемещения частицы вдоль оси OZ равна $V_z = \dot{\theta}_e R \cdot tg\alpha$. С учетом выражения (5.51) получим:

$$V_z = \frac{\omega_{ш}}{2} \left\{ \frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha} - \sqrt{\left[\frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha} \right]^2 - \frac{4 \left[ctg(\alpha + \varphi_{ш}) - \frac{g}{Rf_{ш} \cdot \omega_{ш}^2} \right]}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}} \right\} Rtg\alpha \quad (5.52)$$

Выражение (5.52) удобно для анализа скорости перемещения частицы в зависимости от различных факторов.

При $V_z = 0$ выражение (5.52) примет вид:

$$\begin{cases} \omega_{ш} \cdot R \operatorname{tg} \alpha \neq 0 \\ R f_k \omega_{ш}^2 \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) = g \end{cases} \quad (5.53)$$

$$\begin{cases} \omega_{ш} \cdot R \operatorname{tg} \alpha = 0 \\ \frac{2 \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha} - \\ - \sqrt{\left[\frac{2 \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha} \right]^2 - \frac{4 \left[\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) - \frac{g}{R f_k \omega_{ш}^2} \right]}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}} \neq 0 \end{cases} \quad (5.54)$$

5.2.2 Критическая частота вращения шнека

Под критической понимается такая частота вращения, при которой перемещение частицы материала в осевом направлении шнека не происходит, т.е. $V_z = 0$ [50]. Из уравнения (5.53) можно получить выражение для расчета критической угловой скорости шнека:

$$\omega_{ш}^{kp} = \sqrt{\frac{g}{R \cdot f_k \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш})}} \quad (5.55)$$

Выразив угловую скорость через частоту вращения, получим формулу для расчета критической частоты вращения шнека:

$$n_{ш}^{kp} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R \cdot f_k \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш})}} \quad (5.56)$$

Построим график зависимости $\omega_{ш}^{kp} = f(R)$ при постоянных значениях параметров: $\alpha = 15^\circ 20'$; $f_{ш} = 0,2$; $f_k = 0,6$.

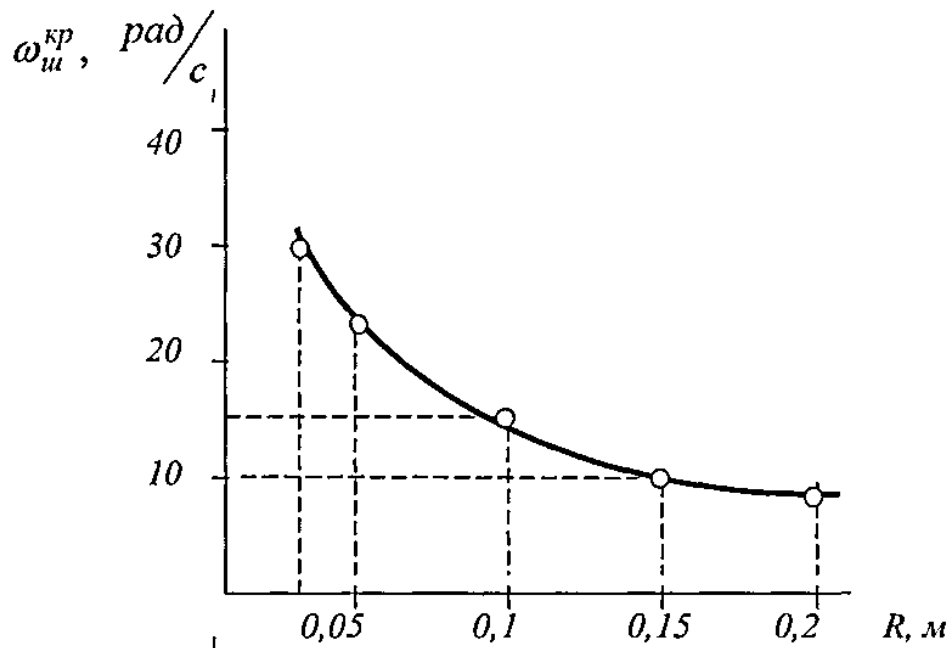


Рисунок 5.4 - График зависимости $\omega_{ш}^{кр} = f(R)$

Из этого графика следует, что зависимость критической угловой скорости шнека от величины его радиуса (диаметра) имеет характер гиперболы, причем наибольшие значения $\omega_{ш}^{кр}$ имеют место при малых значениях R . С увеличением радиуса шнека более 0,10 м интенсивность изменения $\omega_{ш}^{кр}$ существенно уменьшается.

Из выражения (5.56) следует, что величина критической частоты вращения шнека зависит от коэффициентов трения транспортируемого материала по шнеку и кожуху и угла подъема спирали. Результаты расчетов по определению $n_{ш}^{кр}$ в зависимости от этих параметров приведены на рисунке 5.5.

Из графиков на рисунке 5.5 видно, что с увеличением коэффициента трения материала по кожуху $n_{ш}^{кр}$ уменьшается, а с увеличением коэффициента трения материала по шнеку $n_{ш}^{кр}$ увеличивается. С уменьшением коэффициентов трения критическая частота вращения шнека изменяется в обратном порядке.

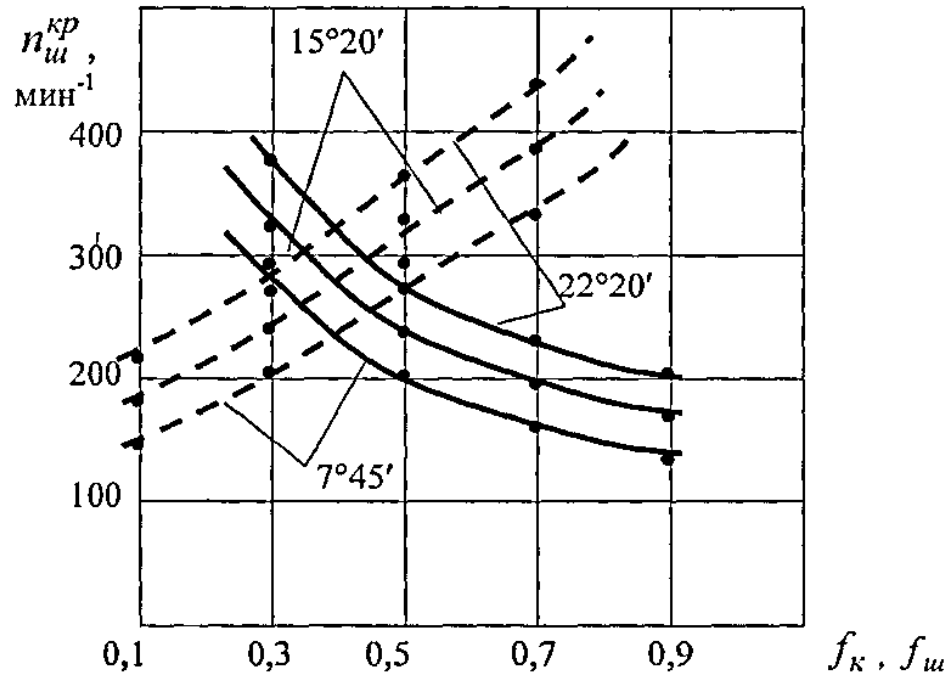


Рисунок 5.5 – Зависимости критической частоты вращения шнека от величины коэффициентов трения материала по шнеку и кожуху ($R=0,1$ м):

$$\text{—————} - n_{ш}^{kp} = f(f_k), \quad \text{---} - n_{ш}^{kp} = f(f_{ш}).$$

Кроме того, из графиков на рисунке 5.5 можно заключить, что чем меньше угол подъема спирали, тем ниже проходит кривая $n_{ш}^{kp} = f(f_{ш}, f_k)$. Это обстоятельство следует учитывать при обосновании конструктивных параметров шнека. Так, если из технологических соображений нужно, чтобы шнек имел минимальную частоту вращения, а остальные параметры особого значения не имеют, это условие можно выполнить, уменьшая угол подъема спирали. На рисунке 5.6 представлена номограмма для определения осевой скорости перемещения частицы материала в зависимости от угловой скорости шнека и величины его радиуса ($\alpha=15^\circ 20'$; $f_{ш}=0,2$; $f_k=0,6$).

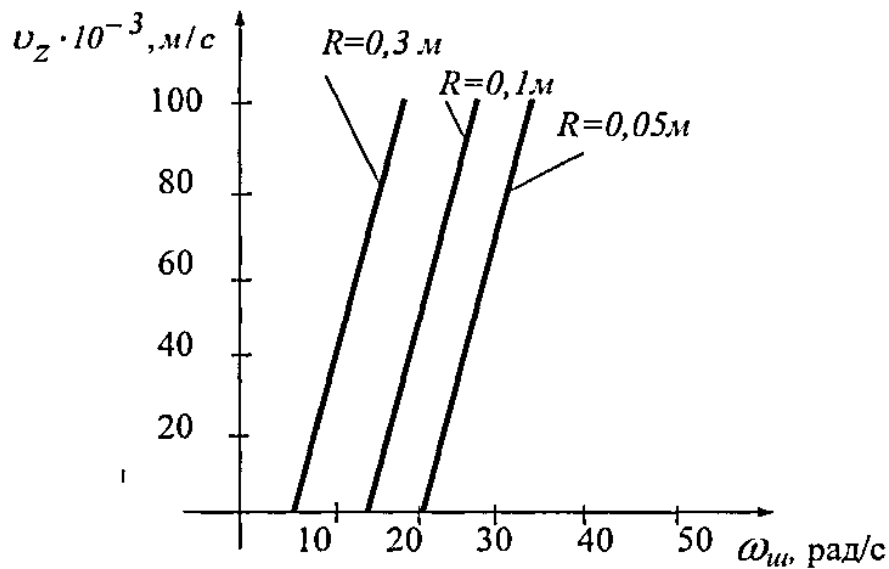


Рисунок 5.6 – Номограмма для определения осевой скорости перемещения частицы материала

Номограмма показывает, что осевая скорость перемещения частицы материала зависит и от величины угловой скорости, и от величины радиуса (диаметра) шнека, причем, если зависимость $v_z = f(\omega_{ш})$ носит линейный характер, то зависимость $v_z = f(R)$ в исследованном диапазоне имеет вид кривой (рисунок 5.7). Как видно из этого рисунка, наиболее заметный рост осевой скорости происходит при увеличении радиуса шнека до $R = 0,15$ м, затем интенсивность роста v_z снижается.

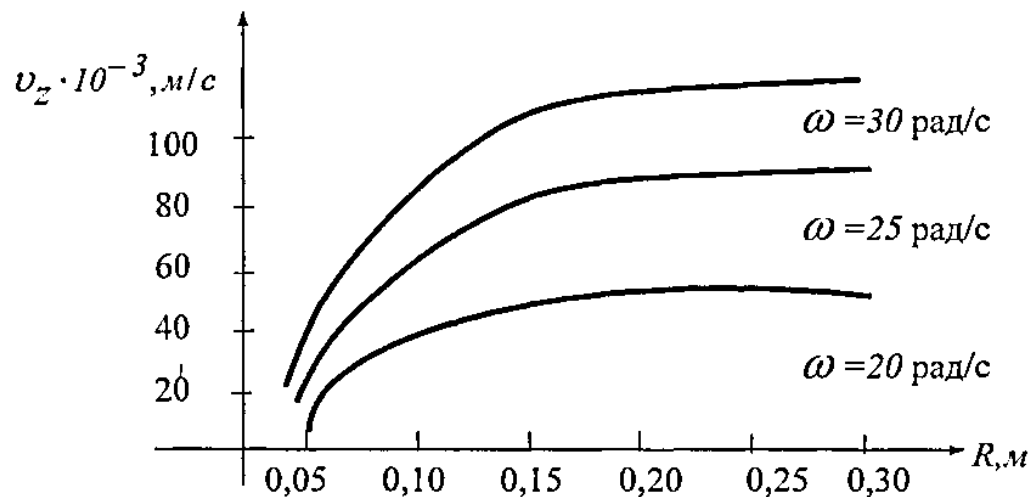


Рисунок 5.7 – Зависимости осевой скорости перемещения частицы от радиуса шнека

5.2.3 Влияние величины радиуса шнека на процесс транспортирования материала.

Из выражения (5.52) следует, что при увеличении радиуса шнека осевая скорость перемещения частицы материала растет, однако данная зависимость имеет место в определенном диапазоне изменения R . Максимальная величина радиуса шнека ограничивается либо заданными размерами шнекового конвейера, либо возможностями технологического процесса по изготовлению шнека. Минимальная величина радиуса шнека находится из условия, что осевая скорость перемещения частицы материала равна нулю, т.е. $v_z = 0$. Это ограничение объясняется тем, что с уменьшением радиуса шнека величина силы $F_{тр.к}$, движущей частицу, падает. Следовательно, можно предположить, что при каком-то минимальном значении R , называемом критическим, движущая сила частицы относительно шнека становится равной силе сопротивления этому движению. Поэтому при $R \leq R_{кр}$ перемещение частицы по шнеку не происходит, а следовательно, $\dot{\theta}_в$ и v_z равны нулю. Значение критического радиуса шнека может быть определено из выражения (5.52):

$$v_z = \frac{\omega_{ш}}{2} \left\{ \frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha} - \sqrt{\left[\frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha} \right]^2 - \frac{4 \left[ctg(\alpha + \varphi_{ш}) - \frac{g}{Rf_k \omega_{ш}^2} \right]}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}} \right\} Rtg\alpha = 0 \quad (5.57)$$

Из выражения (5.57) при $v_z = 0$ после соответствующих преобразований имеем:

$$R_{кр1} = 0, \quad R_{кр2} = \frac{g}{f_k \cdot \omega_{ш}^2} \cdot tg(\alpha + \varphi_{ш}) \quad (5.58)$$

При $\omega_{ш} = 31,4 \text{ рад/с}$, $\alpha = 15^\circ 21'$, $f_{ш} = 0,2$; $f_k = 0,6$ значение $R_{кр}$ приблизительно равно 8,3 мм. С увеличением угловой скорости $R_{кр}$ интенсивно уменьшается.

На рисунке 5.8 представлены зависимости величины критического радиуса шнека $R_{кр}$ от коэффициентов трения частицы материала о шнек $f_{ш}$ и стенку кожуха f_k .

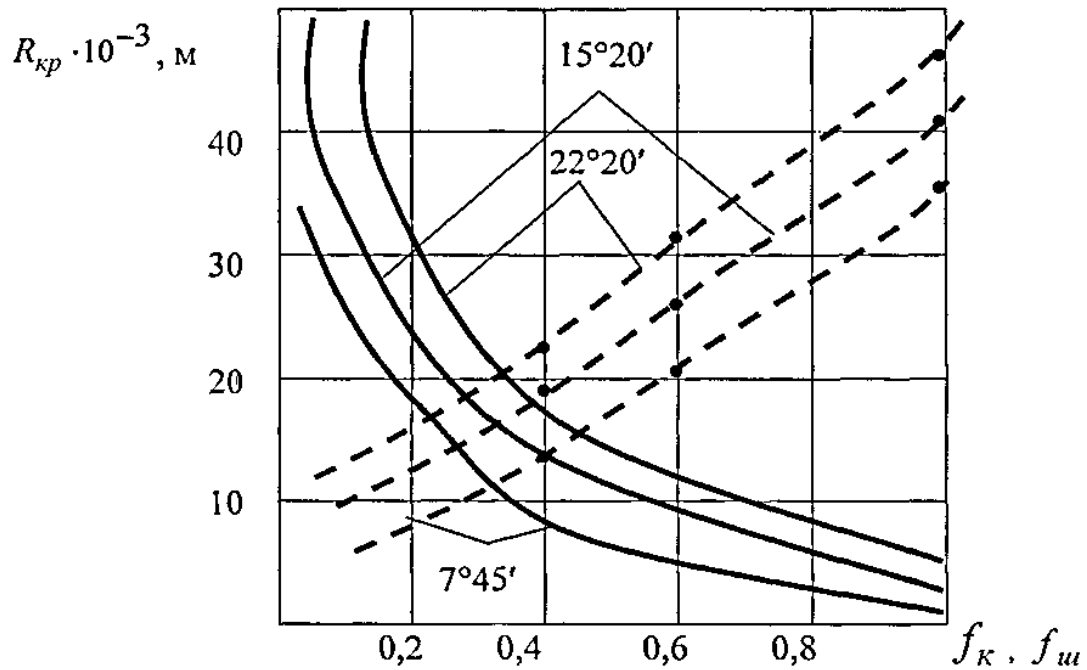


Рисунок 5.8 – Влияние коэффициентов трения на величину критического радиуса шнека при различных углах наклона винтовой линии:

— - $R_{кр} = f(f_k)$, - - - - $R_{кр} = f(f_{ш})$.

Как видно из этого рисунка, величина критического радиуса шнека в большей степени зависит от коэффициента трения частицы материала по кожуху, влияние коэффициента трения по шнеку проявляется менее интенсивно.

5.2.4 Влияние угла подъема винтовой линии

Из физической сущности процесса перемещения частицы по спирали шнека следует, что с увеличением угла подъема винтовой линии растут и силы сопротивления движению частицы. При некотором значении угла, который следует называть оптимальным, увеличение скорости транспортирования частицы при прочих постоянных параметрах процесса не происходит. Величину оптимального угла подъема винтовой линии шнека, при котором обеспечивается максимум скорости транспортирования, можно найти из выражения:

$$\frac{\partial v_z}{\partial \alpha} = 0 \quad (\text{при условии } \frac{\partial^2 v_z}{\partial \alpha^2} < 0) \quad (5.59)$$

Однако в явном виде получить аналитическую зависимость $\alpha_{opt} = f(\omega_{ш}, R, f_{ш}, f_k)$ весьма сложно и поэтому имеет смысл говорить лишь о приближенных решениях.

Численный расчет значений α_{opt} по зависимости (5.52) при $v_z = v_{max}$ показал, что величина α_{opt} растет при увеличении частоты вращения шнека. Это можно объяснить тем, что при больших частотах вращения шнека частица материала с большим усилием прижимается к стенке кожуха. При этом увеличивается движущая сила, роль которой выполняет сила трения частицы о кожух.

Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования при различных частотах вращения шнека показано на рисунке 5.9.

Из графиков на рисунке 5.9 с некоторым приближением можно заключить, что кривые $v_z = f(\alpha)$ являются параболлами с вершиной при α_{opt} . Поэтому при ориентировочных расчетах оптимальный угол подъема винтовой линии можно определить из выражения:

$$\alpha_{opt} = \frac{\alpha_{kp1} + \alpha_{kp2}}{2}, \quad (5.60)$$

где α_{kp1} , α_{kp2} - верхний и нижний критические углы подъема винтовой линии, при которых осевая скорость перемещения частицы материала равна нулю.

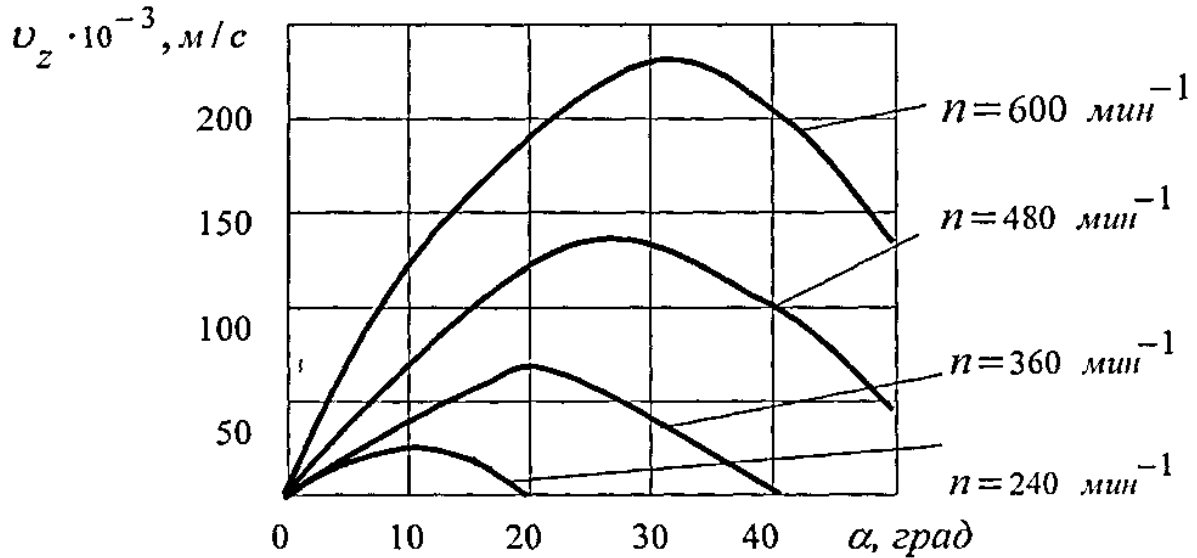


Рисунок 5.9 – Зависимости осевой скорости перемещения частицы материала от угла подъема спирали

Значения α_{kp1} и α_{kp2} могут быть определены из (5.52) при условии, что

$$v_z = 0$$

$$v_z = \frac{\omega_{ш} R}{2} \left\{ \frac{2 \operatorname{ctg}(\alpha_{kp} + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha_{kp}}{\operatorname{ctg}(\alpha_{kp} + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha_{kp}} - \right. \quad (5.61)$$

$$\left. - \sqrt{\left[\frac{2 \operatorname{ctg}(\alpha_{kp} + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha_{kp}}{\operatorname{ctg}(\alpha_{kp} + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha_{kp}} \right]^2 - \frac{4 \left[\operatorname{ctg}(\alpha_{kp} + \varphi_{ш}) - \frac{g}{R f_K \omega_{ш}^2} \right]}{\operatorname{ctg}(\alpha_{kp} + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha_{kp}}} \right\} \operatorname{tg} \alpha_{kp} = 0$$

Решая уравнение (5.61) относительно $\alpha_{кр}$, имеем

$$\alpha_{кр1} = 0, \quad \alpha_{кр2} = \arctg \frac{\omega_{ш}^2 \cdot f_k \cdot R}{g} - \arctg f_{ш} \quad (5.62)$$

Из уравнения (5.62) с учетом выражения (5.61) оптимальный угол подъема винтовой линии равен:

$$\alpha_{опт} = \frac{1}{2} \left(\arctg \frac{\omega_{ш}^2 \cdot f_k \cdot R}{g} - \arctg f_{ш} \right) \quad (5.63)$$

Результаты значений $\alpha_{опт}$, вычисленных по формулам (5.52) и (5.63) приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Численные значения оптимального угла подъема винтовой линии

$\omega_{ш},$ рад/с	$n_{ш},$ мин ⁻¹	Оптимальный угол подъема винтовой линии $\alpha_{опт}$, град	
		Вычисления по формуле (5.52)	Вычисления по формуле (5.63)
25,2	240	8°55'	9°25'
31,4	300	15°20'	15°25'
37,6	360	20°30'	20°30'
50,4	480	28°15'	27°50'
62,8	600	32°45'	33°15'

Данные таблицы 5.1 показывают достаточно хорошее совпадение расчетных значений оптимального угла подъема винтовой линии, полученных с использованием выражений (5.52) и (5.63), что свидетельствует о правильности принятых предпосылок при выводе этих формул.

5.2.5 Влияние трения частиц о шнек и стенку кожуха

Трение частиц о винтовую поверхность шнека можно оценить коэффициентом трения $f_{ш}$, который определяет силу сопротивления движению частиц по шнеку. Поэтому с увеличением $f_{ш}$ скорость v_z транспортирования частиц падает, что следует из графиков, приведенных на рисунке 5.10. При построении зависимостей $v_z = f(f_{ш})$ величина f_k принималась равной 0,6.

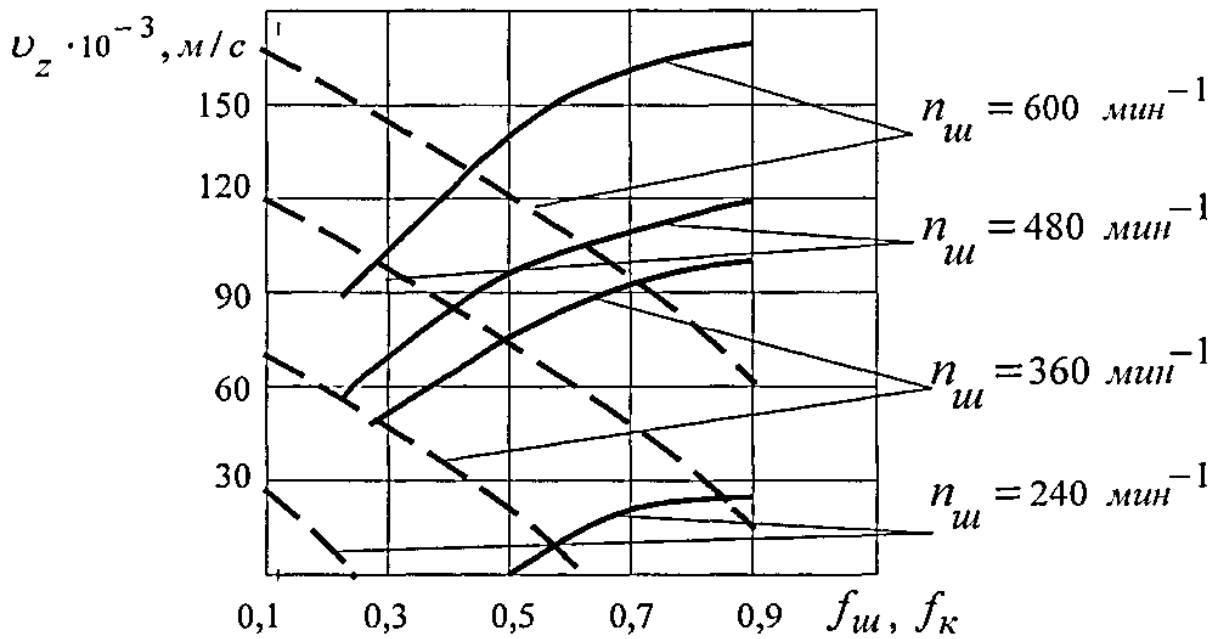


Рисунок 5.10 – Влияние коэффициентов трения на осевую скорость перемещения частицы материала

— $v_z = f(f_k)$, - - - $v_z = f(f_{ш})$

Трение частицы о стенку кожуха определяет движущую силу. Поэтому на графиках с увеличением f_k скорость транспортирования возрастает. При построении зависимостей $v_z = f(f_k)$ величина $f_{ш}$ принималась равной 0,2. Из приведенных зависимостей следует, что для увеличения скорости v_z нужно $f_{ш}$ уменьшать, а f_k — увеличивать.

5.2.6 Кинематика шнекового конвейера с неподвижным кожухом

Частица транспортируемого материала, находящаяся на винтовой поверхности шнека, движется с абсолютной скоростью V_a , которая является геометрической суммой переносной скорости V_e и относительной скорости скольжения вдоль винтовой поверхности шнека, т.е.

$$\overline{V}_a = \overline{V}_e + \overline{V}_r, \quad (5.64)$$

причем

$$V_e = V_{ш} = \omega_{ш} \cdot R, \quad (5.65)$$

где $V_{ш}$ - окружная скорость шнека;

Из схемы скоростей на рисунке 5.11 имеем [59]:

$$\frac{\overline{V}_e}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{\overline{V}_r}{\sin \beta} = \frac{\overline{V}_a}{\sin \alpha} \quad (5.66)$$

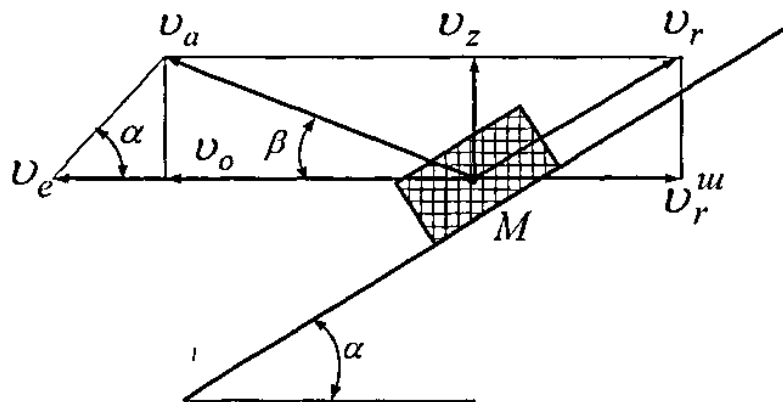


Рисунок 5.11– Схема скоростей

Угол подъема спирали на наружном радиусе шнека

$$\operatorname{tg} \alpha_R = h / 2\pi R = P / R, \quad (5.67)$$

где $P = h / 2\pi$ - параметр шнека, характеризующий величину подъема спирали при повороте на один радиан.

Из выражения (5.66) с учетом (5.65) и (5.67) получена формула для определения абсолютной скорости движения частицы

$$v_a = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \cdot v_e = \frac{P \omega_{III} R}{P \cos \beta + R \sin \beta} \quad (5.68)$$

Угловая скорость частицы

$$\omega_{\varphi} = \dot{\theta}_e = \frac{v_o}{R} = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{R \cdot \sin(\alpha + \beta)} \cdot v_e = \frac{P \omega_{III}}{P + R \operatorname{tg} \beta}, \quad (5.69)$$

где v_o - окружная скорость частицы

$$v_o = \dot{\theta}_e \cdot R = \omega_{\varphi} R = \frac{P \omega_{III} R}{P + R \operatorname{tg} \beta} \quad (5.70)$$

Скорость относительного движения частицы по шнеку

$$v_r = \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \cdot v_e = \frac{\omega_{III} R \sin \beta \sqrt{R^2 + P^2}}{P \cos \beta + R \sin \beta} =$$

$$= \frac{\omega_{III} R \operatorname{tg} \beta \sqrt{R^2 + P^2}}{P + R \operatorname{tg} \beta} \quad (5.71)$$

Скорость перемещения частицы вверх

$$v_z = v_a \sin \beta = \frac{P \cdot \omega_{III} R \cdot \operatorname{tg} \beta}{P + R \cdot \operatorname{tg} \beta} = \frac{P \cdot \omega_{III} \cdot R}{P / \operatorname{tg} \beta + R} \quad (5.72)$$

С другой стороны, осевая скорость подъема частицы равна:

$$v_z = v_r^{III} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.73)$$

где v_r^{III} - окружная скорость частицы материала относительно шнека.

Приравняв правые части выражений (5.72) и (5.73), имеем:

$$v_r^{III} = \frac{\omega_{III} R \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} \quad (5.74)$$

Окружную скорость частицы относительно шнека можно представить в виде:

$$v_r^u = \omega_u R \cdot K_1, \quad (5.75)$$

где K_1 - усредненный коэффициент проскальзывания частицы относительно шнека.

Из выражений (5.74) и (5.75) имеем:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{K_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 - K_1} \quad (5.76)$$

Коэффициент проскальзывания K_1 , определяемый опытным путем, зависит от вида транспортируемого материала, состояния поверхностей шнека и кожуха, а также геометрических и кинематических параметров шнека.

Анализ последнего выражения показывает, что с увеличением коэффициента K_1 увеличивается угол β , а следовательно, возрастает осевая скорость перемещения частицы v_z и производительность шнекового конвейера.

5.2.7 Влияние состояния поверхностей шнека и кожуха на коэффициент проскальзывания частицы относительно шнека

Аналитически коэффициент проскальзывания K_1 может быть определен из следующего выражения:

$$K_1 = \frac{\dot{\theta}_s}{\omega_u} = \frac{v_z}{\omega_u R \operatorname{tg} \alpha} \quad (5.77)$$

После подстановки ранее полученных выражений для $\dot{\theta}_s$ и v_z имеем:

$$K_1 = \frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + 2tg\alpha} - \sqrt{\left[\frac{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}{2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + 2tg\alpha} \right]^2 - \frac{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) - \frac{g}{Rf_{\kappa}\omega_{ш}^2}}{ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + tg\alpha}} \quad (5.78)$$

Обозначив $2ctg(\alpha + \varphi_{ш}) + 2tg\alpha = T$, получим:

$$K_1 = \frac{T - tg\alpha - \sqrt{tg^2\alpha - \frac{2gT}{Rf_{\kappa}\omega_{ш}^2}}}{T} \quad (5.79)$$

В качестве примера в таблице 5.2 приведены численные значения коэффициента K_1 , полученные расчетным путем при

$$\omega_{ш} = 31,4 \text{ рад/с}; \quad R = 0,1 \text{ м}; \quad \alpha = 15^\circ 20'.$$

Таблица 5.2 – Значения коэффициента K_1 в зависимости от коэффициентов трения по кожуху и шнеку.

$f_{\kappa} \backslash f_{ш}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
0,2	0,293	0,498	0,642	0,705	0,743
0,4	0,204	0,349	0,510	0,580	0,622
0,6	0,175	0,244	0,426	0,505	0,551

По данным таблицы 5.2 построены графики $K_1 = f(f_{\kappa})$ при различных значения $f_{ш}$ (рисунок 5.12).

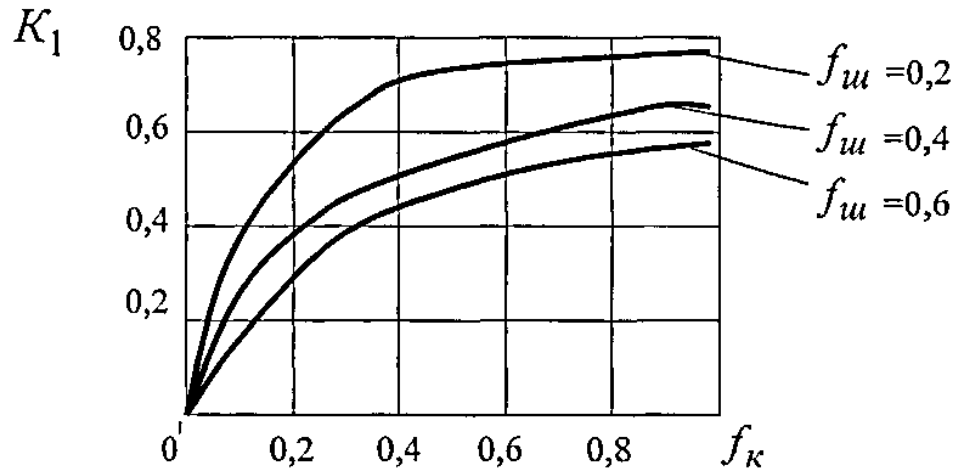


Рисунок 5.12 – Зависимости коэффициента K_1 от коэффициента трения по кожуху.

Из приведенных графиков следует, что с увеличением f_k и уменьшением f_m коэффициент K_1 возрастает. Как следствие, при этом увеличивается осевая скорость частицы U_z .

5.2.8 Производительность шнекового конвейера

Транспортируемый шнеком материал совершает сложное винтообразное движение. Установлено, что в потоке материала наблюдается взаимный сдвиг слоев по цилиндрическим поверхностям, а также параллельно поверхности спирали шнека. В результате возникает перемешивание материала по глубине. Сдвиг слоев по цилиндрическим поверхностям является результатом изменения осевой скорости по диаметру шнека. В потоке отмечается рост осевой скорости с увеличением радиуса вращения. Смещение слоев параллельно поверхности спирали шнека обусловлено изменением осевой скорости по высоте цилиндрического слоя. Интенсивность этого смещения уменьшается по мере удаления слоя от поверхности шнека. Производительность конвейера зависит от интенсивности поступления на него транспортируемого материала. Чем больше загрузка конвейера, тем больше его производительность за счет увеличения коэффициента заполнения межвиткового пространства. Предельная

производительность обеспечивается при полном заполнении межвиткового пространства. Для ее определения выделим на витке спирали шнека элементарный участок с радиусом r и размерами dr и $d\alpha$ (рисунок 5.13).

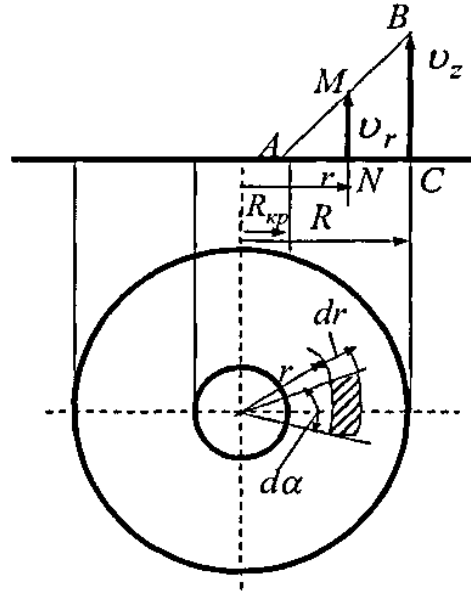


Рисунок 5.13 – Расчетная схема для определения производительности шнекового конвейера

Производительность этого участка с учетом коэффициента заполнения межвиткового пространства K_3 может быть определена следующим образом.

Из подобия треугольников AMN и ABC можно записать

$$\frac{AC}{AN} = \frac{BC}{MN}, \quad (5.80)$$

$$AC = R - R_{kp}, \quad AN = r - R_{kp}, \quad (5.81)$$

$$BC = v_z, \quad MN = v_r$$

Подставляя (5.81) в (5.80), получим:

$$v_r = \frac{(r - R_{kp}) \cdot v_z}{R - R_{kp}} \quad (5.82)$$

Производительность участка:

$$d\Pi_{ш} = K_3 \cdot r d\alpha \cdot dr \cdot v_r = K_3 r \frac{r - R_{кр}}{R - R_{кр}} v_z dr \cdot d\alpha \quad (5.83)$$

Посредством коэффициента 1,2 учитывается возможное увеличение производительности за счет сдвига слоев материала.

Предельная производительность

а) при $R_{кр} \geq r_0$

$$\begin{aligned} \Pi_{ш} &= \frac{K_3 v_z}{R - R_{кр}} \int_{R_{кр}}^R \int_0^{2\pi} (r^2 - R_{кр} \cdot r) \cdot dr \cdot d\alpha = \\ &= 0,4\pi \cdot K_3 \cdot v_z (2R^2 - R_{кр} \cdot R - R_{кр}^2) \end{aligned} \quad (5.84)$$

б) при $R_{кр} < r_0$

$$\begin{aligned} \Pi_{ш} &= \frac{K_3 \cdot V_z}{R - R_{кр}} \int_{r_0}^R \int_0^{2\pi} (r^2 - R_{кр} \cdot r) \cdot dr \cdot d\alpha = \\ &= \frac{0,4\pi \cdot K_3 \cdot V_z}{R - R_{кр}} (2R^3 - 3R_{кр} \cdot R^2 - 2r_0^3 + 3R_{кр}^2 \cdot r_0^2) \end{aligned} \quad (5.85)$$

Производительность шнека при $R_{кр} \geq r_0$ равна:

$$\begin{aligned} \Pi_{ш} &= 0,2\pi K_3 R \operatorname{tg} \alpha \omega_{ш} (2R^2 - R_{кр} R - R_{кр}^2) \times \left\{ \frac{2\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha} - \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{\left[\frac{2\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha} \right]^2 - \frac{4[\operatorname{ctg} \alpha + \varphi_{ш}] - \frac{g}{R f_k \omega^2}}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}} \right\} \end{aligned} \quad (5.86)$$

Производительность шнека при $R_{кр} < r_0$:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{ш} = & \frac{0,2\pi K_3 R \operatorname{tg} \alpha (2R^3 - 3R_{кр} R^2 - 2r_с^3 + 3R_{кр} r_с^2) \cdot \omega_{ш}}{R - R_{кр}} \times \left\{ \frac{2 \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha} - \right. \\
 & \left. - \sqrt{\left[\frac{2 \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha} \right]^2 - \frac{4 \left[\operatorname{ctg} \alpha + \varphi_{ш} \right] - \frac{g}{R f_{\kappa} \omega^2}}{\operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + \operatorname{tg} \alpha}} \right\} \quad (5.87)
 \end{aligned}$$

Введя обозначение $[2 \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{ш}) + 2 \operatorname{tg} \alpha] = T$, где $\varphi_{ш} = \arctan f_{ш}$, получим:

При $R_{кр} \geq r_с$

$$\begin{aligned}
 \Pi_{ш} = & \frac{0,4\pi K_3 R \omega_{ш} R \operatorname{tg} \alpha}{T} (2R^2 - R_{кр} R - R_{кр}^2) \times \\
 & \times \left(T - \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2gT}{R f_{\kappa} \omega_{ш}^2}} \right), \quad (5.88)
 \end{aligned}$$

При $R_{кр} < r_с$

$$\begin{aligned}
 \Pi_{ш} = & \frac{0,4\pi K_3 R \omega_{ш} R \operatorname{tg} \alpha}{(R - R_{кр}) T} (2R^3 - 3r_с R^2 - r_с^3) \times \\
 & \times \left(T - \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2gT}{R f_{\kappa} \omega_{ш}^2}} \right), \quad (5.89)
 \end{aligned}$$

Численные значения критических радиусов шнека определены при $\alpha = 15^\circ 20'$, $f_{ш} = 0,2$, $\omega_{ш} = 20, 30, 40 \text{ рад / с}$. Расчетные данные приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Расчетные значения критических радиусов шнека (м)

$\omega_{ш}, \text{рад / с}$ \ f_k	0,2	0,4	0,6	0,8
20	0,062	0,031	0,021	0,015
30	0,027	0,014	0,0091	0,0068
40	0,015	0,0077	0,0051	0,0038

Результаты расчетов $\Pi_{ш}$ по формуле (5.88), выполненные при $\alpha=15^\circ 20'$ и $f_{ш}=0,2$, приведены в таблице 5.4 и показаны на рисунке 5.14

Таблица 5.4 – Расчетные значения производительности шнека $\text{м}^3/\text{с} \cdot 10^{-3}$

$\omega_{ш}, \text{рад / с}$ \ f_k	0,2	0,4	0,6	0,8
20	0,18	0,27	0,31	0,33
30	0,43	0,52	0,56	0,58
40	0,68	0,77	0,81	0,83

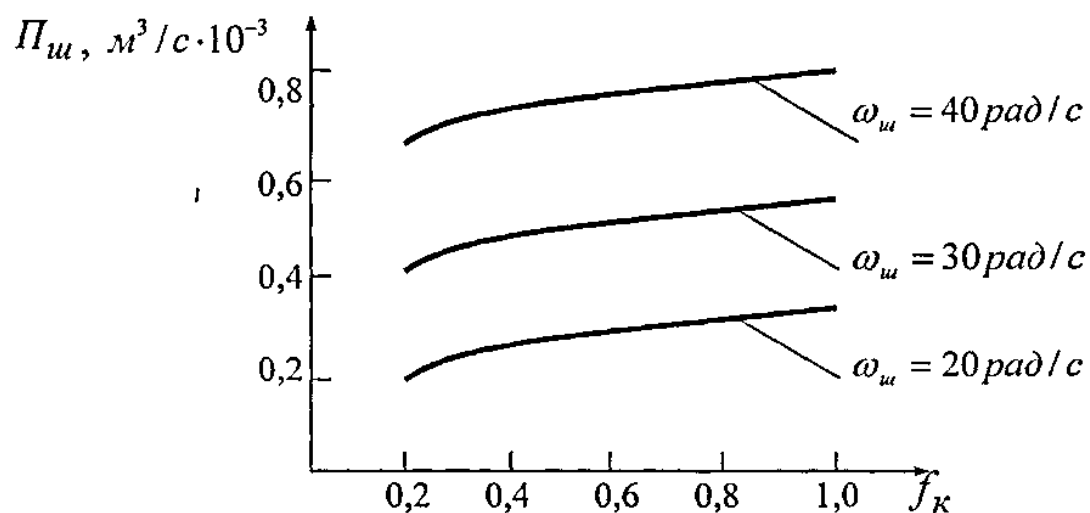


Рисунок 5.14 – Зависимости производительности шнека от коэффициента трения материала по кожуху

Из анализа закономерностей перемещения частицы материала вертикальным шнековым конвейером с неподвижным кожухом следует, что для увеличения его производительности необходимо следующее:

- повысить угловую скорость шнека;
- улучшить качество обработки рабочей поверхности шнека;
- повысить коэффициент трения частицы по внутренней полости кожуха или выполнить ее ¹ребристой или гофрированной;
- предусмотреть возможность вращения кожуха навстречу вращению шнека.

5.3 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦЫ МАТЕРИАЛА ВЕРТИКАЛЬНЫМ ШНЕКОВЫМ КОНВЕЙЕРОМ С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОЖУХОМ

Такая конструкция шнекового конвейера обеспечивает дополнительное проскальзывание транспортируемой частицы материала относительно спирали шнека, увеличивая тем самым ее осевую скорость без увеличения угловой скорости шнека /23/.

5.3.1 Кинематика шнекового конвейера

Схема скоростей частицы материала при перемещении ее шнековым конвейером с вращающимся кожухом показана на рисунке 5.15.

При вращении шнека частица материала M , находящаяся на спирали, за счет сил трения увлекается во вращательное движение, под действием центробежной силы она перемещается поперек спирали и приходит в соприкосновение с внутренней стенкой кожуха. Трение частицы о стенку кожуха заставляет ее проскальзывать относительно спирали, в результате чего и происходит подъем частицы вверх. В начале движения частица материала перемещается по наружной винтовой линии шнека AMB . Развернем цилиндрическую поверхность внутренней стенки кожуха в плоскость S , а наружную линию шнека на величине шага h - в прямую линию AB .

Абсолютную¹ скорость движения частицы v_a найдем как геометрическую сумму относительной скорости v_r движения частицы по шнеку и скорости v_e переносного движения. В относительном движении частица M движется по винтовой линии AB со скоростью v_r , которая может быть разложена на окружную скорость $v_r^{ок}$ и скорость движения v_z в осевом направлении.

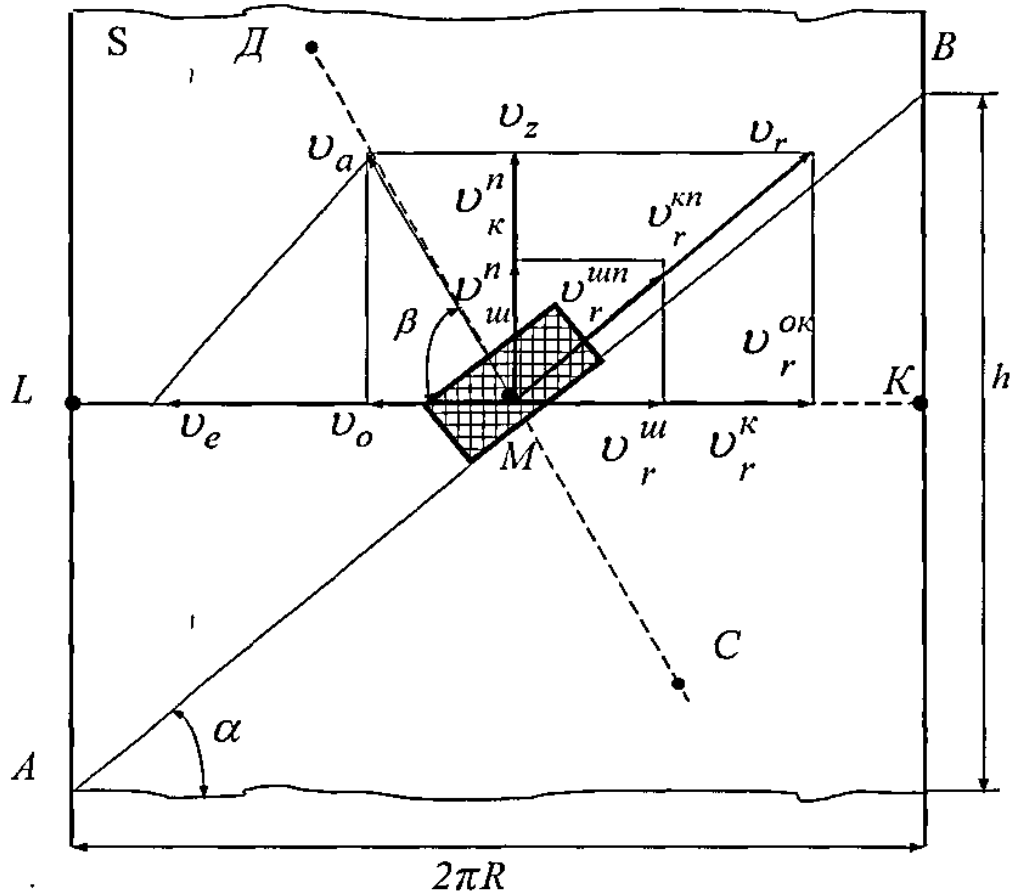


Рисунок 5.15 – Схема скоростей

Окружная скорость равна

$$\vec{v}_r^{ок} = \vec{v}_r^{шп} + \vec{v}_r^{кп}, \quad (5.90)$$

где $\vec{v}_r^{шп}$ - окружная скорость частицы относительно шнека при неподвижном кожухе;

$\vec{U}_r^{\kappa}$ -дополнительная окружная скорость частицы
относительно шнека за счет вращения кожуха.

Скорость поступательного движения вдоль оси шнека

$$\vec{U}_z = \vec{U}_ш^n + \vec{U}_\kappa^n, \quad (5.91)$$

где $\vec{U}_ш^n$ - скорость осевого перемещения частицы
относительно шнека при неподвижном кожухе;

$\vec{U}_\kappa^n$ - дополнительная скорость осевого перемещения
частицы относительно шнека за счет вращения
кожуха.

Относительные скорости вращения и перемещения по линии AB связаны
зависимостями

$$U_r^{шн} = U_r^ш / \cos \alpha; \quad U_r^{\kappa ш} = U_r^\kappa / \cos \alpha \quad (5.92)$$

Переносная скорость движения частицы равна

$$\vec{U}_e = \vec{U}_e^{ок},$$

где $\vec{U}_e^{ок}$ - окружная скорость частицы, расположенной
на расстоянии R от оси шнека, вращающегося
с угловой скоростью $\omega_{ш}$.

$$\vec{U}_e^{ок} = \omega_{ш} \cdot R \quad (5.93)$$

В переносном движении частица материала движется по линии KL . В
результате сложения движений частицы по винтовой линии AB и линии KL
траектория ее абсолютного движения представляет винтовую линию CD .

Из схемы скоростей на рисунке 5.15 получаем следующие зависимости:
абсолютная скорость движения частицы

$$v_a = \frac{P \cdot \omega_u \cdot R}{P \cos \beta + R \sin \beta}, \quad (5.94)$$

угловая скорость частицы

$$\omega_u = \frac{P \omega_u}{P + R \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (5.95)$$

окружная скорость частицы

$$v_o = \omega_u \cdot R = \frac{P \cdot \omega_u \cdot R}{P + R \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (5.96)$$

скорость относительного движения частицы по шнеку

$$v_r = \frac{\omega_u \cdot R \cdot \operatorname{tg} \beta \sqrt{R^2 + P^2}}{P + R \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (5.97)$$

осевая скорость частицы

$$v_z = \frac{P \cdot \omega_u \cdot R}{\frac{P}{\operatorname{tg} \beta} + R}. \quad (5.98)$$

С другой стороны, осевая скорость частицы равна

$$v_z = \left(v_r^u + v_r^k \right) \operatorname{tg} \alpha \quad (5.99)$$

Из двух последних выражений имеем:

$$v_r^u + v_r^k = \frac{\omega_u \cdot R \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}, \quad (5.100)$$

где $v_r^u = \omega_u \cdot R \cdot K_1$,

$$v_r^k = \omega_k \cdot R \cdot K_2,$$

где K_2 - усредненный коэффициент проскальзывания частицы относительно шнека за счет вращения кожуха.

Окончательно имеем

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(\omega_u \cdot K_1 + \omega_k \cdot K_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\omega_u \cdot (1 - K_1) - \omega_k \cdot K_2} \quad (5.101)$$

При $K_1 \approx K_2 = K$ получим:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot K \cdot (\omega_{ш} + \omega_{к})}{\omega_{ш} - K (\omega_{ш} + \omega_{к})} \quad (5.102)$$

Из анализа выражений (5.99), (5.101) и (5.102) следует, что с увеличением коэффициентов K_1 и K_2 $\operatorname{tg} \beta$ возрастает, а, следовательно, увеличивается осевая скорость частицы транспортируемого материала и растет производительность конвейера.

5.3.2 Определение коэффициентов проскальзывания

Предположим, что в начальный момент времени частица M находится на оси y . За время t шнек повернется на угол $\varepsilon = \omega_{ш} t$, а кожух - на угол $\psi = \omega_{к} t$ (рисунок 5.16).

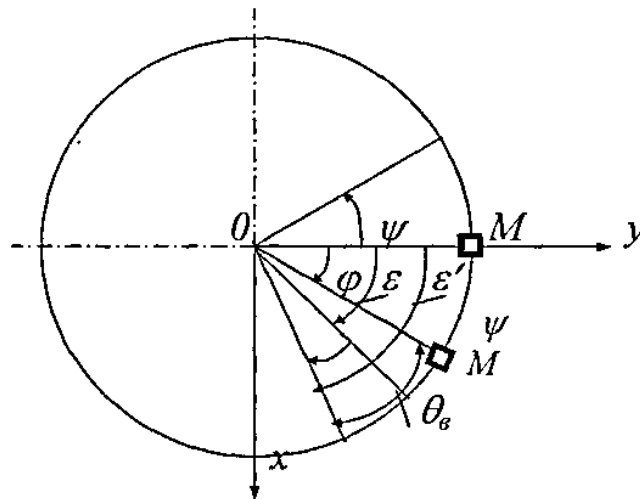


Рисунок 5.16 – Расчетная схема

Задав обратное движение системе кожух-шнек со скоростью, противоположной скорости кожуха, получим положение, при котором кожух вернется в первоначальное состояние ($\psi = 0$), а шнек дополнительно повернется на угол $\psi = \omega_{к} \cdot t$. Тогда угол поворота шнека составит

$$\varepsilon' = \omega_{ш} t + \omega_{к} t = (\omega_{ш} + \omega_{к}) \cdot t \quad (5.103)$$

Предположим, что за время t частица повернется на угол φ . Тогда относительно шиска она переместится на угол

$$\theta_0 = \varepsilon' - \varphi = (\omega_m + \omega_k) \cdot t - \varphi \quad (5.104)$$

Положение частицы в пространстве может быть определено уравнениями:

$$\begin{cases} x = R \sin \varphi \\ y = R \cos \varphi \\ z = p(\omega_m + \omega_k) \cdot t - p\varphi \end{cases} \quad (5.105)$$

Скорость частицы в проекциях на координатные оси:

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} = R\dot{\varphi} \sin \varphi \\ v_y = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} = -R\dot{\varphi} \cos \varphi \\ v_z = \frac{dz}{dt} = p(\omega_m + \omega_k) - p\dot{\varphi} \end{cases} \quad (5.106)$$

Ускорение частицы в проекциях на координатные оси:

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} = R(\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi) \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} = -R\dot{\varphi} \sin \varphi \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = -p\ddot{\varphi} \end{cases} \quad (5.107)$$

Используя выражения (5.99) и (5.100), можно записать:

$$v_z = (\omega_m \cdot R \cdot K_1 + \omega_k \cdot R \cdot K_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.108)$$

Из выражения (5.108) определим коэффициента K_2 :

$$K_2 = \frac{v_z}{\omega_k \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{\omega_m \cdot K_1}{\omega_k} \quad (5.109)$$

Коэффициент K_2 можно определить также с учетом выражений (4.7), (5.79), (5.109):

$$K_2 = \frac{(\omega_{\text{ш}} + \omega_{\text{к}}) \cdot \left(T - \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2gT}{Rf_{\text{к}}(\omega_{\text{ш}} + \omega_{\text{к}})^2}} \right)}{4T \cdot \omega_{\text{к}}} - \frac{-0,4\omega_{\text{ш}} \left(T - \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2gT}{Rf_{\text{к}}\omega_{\text{ш}}^2}} \right)}{4T \cdot \omega_{\text{к}}} \quad (5.110)$$

Ниже в таблице 5.5 приведены результаты расчетов коэффициента K_2 при $\alpha = 15^\circ 20'$, $\omega_{\text{ш}} = 40 \text{ рад/с}$, $R = 0,15 \text{ м}$, $f_{\text{ш}} = 0,2$.

Таблица 5.5– Влияние угловой скорости кожуха и коэффициента трения материала о кожух на величину коэффициента K_2

$\omega_{\text{к}}, \text{рад/с}$ $f_{\text{к}}$	10	15	20	25	30	35	40
0,2	0,61	0,48	0,42	0,38	0,36	0,34	0,32
0,4	0,66	0,52	0,45	0,40	0,37	0,35	0,34
0,6	0,68	0,53	0,46	0,41	0,38	0,36	0,34
0,8	0,70	0,54	0,46	0,41	0,38	0,36	0,34

На основании данных, представленных в таблице 5.5, можно сделать следующие выводы:

с увеличением угловой скорости кожуха происходит уменьшение коэффициента K_2 , но интенсивности изменения этих параметров различны:

при увеличении угловой скорости кожуха в 4 раза величина коэффициента K_2 уменьшается примерно в 2 раза;

влияние коэффициента трения материала о кожух на величину коэффициента K_2 весьма незначительно.

Графики зависимости осевой скорости частицы от угловой скорости кожуха при различных коэффициентах трения показаны на рисунке 5.17.

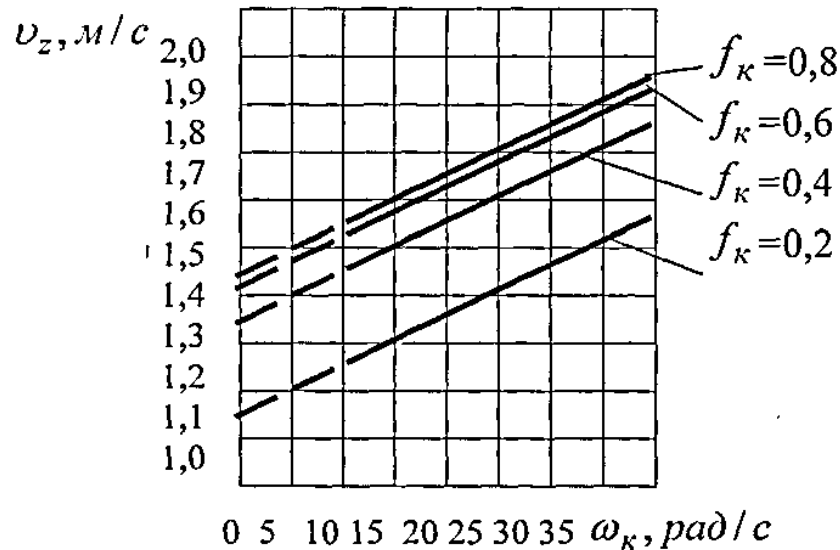


Рисунок 5.17 – Графики зависимости $v_z = f(f_k, \omega_k)$

Из графиков, приведенных на рисунке 5.17, видим, что зависимость $v_z = f(\omega_k)$ носит линейный характер и при этом угол наклона прямых при различных коэффициентах f_k практически одинаков. При пересечении прямых с осью v_z получим значения осевой скорости при $\omega_k = 0$, т.е. при неподвижном кожухе. Отсюда наглядно видно, что вращение кожуха способствует повышению осевой скорости перемещения материала.

5.3.3 Динамика шнекового конвейера

На частицу транспортируемого материала действуют сила тяжести G , реакция со стороны кожуха N_k , реакция со стороны частицы по шнеку $N_{ш}$. Проскальзывание частицы по шнеку обуславливает возникновение силы

трения $F_{ш} = f_{ш} \cdot N_{ш}$, направленной в сторону, противоположную относительной скорости скольжения v_r . Трение частицы о кожух характеризуется силой трения $F_k = f_k \cdot N_k$, противоположной скорости абсолютного движения v_a . При использовании метода обращенного движения имеем шнековый конвейер с неподвижным кожухом, у которого угловая скорость шнека равна сумме скоростей шнека и кожуха.

Составим уравнения динамики в проекциях на оси координат

$$\begin{cases} mR(\ddot{\varphi}\cos\varphi - \dot{\varphi}^2\sin\varphi) + N_k(\sin\varphi + f_k\cos\alpha \cdot \cos\varphi) - \\ - N_k\cos\varphi(f_k\cos\alpha + \sin\alpha) = 0 \\ mR(\ddot{\varphi}\sin\varphi + \dot{\varphi}^2\cos\varphi) + N_k(f_k\cos\beta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi) - \\ - N_k\sin\varphi(\sin\alpha + f_{ш}\cos\alpha) = 0 \\ mp\ddot{\varphi} + N_{ш}(\cos\alpha - f_{ш}\sin\alpha) + N_k f_k \sin\beta = 0 \end{cases} \quad (5.111)$$

Уравнения (5.111) представляют собой дифференциальные уравнения движения частицы в декартовых координатах. Они содержат четыре неизвестные величины и для их решения необходимо использовать одно из выражений кинематики.

Рассмотрим движение частицы относительно шнека. При перемещении частицы относительно шнека на угол $\theta_в = f(t)$

$$v_r^{ок} = R\dot{\theta}_в, \quad v_r = \frac{R}{\cos\alpha}\dot{\theta}_в \quad (5.112)$$

Из точки M проведем естественные оси, связанные с винтовой линией шнека: n — главная нормаль, совпадающая с радиусом шнека R , t — касательная и b — бинормаль.

Ускорение относительного движения в проекциях на естественные оси с

учетом, что радиус кривизны винтовой линии равен $\rho = \frac{R}{\cos^2 \alpha}$

$$\begin{cases} a_{rt} = \dot{v}_r = \frac{R}{\cos \alpha} \ddot{\theta}_\theta \\ a_{rn} = R \dot{\theta}_\theta^2 \\ a_{rb} = 0 \end{cases} \quad (5.113)$$

К действующим силам добавим переносную силу инерции $p_u = m\omega_u^2 R$ и силу инерции Кориолиса $p_\kappa = 2m\omega_u R \dot{\theta}_\theta$ и составим уравнения движения в проекциях на оси n , t и b .

$$\begin{cases} mR\dot{\theta}_\theta^2 + m\omega_u^2 R - 2m\omega_u R \dot{\theta}_\theta - N_\kappa = 0 \\ mR\ddot{\theta}_\theta + N_u f_u \cos \alpha + G \sin \alpha \cos \alpha - \\ - N_\kappa f_\kappa (\cos \beta R - p \sin \beta) = 0 \\ N_u - G \cos \alpha - N_\kappa f_\kappa (\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta) = 0 \end{cases} \quad (5.114)$$

Дифференциальные уравнения (5.114) характеризуют движение частицы относительно шнека. Для их решения необходимо использовать одно из выражений относительной скорости движения.

Рассмотрим относительное движение частицы в осях с траекторией этого движения: главная нормаль n_1 траектории совпадает с радиусом шнека, касательная t_1 с направлением скорости движения v_a , а бинормаль направлена по орту $\bar{b}_1 = \bar{t}_1 \times \bar{n}_1$. Окружная скорость движения из (5.106):

$$v^{ок} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = R\dot{\phi}, \text{ а абсолютная скорость: } v_a = \frac{v^{ок}}{\cos \beta} = \frac{R}{\cos \beta} \dot{\phi}.$$

Ускорения в проекциях на оси n_1, t_1 и b_1

$$a_n \doteq R\dot{\varphi}^2; a_t = \left[\frac{R}{\cos \beta} - \frac{\dot{\varphi} \sin \beta (p + R \operatorname{tg} \beta)^2}{p \omega_m} \right] \ddot{\varphi}. \quad (5.115)$$

Составим дифференциальные уравнения абсолютного движения частицы в проекциях на оси n_1, t_1 , и b_1 :

$$\begin{cases} mR\dot{\varphi}^2 - N_\kappa = 0 \\ m \left(\frac{R}{\cos \beta} - \frac{\dot{\varphi} \sin \beta (p + R \operatorname{tg} \beta)^2}{p \omega_m} \right) \ddot{\varphi} + G \sin \beta + \\ + N_\kappa f_\kappa - N_m f_m \cos(\alpha + \beta) - N_m \sin(\alpha + \beta) = 0 \\ N_m f_m \sin(\alpha + \beta) + G \cos \beta - N_m \cos(\alpha + \beta) = 0 \end{cases} \quad (5.116)$$

Уравнения (5.116) характеризуют абсолютное движение частицы. Для их решения необходимо одно из выражений скорости.

Составим уравнения Лагранжа второго рода в обобщенных координатах. Поскольку частица движется по винтовой линии, то она обладает одной степенью свободы, которая может быть задана обобщенной координатой. За обобщенную координату примем угол φ поворота частицы в абсолютном движении. Обобщенной координате соответствует обобщенная сила Q_φ , определяемая из условия, что возможная работа активных сил $\delta A = Q \delta \varphi$. В рассматриваемом случае

$$Q_\varphi = \sum F_x \frac{\partial x}{\partial \varphi} + \sum F_y \frac{\partial y}{\partial \varphi} + \sum F_z \frac{\partial z}{\partial \varphi}, \quad (5.117)$$

где $\sum F_x, \sum F_y, \sum F_z$ - суммы проекций всех активных

сил на оси координат. К активным силам относятся F_κ, F_μ ,
сила веса G .

Дифференцируя уравнения (5.105), получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial x}{\partial \varphi} = R \cos \varphi \\ \frac{\partial y}{\partial \varphi} = -R \sin \varphi \\ \frac{\partial z}{\partial \varphi} = -p \end{array} \right. \quad (5.118)$$

Суммы проекций всех активных сил на оси координат

$$\begin{aligned} \sum F_x &= F_\mu \cos \alpha \cos \varphi - F_\kappa \cos \beta \cos \varphi \\ \sum F_y &= -F_\mu \cos \alpha \sin \varphi + F_\kappa \cos \beta \sin \varphi \\ \sum F_z &= -F_\mu \sin \alpha - F_\kappa \sin \beta - G \end{aligned} \quad (5.119)$$

Обобщенная сила равна

$$Q = N_\kappa f_\kappa (p \sin \beta - R \cos \beta) + N_\mu f_\mu (p \sin \alpha + R \cos \alpha) + Gp \quad (5.120)$$

Скорость движения частицы из (5.106)

$$v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{R^2 \dot{\varphi}^2 + p(\omega_\mu - \dot{\varphi})^2}.$$

Найдем производные

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= \frac{G}{g} \left[(R^2 + p^2) \cdot \dot{\varphi} - \omega_\mu p^2 \right]; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= 0; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) = \frac{G}{g} (R^2 + p^2) \cdot \ddot{\varphi} \end{aligned}$$

В итоге получим:

$$\begin{aligned} \frac{G}{g} (R^2 + p^2) \cdot \ddot{\varphi} &= N_\kappa f_\kappa (p \sin \beta - R \cos \beta) + \\ &+ N_\mu f_\mu (p \sin \alpha + R \cos \alpha) + Gp \end{aligned} \quad (5.121)$$

Уравнение (5.121) представляет собой уравнение Лагранжа второго рода. Для его решения можно воспользоваться ранее полученными дифференциальными уравнениями. Неустойчивый период движения частицы очень мал и поэтому особый интерес представляет движение частицы по шнеку при установившемся режиме, когда $\ddot{\varphi} = \ddot{\theta}_e = 0$. В этом случае дифференциальные уравнения движения в декартовых координатах примут вид:

$$\begin{cases} N_k(\sin\varphi + f_k \cos\beta \cos\varphi) - N_u \cos\varphi(f_u \cos\alpha + \sin\alpha) - \\ - mR\dot{\varphi}^2 \sin\varphi = 0 \\ N_k(f_k \cos\beta \sin\varphi + \cos\varphi) - N_u \sin\varphi(\sin\alpha + f_u \cos\alpha) + \\ + mR\dot{\varphi}^2 \cos\varphi = 0 \\ N_k f_k \sin\beta - N_u(\cos\alpha - f_u \sin\alpha) + G = 0 \end{cases} \quad (5.122)$$

Дифференциальные уравнения относительного движения преобразуются в:

$$\begin{cases} N_u \sqrt{R^2 + p^2} - GR - N_k f_k (p \cos\beta + R \sin\beta) = 0 \\ N_u f_u \sqrt{R^2 + p^2} + Gp - N_k f_k (\cos\beta R + p \sin\beta) = 0 \\ mR(\omega - \theta_B)^2 - N_k = 0 \end{cases} \quad (5.123)$$

Дифференциальные уравнения абсолютного движения при установившемся режиме примут вид:

$$\begin{cases} G \sin\beta + N_k f_k - N_u f_u \cos(\alpha + \beta) - N_u \sin(\alpha + \beta) = 0 \\ mR\dot{\varphi}^2 - N_k = 0 \\ N_u f_u \sin(\alpha + \beta) + G \cos\beta - N_u f_u \cos(\alpha + \beta) = 0 \end{cases} \quad (5.124)$$

Уравнение Лагранжа второго рода (5.121) после преобразования имеет вид:

$$N_k f_k (p \sin\beta - R \cos\beta) + N_u f_u (p \sin\alpha - R \cos\alpha) + Gp = 0 \quad (5.125)$$

Использование полученных уравнений в различных сочетаниях позволяет выбирать наиболее рациональные варианты их решений и режимов транспортирования.

5.3.4 Рациональные соотношения угловых скоростей шнека и кожуха

Как следует из материалов, изложенных выше, шнековый конвейер с вращающимся кожухом обладает более высокими транспортирующими качествами по сравнению с вариантом, когда кожух неподвижен. Задачей настоящих исследований было определить рациональные соотношения угловых скоростей кожуха и шнека, а также установить влияние шага навивки спирали и степени ее износа на транспортирующую способность конвейера с вращающимся кожухом.

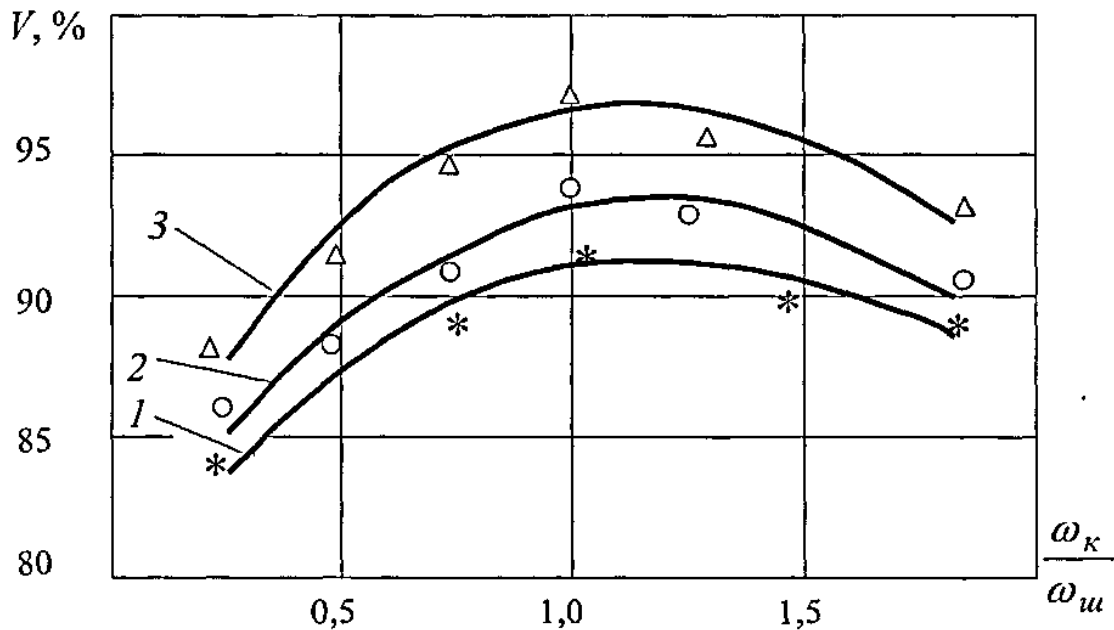


Рисунок 5.18 - Зависимости относительного объема перемещенного песка от соотношения угловых скоростей кожуха и шнека при частоте вращения шнека:
(1 – 90 мин $^{-1}$; 2 – 140 мин $^{-1}$; 3 – 224 мин $^{-1}$)

Экспериментальные исследования по определению рациональных соотношений угловых скоростей шнека и кожуха при их вращении навстречу друг другу выполнены на экспериментальном стенде с вращающимся кожухом при транспортировании сухого песка. Результаты экспериментов представлены на рисунке 5.18.

Из представленных данных можно сформулировать следующие выводы:

наибольшую транспортирующую способность шнековый конвейер развивает при соотношении угловых скоростей, равном единице, т.е. когда кожух вращается с той же частотой, что и шнек. Наряду с этим, при равенстве угловых скоростей шнека и кожуха происходит уравнивание шнекового конвейера, следствием чего может быть увеличение срока службы его опор, а также уменьшение динамических нагрузок на элементы привода;

влияние частоты вращения шнека и кожуха на транспортирующую способность конвейера в исследованном диапазоне весьма незначительно. Так, при увеличении частоты вращения в 2,5 раза прирост объема выдачи песка составил всего 3%.

Этот вывод имеет очень важное значение, так как с уменьшением частоты вращения шнека и кожуха снижается энергоемкость процесса транспортирования материала.

В дальнейшем были проведены сравнительные эксперименты по изучению транспортирующей способности шнекового конвейера с вращающимся и неподвижным кожухом, причем в первом случае соотношение угловых скоростей шнека и кожуха было принято равным единице (рисунок 5.19).

Как видно из представленных данных, при вращении кожуха шнековый конвейер обеспечивает перемещение большего объема песка. Подтверждено также, что увеличение частоты вращения шпинделя в несколько раз не приводит к какому-либо существенному приросту объема выдачи песка.

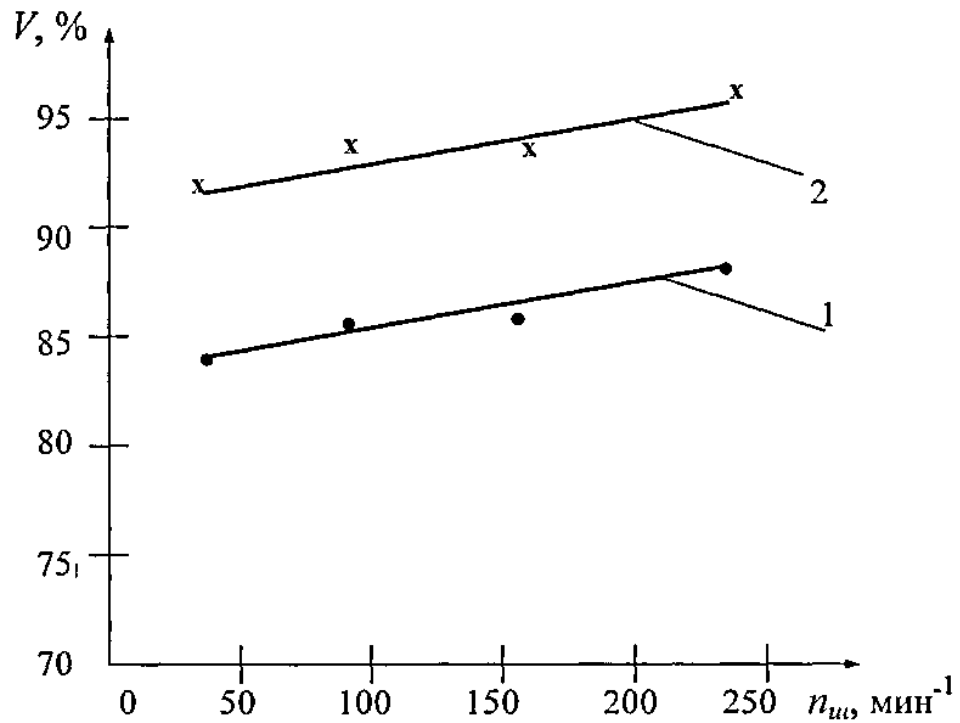


Рисунок 5.19 - Зависимости объема перемещенного
песка от частоты вращения шнека:

1 – кожух неподвижен; 2 – кожух вращается, $\omega_k = \omega_{шн}$.

Для определения рациональной величины шага навивки спирали шнека, работающего совместно с вращающимся с такой же частотой кожухом, были проведены эксперименты, в которых испытаны шнеки с шагом навивки спирали, равным 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 его диаметрам по наружному размеру, при частоте вращения шнека и кожуха 90, 140 и 224 мин⁻¹.

Результаты этих экспериментов, представленные в таблице 5.6 и на рисунке 5.20 в относительных единицах, убедительно доказывают, что в шнековом конвейере с вращающимся кожухом шаг навивки спирали шнека может быть увеличен до 1,5 его диаметров по наружному размеру, а это обеспечивает более короткий путь транспортирования материала, позволяет уменьшить вес шнека и сократить расходы на его изготовление.

Таблица 5.6 – Результаты экспериментов по определению рациональной величины шага навивки спирали шнека

Частота вращения шнека, мин ⁻¹	Кожух неподвижен			Кожух вращается		
	90	140	224	90	140	224
Отношение шага навивки спирали шнека к его диаметру						
1,0	0,49	0,65	0,69	0,74	0,79	0,81
1,5	0,75	0,78	0,82	0,81	0,85	0,89
2,0	0,59	0,70	0,71	0,75	0,79	0,86
2,5	0,57	0,69	0,69	0,75	0,75	0,80
3,0	0,55	0,52	0,53	0,54	0,64	0,68

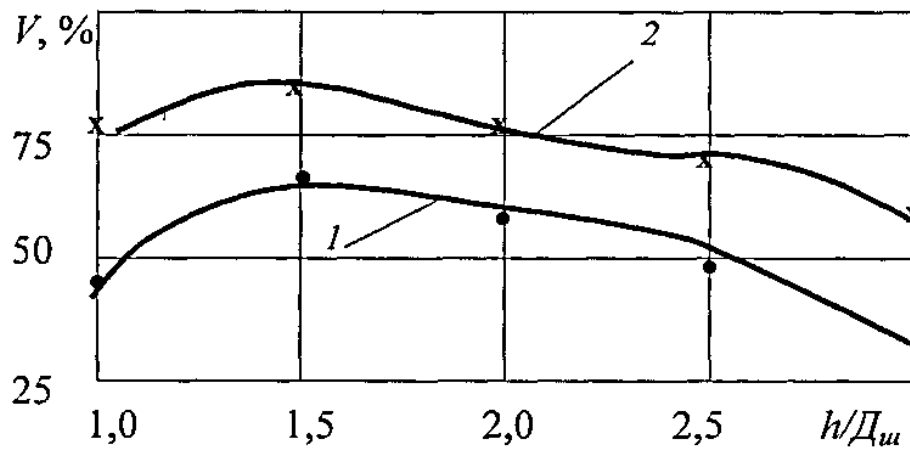


Рисунок 5.20 - Зависимости относительного объема перемещенного песка от шага навивки спирали ($n_{ш} = 140 \text{ мин}^{-1}$):

1 – кожух неподвижен; 2 – кожух вращается

Износ спирали шнека приводит к уменьшению ее ширины и, соответственно, к увеличению кольцевого зазора между наружным диаметром шнека и внутренним диаметром кожуха, через который транспортируемый материал может просыпаться вниз. При этом уменьшается объем выдачи материала и происходит его дополнительное измельчение, что, как правило, нежелательно. При проведении экспериментов изнашивание спирали шнека

имитировали посредством ее проточки на токарном станке. Полученные результаты представлены в таблице 5.7 и на рисунке 5.21.

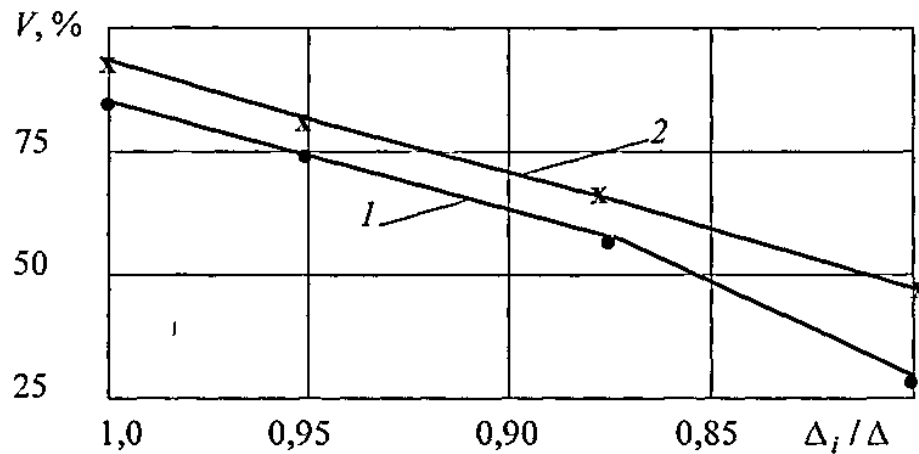


Рисунок 5.21 - Зависимости относительного объема перемещенного песка от износа спирали ($n_{ш} = 140 \text{ мин}^{-1}$):
1 – кожух неподвижен; 2 – кожух вращается.

Как следует из рисунка 5.21, по мере износа спирали шнековый конвейер с вращающимся кожухом сохраняет более высокие транспортирующие качества по сравнению с вариантом, когда кожух неподвижен. Особенно эта разница становится заметной после износа спирали на 10% и больше от ее первоначальной ширины.

Таблица 5.7 - Результаты экспериментов по установлению влияния износа спирали на транспортирующую способность шнекового конвейера

Ширина спирали в относительных единицах	Частота вращения шнека, мин^{-1}	Кожух неподвижен			Кожух вращается		
		90	140	224	90	140	224
1,0		0,86	0,86	0,88	0,92	0,93	0,96
0,94		0,71	0,76	0,76	0,75	0,81	0,85
0,87		0,64	0,65	0,66	0,67	0,71	0,77
0,80		0,32	0,34	0,69	0,58	0,65	0,67

Таким образом, если кожух вращается навстречу шнеку с одинаковой частотой, шнековый конвейер обладает наибольшей транспортирующей способностью. Шнековый конвейер с неподвижным кожухом при работе с новым шнеком имел результаты, близкие к тем, что были получены при варианте с вращающимся кожухом. Однако по мере износа спирали его транспортирующие качества заметно ухудшаются.

5.3.5 Перемещение материала в зоне загрузки шнекового конвейера

На предприятиях легкой промышленности используют, как правило, шнековые конвейеры, у которых шнеки имеют однозаходную спираль /160/, причем шаг навивки спирали одинаков по всей длине шнека. Однако, как уже отмечалось, при перемещении материала вертикальным шнековым конвейером необходимо как можно быстрее производить удаление материал из зоны загрузки. В противном случае может произойти полное заполнение материалом первых витков шнека, затем происходит уплотнение материала в межвитковом пространстве и, наконец, остановка шнека. Очевидно, что однозаходный шнек, имея одну спираль, за один оборот может произвести только один захват материала в зоне загрузки. С увеличением числа спиралей количество захватов материала шнеком пропорционально увеличивается, но с увеличением числа заходов спирали, масса и стоимость шнека становятся больше.

С целью улучшения процесса удаления транспортируемого материала из зоны загрузки предложено простое и эффективное техническое решение, заключающееся в том, чтобы шнек имел в нижней части короткий сменный наконечник с разным числом спиралей /26/. Экспериментальным путем было установлено, что длина наконечника может быть не более величины одного шага навивки спирали шнека, причем одна основная спираль должна быть навита по всей длине наконечника, а вторая спираль у 2-х заходного наконечника, вторая и третья спирали у 3-х заходного наконечника

(вспомогательные спирали), должны быть укорочены по отношению к первой спирали. При установке наконечника на шнек его основная спираль стыкуется со спиралью шнека. Для обеспечения этого условия шнек и наконечник должны иметь такое соединение, которое обеспечивало бы точную установку основной спирали наконечника относительно спирали шнека. Необходимость укорачивания второй и третьей спиралей, навитых на наконечниках, обосновывается следующим. Так как в шнековых конвейерах применяются, как правило, однозаходные шнеки, то при установке наконечника только одна его спираль сопрягается со спиралью шнека, остальные спирали (вторая у двухзаходного наконечника, вторая и третья – у трехзаходного наконечника) со спиралью шнека не сопрягаются. Поэтому при работе конвейера материал, захватываемый основной спиралью наконечника, без препятствий поступает на спираль шнека и транспортируется в нужном направлении, а материал, захватываемый второй и третьей спиралями наконечника, подходя к шнеку, не имеет выхода на его спираль. Вследствие этого, в месте стыковки наконечника со шнеком может происходить образование пробки из транспортируемого материала, что вызывает остановку шнекового конвейера.

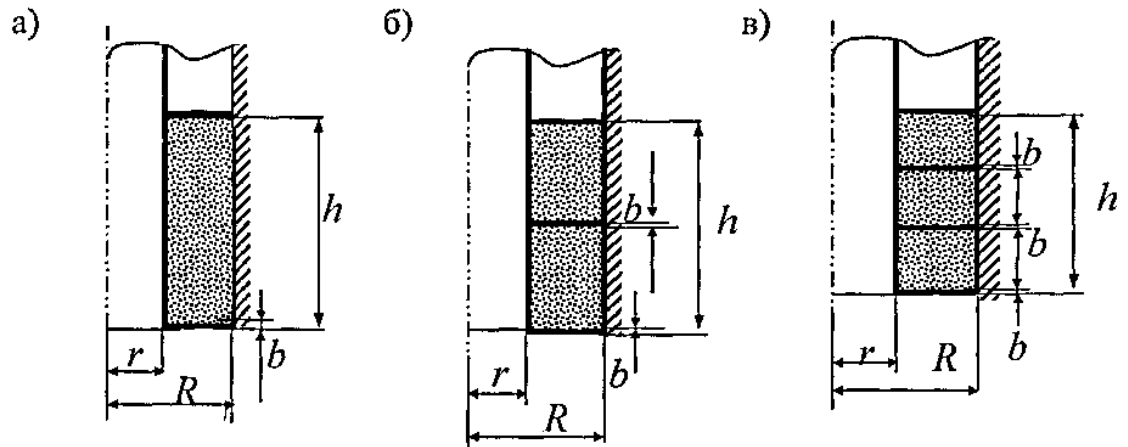


Рисунок 5.22 - Схемы размещения спиралей на наконечнике с однозаходной спиралью (а), с 2-х заходной спиралью (б), с 3-х заходной спиралью (в).

Укорачивание вспомогательных спиралей наконечника по отношению к основной позволит в процессе работы шнекового конвейера производить постепенную перегрузку материала со вспомогательных спиралей на основную спираль, а далее материал беспрепятственно поступает на спираль шнека.

При анализе конструкций экспериментальных наконечников было установлено, что наличие на наконечнике двух или трех спиралей с таким же шагом, как и на спирали шнека, уменьшает проходное сечение межвиткового пространства за счет толщины дополнительных спиралей (рисунок 5.22).

Как видно из рисунка 5.22, поперечное сечение для прохода материала равно: в первом случае $S_a = (R - r) \cdot (h - b)$, во втором $S_b = (R - r) \cdot (h - 2b)$, в третьем $S_c = (R - r) \cdot (h - 3b)$, где r и b – внутренний радиус шнека и толщина спирали. Вследствие этого уменьшается полезный объем витка:

$$V_a = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot (h - b), V_b = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot (h - 2b), \quad (5.126)$$

$$V_c = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot (h - 3b). \quad (5.127)$$

Но наиболее важным для перемещения материала оказывается то, что высота проходного сечения витка h_{np} с увеличением числа спиралей становится меньше.

Так, в первом случае $h_{np_a} = h - b$, во втором - $h_{np_b} = (h - 2b)/2$, в третьем - $h_{np_c} = (h - 3b)/3$.

Чтобы предотвратить уменьшение проходного сечения с увеличением числа спиралей, необходимо, как следует из рисунка 5.22, при изготовлении наконечника увеличить шаг навивки спиралей: у наконечника с двухзаходной спиралью шаг навивки должен быть равен $2D$, у наконечника с трехзаходной спиралью - $3D$. Однако при этом угол подъема спиралей становится весьма

значительным ($32^{\circ}36'$ и $43^{\circ}48'$) и поэтому можно было ожидать, что транспортируемый материал будет осыпаться со спиралей после остановки конвейера.

Экспериментальная проверка работы шнекового конвейера со сменными наконечниками выполнена на стенде с неподвижным кожухом. Двухзаходный наконечник имел наружный диаметр 76 мм, шаг навивки спиралей 152 мм, обе спирали были навиты на длине одного витка, а затем в ходе экспериментов одна из спиралей постепенно укорачивалась. Трехзаходный наконечник имел такой же диаметр, шаг навивки спиралей составлял 228 мм, все спирали были навиты на длине одного шага, а затем вторая и третья спирали укорачивались. Наконечники стыковались с однозаходным шнеком с наружным диаметром 76 мм и шагом навивки спиралей 76 мм /26/.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность шнекового конвейера, имеющего в нижней части шнека сменный наконечник. Зафиксировано, что в процессе транспортирования песок, захватываемый наконечником, постепенно перегружался с укороченных спиралей на основную спираль и далее поступал на спираль шнека. Перемещение песка осуществлялось эффективно, таблица 5.8.

Таблица 5.8 – Объем перемещенного песка (%) в зависимости от частоты вращения шнека.

Шнековый конвейер	Частота вращения шнека, мин ⁻¹		
	90	140	224
С однозаходным шнеком без наконечника	68	72	80
С однозаходным шнеком и двухзаходным наконечником	81	84	87
С однозаходным шнеком и трехзаходным наконечником	82	84	88

Как следует из данных, приведенных в таблице 5.8, применение наконечника с двухзаходной спиралью позволило увеличить объем перемещенного материала на 7 – 13% в исследованном диапазоне частоты вращения шнека. При этом установлено, что вспомогательная спираль наконечника должна быть укорочена со стороны шнека на половину своей длины. Применение наконечника с трехзаходной спиралью не может быть признано целесообразным, так как при этом прироста объема перемещенного материала практически не происходило, по сравнению с предыдущим вариантом.

5.3.6 Производительность шнекового конвейера

Для определения производительности шнекового конвейера с вращающимся кожухом воспользуемся ранее полученными зависимостями:

при $R_{кр} \geq r_v$

$$\Pi_{ш} = 0,4\pi \cdot K_3 \cdot v_z \left(2R^2 - R_{кр} \cdot R - R_{кр}^2 \right),$$

при $R_{кр} < r_v$

$$\Pi_{ш} = \frac{0,4\pi \cdot K_3 \cdot V_z}{R - R_{кр}} \left(2R^3 - 3R_{кр} \cdot R^2 - 2r_v^3 + 3R_{кр}^2 \cdot r_v^2 \right)$$

Подставляя в последние выражения значения v_z , получим:

при $R_{кр} \geq r_v$

$$\Pi_{ш} = 0,4\pi \cdot K_3 \left(\omega_{ш} RK_1 + \omega_{ш} RK_2 \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha \left(2R^2 - R_{кр} \cdot R - R_{кр}^2 \right), \quad (5.128)$$

при $R_{кр} < r_v$

$$\Pi_{ш} = \frac{0,4\pi \cdot K_3}{R - r_v} \left(\omega_{ш} RK_1 + \omega_{ш} RK_2 \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha \left(2R^3 - 3r_v \cdot R^2 - r_v^3 \right) \quad (5.129)$$

Выполним исследования влияния коэффициента трения f_k и угловых скоростей шнека и кожуха при $\omega_{ш} = \omega_k$ на производительность конвейера при следующих постоянных параметрах: $\alpha = 15^\circ 20'$; $f_{ш} = 0,2$, $R = 0,1$ м, $r_в = 0,03$ м, $K_3 = 0,7$.

Подставляя постоянные величины в выражение (5.129), получим:

$$P_{ш} = 26,66 \cdot 10^{-6} (\omega_{ш} K_1 + \omega_k K_2) \quad (5.130)$$

Результаты расчетов по формуле (5.130) приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Результаты расчетов производительности шнекового конвейера ($\text{м}^3/\text{с} \cdot 10^{-3}$) в зависимости от f_k и угловых скоростей кожуха и шнека

$f_k \backslash \omega_{ш} = \omega_k, \text{рад/с}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
20	0,33	0,44	0,48	0,51	0,53
30	0,68	0,78	0,83	0,85	0,87
40	1,02	1,12	1,17	1,20	1,21

По данным таблицы 5.9 построены графики изменения производительности в зависимости от коэффициента трения f_k частицы материала о кожух при различных численных значениях $\omega_{ш} = \omega_k$, представленные на рисунке 5.23 (штриховыми линиями показаны расчетные значения производительности шнекового конвейера с неподвижным кожухом).

Из полученных графиков следует, что с увеличением коэффициента трения f_k и угловых скоростей шнека и кожуха производительность конвейера возрастает, причем наиболее заметный рост происходит при увеличении коэффициента трения f_k до 0,4.

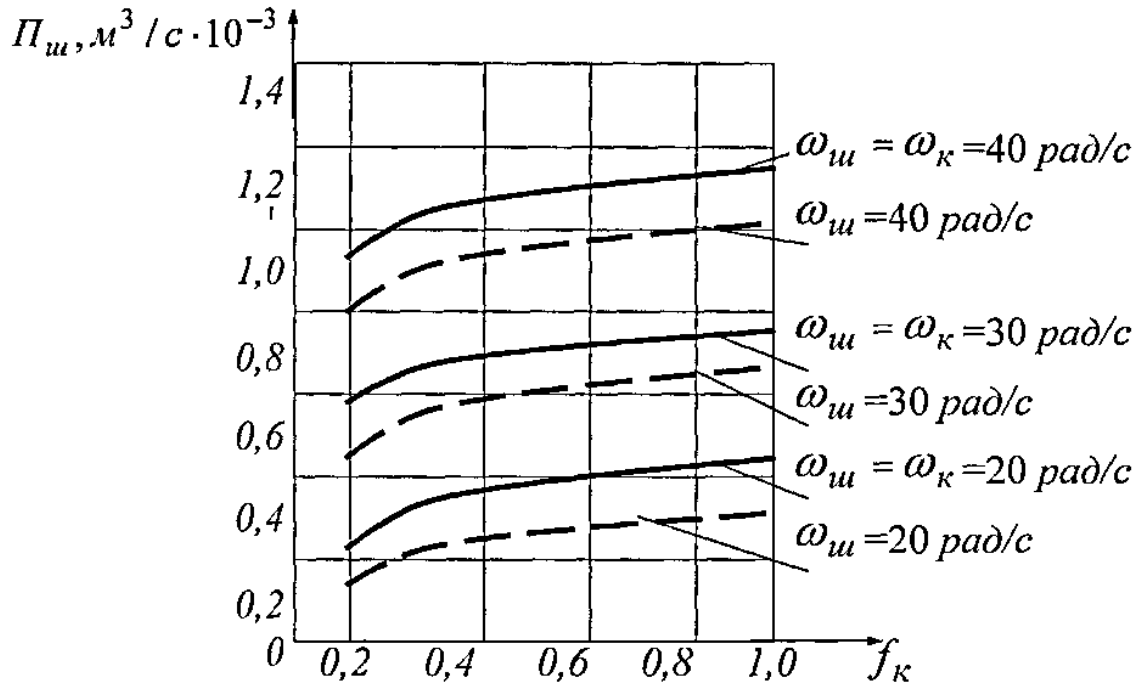


Рисунок 5.23 – Зависимости производительности шнекового конвейера от коэффициента трения f_k при различных угловых скоростях кожуха и шнека

Расчетная производительность шнекового конвейера с неподвижным кожухом в исследованном диапазоне параметров оказалось меньше в 1,15 – 1,45 раза.

5.4 Сравнительный анализ производительности и удельных энергозатрат шнековых конвейеров с неподвижным и вращающимся кожухом

В вертикальном шнековом конвейере с неподвижным кожухом затраты мощности на транспортирование частицы материала могут быть представлены в следующем виде [21]:

$$P_{н.к.} = P_{\Pi} + P_{T.ш} + P_{T.к} \quad (5.131)$$

где P_{Π} – затраты мощности на подъем частицы;

$P_{T.ш}$ - затраты мощности на трение частицы о шнек;

$P_{T.к}$ - затраты мощности на трение частицы о кожух.

Затраты мощности на подъем частицы:

$$P_{\Pi} = G \cdot v_z \quad (5.132)$$

Затраты мощности на трение частицы о шнек:

$$P_{T.ш} = N_{ш} \cdot f_{ш} \cdot v_z / \sin \alpha \quad (5.133)$$

Затраты мощности на трение частицы о кожух:

$$P_{T.к} = N_k \cdot f_k \cdot v_z / \sin \beta, \quad (5.134)$$

где β - угол между переносной и абсолютной скоростями частицы.

Нормальная реакция шнека:

$$N_{ш} = G \cos \alpha + N_k \cdot f_k \cdot \sin(\alpha + \beta) = G \cos \alpha + \frac{G v_z^2 f_k \sin(\alpha + \beta)}{g t g^2 \beta \cdot R_{ш}} \quad (5.135)$$

Нормальная реакция кожуха:

$$N_k = \frac{G v_z^2}{g \cdot t g^2 \beta \cdot R_{ш}} \quad (5.136)$$

С учетом полученных выражений (5.132–5.136) формула определения требуемой мощности имеет вид:

$$P_{н.к} = G v_z + \frac{f_{ш} v_z}{\sin \alpha} G \cos \alpha \left[G \cos \alpha + \frac{G v_z^2 f_k \sin(\alpha + \beta)}{g t g^2 \beta \cdot R_{ш}} \right] + \frac{f_k \cdot G \cdot v_z^3}{\sin \beta \cdot g \cdot t g^2 \beta \cdot R_{ш}} \quad (5.137)$$

Разделив требуемую мощность на производительность шнекового конвейера, получим выражение для определения удельных энергозатрат на транспортирование материала:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{н.к} = \frac{P_{н.к}}{\Pi_{н.к}} = \frac{G}{K} + \frac{f_{ш}}{\sin \alpha \cdot K} \left[G \cos \alpha + \frac{G v_z^2 f_k \sin(\alpha + \beta)}{g t g^2 \beta \cdot R_{ш}} \right] + \\ + \frac{f_k \cdot G \cdot v_z^2}{K \cdot g \cdot R_{ш} \sin \beta t g^2 \beta}, \end{aligned} \quad (5.138)$$

где $K = 0,4\pi \cdot K_3 \left(2R^2 - R_{кр} \cdot R - R_{кр}^2 \right)$.

В вертикальном шнековом конвейере с вращающимся кожухом на транспортирование частицы материала потребуются следующие затраты мощности:

$$P_{в.к.} = P_{II} + P_{T.ш} + P_{T.к} + P_{к} \quad (5.139)$$

где $P_{к}$ - затраты мощности на вращение кожуха.

Остальные составляющие выражения (5.139) имеют те же значения, что и в формуле (5.131).

Затраты мощности на вращение кожуха:

$$P_{к} = N_{к} \cdot f_{к} \cdot v_z / \sin \beta \quad (5.140)$$

Суммарные затраты мощности можно определить из выражения:

$$P_{в.к.} = v_z \left(G + \frac{N_{ш} \cdot f_{ш}}{\sin \alpha} + 2 \frac{N_{к} \cdot f_{к}}{\sin \beta} \right) \quad (5.141)$$

Удельные энергозатраты шнекового конвейера с вращающимся кожухом:

$$\mathcal{E}_{в.к.} = \frac{P_{в.к.}}{\Pi_{в.к.}} = \frac{G}{K} + \frac{N_{ш} \cdot f_{ш}}{K \cdot \sin \alpha} + 2 \frac{N_{к} \cdot f_{к}}{K \cdot \sin \beta}, \quad (5.142)$$

где
$$N_{ш} = G \cdot \cos \alpha + \frac{G f_{ш} \cdot \sin(\alpha + \beta) v_z^2}{g \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \cdot R_{ш}},$$

$$N_{к} = \frac{G v_z^2}{g \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \cdot R_{ш}}.$$

Результаты расчетов затрат мощности на транспортирование частицы материала по зависимостям (5.137) и (5.141) при следующих значениях параметров: $f_{ш}=0,2$; $R_{ш}=0,1$ м; $G=0,01$ Н; $\alpha=15^\circ 20'$; $r_{в}=0,03$ м, $K_3=0,7$ приведены в таблицах 5.10 и 5.11.

Таблица 5.10– Затраты мощности шнекового конвейера с неподвижным кожухом (Вт) в зависимости от коэффициента трения f_k

f_k	0,2	0,4	0,6	0,8
$\omega_{ш}, \text{рад/с}$				
20	0,04	0,08	0,13	0,16
30	0,14	0,28	0,42	0,55
40	0,33	0,66	0,98	1,31

Таблица 5.11 – Затраты мощности шнекового конвейера с вращающимся кожухом (Вт) в зависимости от коэффициента трения f_k

f_k	0,2	0,4	0,6	0,8
$\omega_{ш} = \omega_k, \text{рад/с}$				
20	0,04	0,10	0,16	0,21
30	0,17	0,36	0,54	0,72
40	0,42	0,85	1,28	1,72

Зависимости, построенные по данным таблиц 6.1 и 6.2, показаны на рисунке 5.24.

$P_{н.к}, P_{в.к},$
 $\text{Вт} \cdot 10^{-2}$

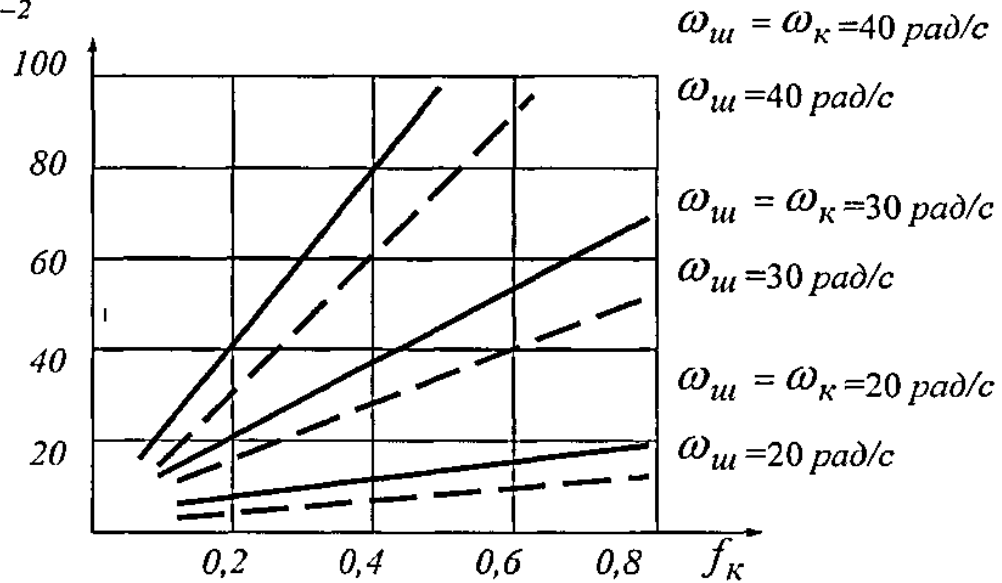


Рисунок 5.24 – Зависимости затрат мощности шнекового конвейера от коэффициента трения f_k :

— - с вращающимся кожухом, - - - с неподвижным кожухом.

Из приведенных зависимостей следует, что у шнекового конвейера с вращающимся кожухом затраты мощности несколько больше, но основным показателем эффективности работы машины или установки следует считать удельные энергозатраты. Расчетные значения этого показателя приведены в таблицах 5.12 и 5.13.

Таблица 5.12 – Удельные энергозатраты шнекового конвейера с

неподвижным кожухом ($\frac{Вт \cdot с}{м^3}$).

f_k $\omega_{ш}, рад/с$	0,2	0,4	0,6	0,8
20	239	311	419	485
30	326	538	750	948
40	485	857	1210	1578

Таблица 5.13 – Удельные энергозатраты шнекового конвейера с

вращающимся кожухом ($\frac{Вт \cdot с}{м^3}$).

f_k $\omega_{ш} = \omega_k, рад/с$	0,2	0,4	0,6	0,8
20	127	227	333	412
30	250	462	651	847
40	412	759	1143	1433

Сравнительный анализ представленных данных показывает, что во втором случае удельные энергозатраты меньше в 1,2-1,9 раза при принятых значениях коэффициента f_k и угловых скоростей шнека и кожуха за счет высокой производительности шнекового конвейера с вращающимся кожухом.

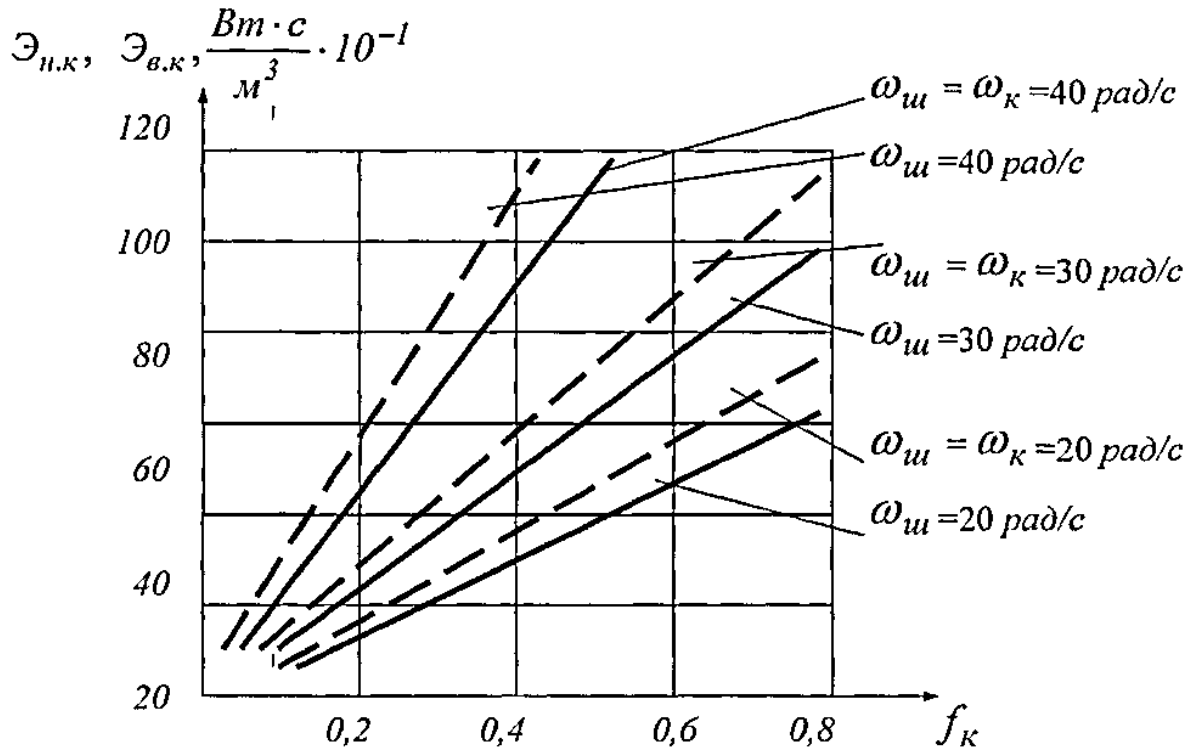


Рисунок 5.25 – Зависимости удельных энергозатрат шнекового конвейера от коэффициента трения f_k :

— с вращающимся кожухом, - - - с неподвижным кожухом.

Таким образом, на основании анализа и обобщения полученных данных можно сделать вывод о том, что при транспортировании сыпучих материалов вертикальным шнековым конвейером более предпочтительным является вариант, когда кожух вращается навстречу шнеку с одинаковой частотой.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны принципиально новые конструкции шнековых конвейеров, защищенные авторскими свидетельствами /10, 12, 14, 16, 17/, которые могут найти применение в различных отраслях промышленности.

В ы в о д ы:

1. Разработана теория процесса транспортирования материала шнековым конвейером с вращающимся кожухом, позволяющая установить закономерности перемещения материала по спирали шнека при разных

условиях формирования действующих сил. Решена задача повышения эффективности функционирования шнекового конвейера за счет обеспечения вращения кожуха и уменьшения сопротивлений в зоне загрузки.

2. Экспериментальным путем установлено рациональное соотношение угловых скоростей кожуха и шнека, равное единице. Доказано, что при этом соотношении шнековый конвейер имеет наибольшую транспортирующую способность, кроме этого происходит уравнивание шнекового конвейера, следствием чего может быть увеличение срока службы его опор, а также уменьшение нагрузок на элементы привода; влияние частоты вращения шнека и кожуха в исследованном диапазоне на транспортирующую способность шнекового конвейера весьма незначительно.

3. Установлено, что при соотношении угловых скоростей шнека и кожуха, равном единице, шаг навивки спирали шнека может быть увеличен до полутора его диаметров по наружному размеру, что обеспечивает более короткий путь транспортирования материала, уменьшает вес шнека и сокращает расходы на его изготовление.

4. Показано, что шнековый конвейер с вращающимся кожухом при рациональном соотношении угловых скоростей шнека и кожуха по мере износа спирали шнека сохраняет более высокие транспортирующие качества по сравнению с вариантом, когда кожух неподвижен.

5. С целью улучшения отвода материала из зоны загрузки шнекового конвейера предложена оригинальная конструкция шнека, имеющего в нижней части короткий сменный наконечник с двухзаходной спиралью, одна из которых укорочена. По данным экспериментальных исследований использование шнека с таким наконечником позволяет увеличить объем перемещенного материала в 1,1 – 1,2 раза.

6. Сравнительный анализ производительности и удельных энергозатрат шнековых конвейеров с неподвижным и вращающимся кожухом показал, что во втором случае удельные энергозатраты меньше в 1,2-1,9 раза за счет более высокой производительности.

6. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

6.1 Вырубочный консольный пресс с регулируемым поворотом ударника

Пресс имеет корпус 1, полу ю скалку 2 с ударником 3 (рисунок 6.1), ударный механизм, механизм регулирования положения ударника по высоте относительно вырубочной плиты, механизм поворота ударника, гидропривод с электрооборудованием.

На корпусе размещены два кронштейна с ладонными кнопками для включения пресса на рабочий ход ударника.

Ударный механизм имеет силовой цилиндр, образованный нижней частью скалки 2 и поршнем 5, закрепленным на штоке 6. Полость силового цилиндра соединена с гидроприводом пресса через отверстие в штоке 6 и предназначена для осуществления рабочего хода скалки с ударником.

Механизм регулирования положения ударника служит для установки последнего на определенном расстоянии по высоте от вырубочной плиты, вследствие чего изменяется величина хода ударника. Он представляет собой червячно-винтовой редуктор с приводом от индивидуального электродвигателя, от которого вращение передается на червяк, находящийся в зацеплении с червячным колесом. Шток 6 имеет резьбовое соединение со ступицей червячного колеса и при его вращении он либо поднимается, либо опускается. При этом ударник 3 изменяет свое положение относительно стола 4.

Механизм поворота ударника предназначен для поворота скалки 2 вместе с ударником 3 в рабочее положение к вырубочному столу 4 и возврата ударника в исходное положение. В него входят два гидроцилиндра 7 и 8, двухсторонний поршень со сторонами подвода 9 и отвода 10 ударника, зубчатая рейка 26, а также регулятор угла отвода ударника, состоящий из золотников 11,12 с пультом 13 на корпусе пресса и электросхемой их

управления. Рейка 26 помещена в направляющей и находится в зацеплении с зубьями скалки 2.

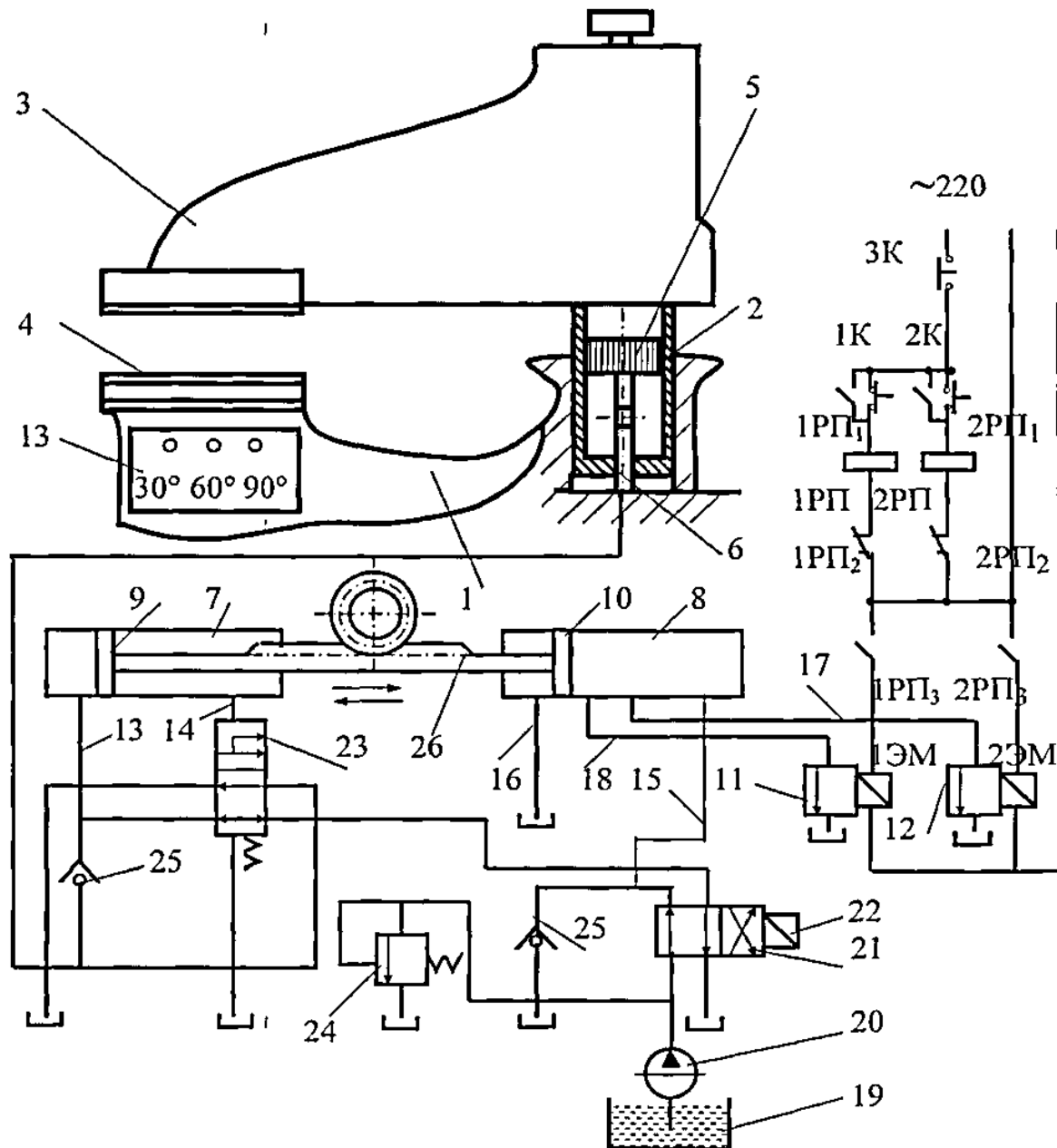


Рисунок 6.1 - Вырубочный консольный пресс с регулируемым поворотом ударника

Для торможения движения поршня в конечных положениях на крышках гидроцилиндров 7 и 8 имеются выступы с канавками, а в поршне глухие

отверстия. Со стороны 9 поршня подвода ударника гидроцилиндр 7 имеет отверстия для соединения с трубопроводами подачи 14 и удаления 13 масла. Со стороны 10 двухстороннего поршня кроме отверстий подачи и удаления масла с трубами 15,16 в гидроцилиндре 8 выполнено два дополнительных расположенных между ними вдоль оси гидроцилиндра сливных отверстия для отвода ударника на углы 30° и 60° от оси вырубочного стола. Причем эти дополнительные отверстия соединены трубопроводами 17, 18 с маслобаком 19 посредством золотников 11, 12 с электромагнитами 1ЭМ, 2ЭМ.

Электросхема регулятора угла отвода ударника состоит из кнопок 1К, 2К, 3К на пульте 13 и реле 1РП, 2РП со своими нормально-открытыми контактами 1РП₁, 2РП₁, соединенными с кнопками 1К, 2К нормально-закрытыми контактами 1РП₂, 2РП₂ и нормально-открытыми контактами 1РП₃, 2РП₃, соединенными с электромагнитами 1ЭМ, 2ЭМ золотников 11,12.

В верхней части скалки установлен клапан для подачи внутрь сжатого воздуха. Гидравлический привод состоит из гидронасоса 20, золотника управления 21 с электромагнитом 22, золотника управления 23 поворотом ударника, золотников управления регулятора угла отвода ударника 11,12, предохранительного клапана 24, обратных клапанов 25 в системе поворота ударника, маслобака 19 и системы трубопроводов.

Пресс работает следующим образом.

Нажатием пусковой кнопки включается электродвигатель насоса 20. От него масло по трубопроводу через золотник управления 21 и трубопровод 15 поступает в цилиндр 8 для отвода ударника, пройдя который через один из сливных трубопроводов 17, 18 или 16 возвращается на слив в маслобак 19. Ударник отведен от вырубочной плиты на заданный угол. Пресс работает в холостом режиме.

При нажатии на ладонные кнопки включения прессы на работу, срабатывает электромагнит 22. Золотник 21 переключается, масло от насоса 20 через золотник 23 и трубопровод 13 направляется в цилиндр 7 поворота

ударника. Происходит поворот ударника в рабочее положение. После окончания поворота¹ масло, пройдя через цилиндр 7 и трубопровод 14, подается к золотнику 23, перемещает его вниз и от насоса 20 направляется по трубопроводам, а затем через полый шток 6 в полость рабочего цилиндра скалки 2 между ее дном и поршнем 5. Под давлением масла, преодолевающего силу сжатого воздуха, ударник 3 опускается вниз и производит удар по резаку.

После вырубания детали обуви отключается электромагнит 22 золотника 21, золотники 21, 23 возвращаются в исходное положение.

Энергия сжатого воздуха, аккумулированная в скалке, поднимает ударник вверх. Поток масла от насоса 20 через золотник 21 направляется в цилиндр 8 со стороны 10 двухстороннего поршня. Происходит отвод ударника в заданное исходное положение. Положение конечного останова после отвода ударника от вырубочной плиты на углы 30° , 60° и максимальный угол выбирается оператором путем нажатия на одну из соответствующих кнопок 1К, 2К или 3К пульта 13 регулятора угла отвода ударника до начала работы прессы.

Нажатие кнопки 1К вызывает включение реле 1РП и подачу электрического тока через нормально-открытые контакты 1РП₁, 1РП₃ на электромагнит 1ЭМ, который переключает золотник 11. После нажатия ладонных кнопок происходит рабочий ход ударника. Поршень стороной 10 отвода ударника под давлением масла, заставляя зубчатую рейку 26 поворачивать скалку 2 с ударником на заданный угол 30° , перемещается и останавливается из-за падения давления масла, пройдя соответствующее ему отверстие в цилиндре 8 с открытым трубопроводом 18.

При нажатии на кнопку 2К аналогично произойдет включение реле 2РП, электромагнита 2ЭМ и переключение золотника 12 для отвода масла через трубопровод 18. После нажатия ладонных кнопок произойдет рабочий ход и последующий отвод ударника на угол в 60° из-за того, что давление масла в цилиндре 8 упадет и поршень остановится по прохождению стороной 10 отверстия с открытым трубопроводом 17.

Одновременность включения золотников 11,12 исключают нормально-замкнутые контакты 1РП₂, 2РП₂.

При нажатии кнопки ЗК, а затем ладонных кнопок, ударник после рабочего хода отводится в исходное положение на максимальный угол, так как электрический ток на реле 1РП, 2РП и электромагниты 1ЭМ, 2ЭМ не подается, трубопроводы дополнительных сливных отверстий остаются закрытыми золотниками 11,12, что не вызывает падения давления в гидроцилиндре 8 и вынуждает двухсторонний поршень переместиться на максимальную величину.

6.2 Измельчители отходов обувного производства

По результатам теоретических исследований разработаны и рекомендованы к внедрению несколько вариантов измельчителей /11, 31/.

Измельчитель барабанного типа (рисунок 6.2) состоит из двух барабанов 1, выполненных в виде приводных сопряженных зубчатых колес (устройство привода не показано), направляющих проставок 2, измельчающих барабанов 3 и 4, фильтрующей решетки 5, сборника 6 крошки, механизма 7 регулирования зазора. Для уменьшения засорения поверхностей барабанов 3 и 4 направляющие проставки, сопрягаемые с этими барабанами, должны иметь малый угол заострения (рисунок 6.3, точка А). Все элементы устройства смонтированы в корпусе 8.

Измельчитель работает следующим образом.

Из бункера барабаны 1 подают куски отходов в направляющие проставки 2, откуда они поступают в зону измельчения (рисунок 6.3).

Измельчающие барабаны вращаются по часовой стрелке, при этом сопрягаемые участки барабанов в зоне измельчения перемещаются относительно друг друга в противоположных направлениях. Диаметр барабана, рабочая поверхность которого перемещается в направлении подачи отходов, выбирается в 1,2 – 1,5 раза больше диаметра второго измельчающего барабана,

а угловая скорость барабана с большим диаметром в 2-5 раз больше угловой скорости меньшего измельчающего барабана.

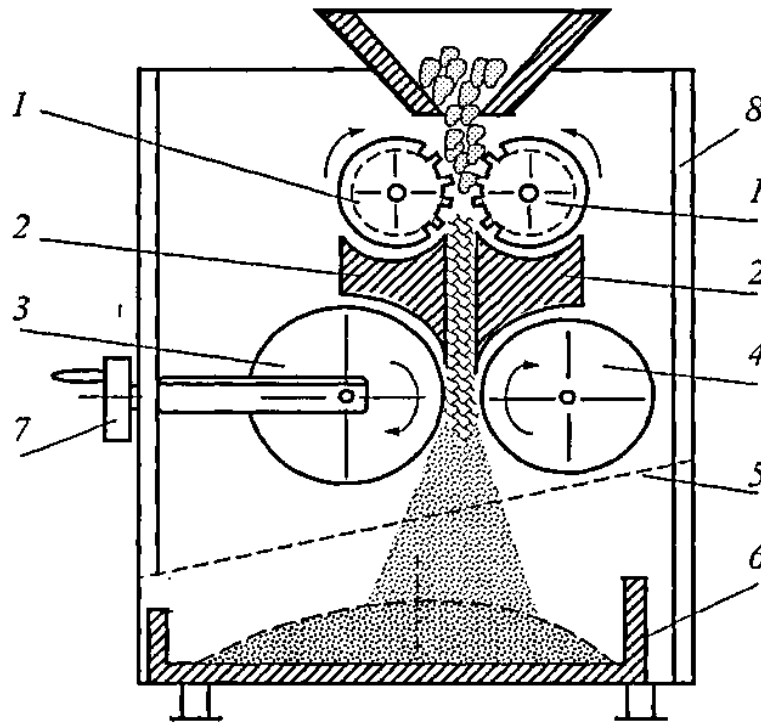


Рисунок 6.2 – Схема измельчителя

Вращение измельчающих барабанов в одном направлении обеспечивает увеличение пути взаимодействия элемента измельчаемого материала с рабочим участком барабана и создание дополнительных напряжений растяжения в измельчаемой зоне, что проявляется в снижении энергоемкости измельчения. Указанное вращение изменяет траекторию перемещения измельчаемых участков материала на вращательно-поступательное и позволяет увеличить зазор между измельчающими барабанами. Это приводит без увеличения дисперсности крошки к увеличению производительности измельчения и, вследствие уменьшения объемного давления в зоне измельчения, — к уменьшению энергоемкости. Большой диаметр барабана 3 и большая угловая скорость его вращения необходимы для обеспечения максимальной производительности.

Механизм регулирования зазора 7 позволяет изменить дисперсность получаемой крошки, а также выбрать оптимальный режим измельчения (максимальная производительность обеспечивается совместной регулировкой зазора и соотношением частоты вращения измельчающих барабанов). Готовая крошка собирается в сборнике 6 и транспортируется к следующей операции. Рабочая поверхность измельчающих барабанов может быть выполнена из абразивных полотен или изготовлена в виде металлических щеток. При необходимости эти барабаны могут быть заменены на барабаны с винтообразными ножами.

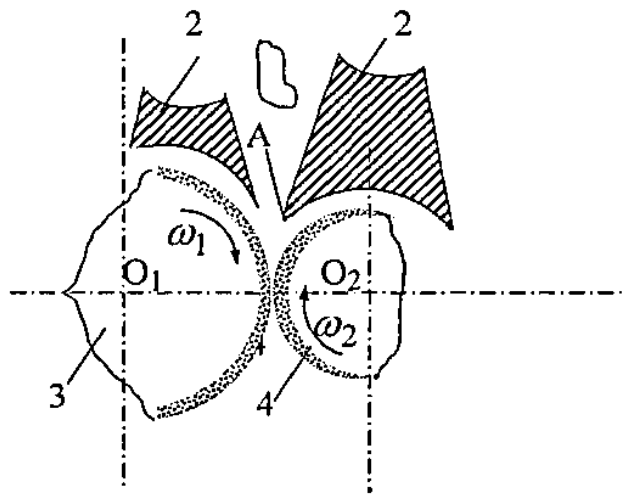


Рисунок 6.3 – Схема измельчающих барабанов.

Измельчитель роторного типа (рисунок 6.4) содержит бункер 1 для загрузки отходов 2 и подачи их в зазор между регулируемыми винтами 3 радиально-подвижными ножами 4 и закрепленными на роторе 5 вращающимися ножами 6. Измельченные отходы отделяются от не измельченных ситами 7 и поступают в мешки. Ротор 5 с ножами 6 установлен на вертикальном валу 8, а последний с помощью ременной передачи 10 связан с электродвигателем 11.

Одновременно ротор 5 с ножами 6 получает осциллирующие перемещения от кулачкового механизма 9.

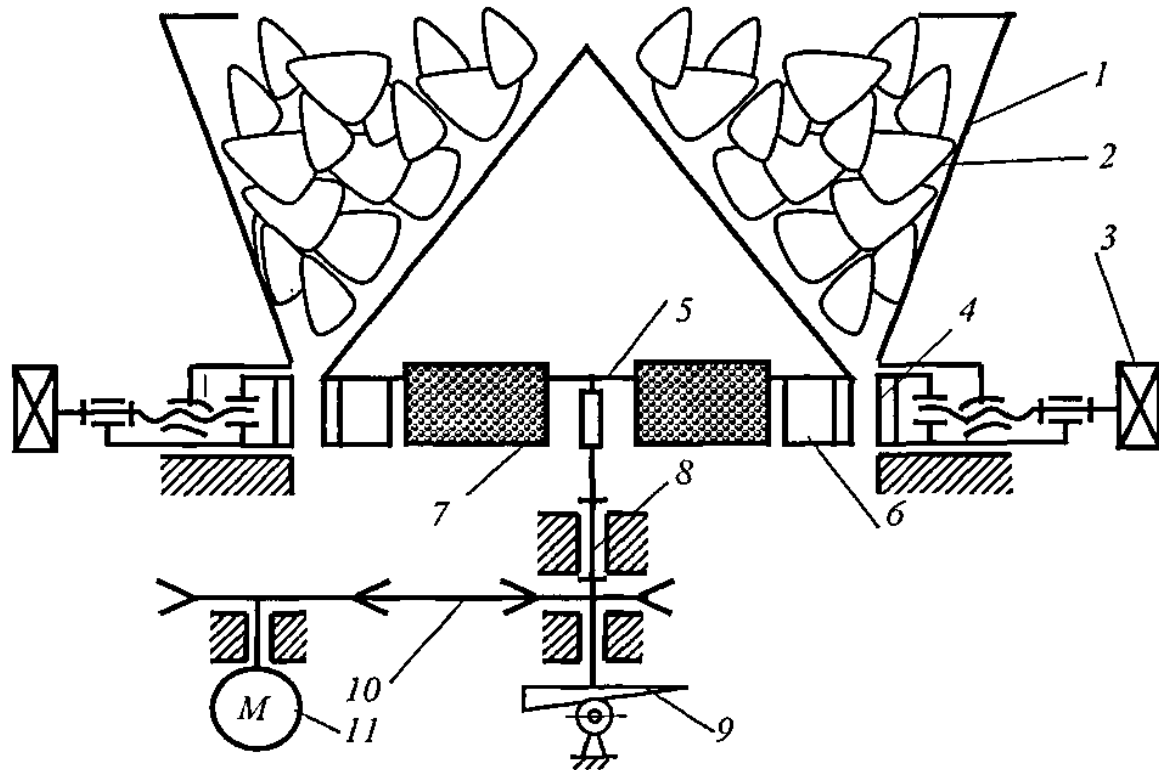


Рисунок 6.4 – Кинематическая схема измельчителя

Перед началом работы винтами 3 устанавливают необходимый зазор между ножами 4 и 6, посредством которого регулируется требуемая величина фракции измельчаемого материала.

Измельчитель работает следующим образом. Загрузив в бункер 1 отходы, подлежащие измельчению, включают электродвигатель. При этом движение от электродвигателя 11 с помощью ременной передачи 10 передается валу 8 и ротору 5 с ножами 6, которые вращаются относительно неподвижных ножей 4. Одновременно с этим ротор 5 получает вертикальные перемещения от кулачкового механизма 9.

Измельчаемые отходы 2 под действием собственного веса перемещаются вниз и падают в зазор между подвижными 6 и неподвижными 4 ножами. Поскольку ножи 6 перемещаются одновременно и в вертикальной, и в горизонтальной плоскостях, резание материалов, как описано выше, осуществляется не с конструктивным углом заточки ножа α_k , а с действительным углом резания α_p .

При этом, как известно /48/:

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \operatorname{tg} \alpha_k \cdot \left(\sqrt{1 + (v_n / v_m)^2} \right)^{-1}$$

Так как, $\alpha_p \ll \alpha_k$ за счет этого снижается сила сопротивления резанию и, как следствие, установочная мощность привода ножей. Уменьшать α_p и тем самым снижать установочную мощность привода, как видно из выше приведенного выражения, возможно путем увеличения скорости v_n . При работе устройства в установившемся режиме измельчаемый материал 2 через сита 7 с определенным размером поступает в мешки, где и накапливается (мешки на рисунке 6.4 не показаны). По мере наполнения мешков они снимаются, а в бункер 1 по мере расходования измельчаемых отходов 2 они досыпаются. Использование измельчителя данной конструкции позволяет значительно снизить установочную мощность привода за счет реализации устройством прогрессивного способа резания.

6.3 Способ повышения стойкости режущих инструментов

Стойкость режущих инструментов, изготовленных из углеродистых сталей, может быть увеличена за счет повышения их твердости /88/, а одним из путей решения этой задачи, как показали результаты наших исследований /22/, является обработка этих инструментов глубоким холодом. Экспериментально установлено, что обработка режущих инструментов при температуре ниже нуля целесообразна лишь в том случае, если в структуре материала присутствует остаточный аустенит. Если же мартенситное превращение заканчивается полностью или почти полностью при температуре выше комнатной, то охлаждение инструмента при отрицательной температуре нецелесообразно.

Остаточный аустенит в том или ином количестве всегда имеется в закаленной стали. Количество остаточного аустенита определяется химическим составом и условиями закалки стали. Однако оба эти фактора

могут изменяться даже для стали одной марки за счет плавочных отклонений в количестве углерода и режимах плавки, вследствие различной массы и формы изделий, несоблюдения режимов охлаждения и т.д.

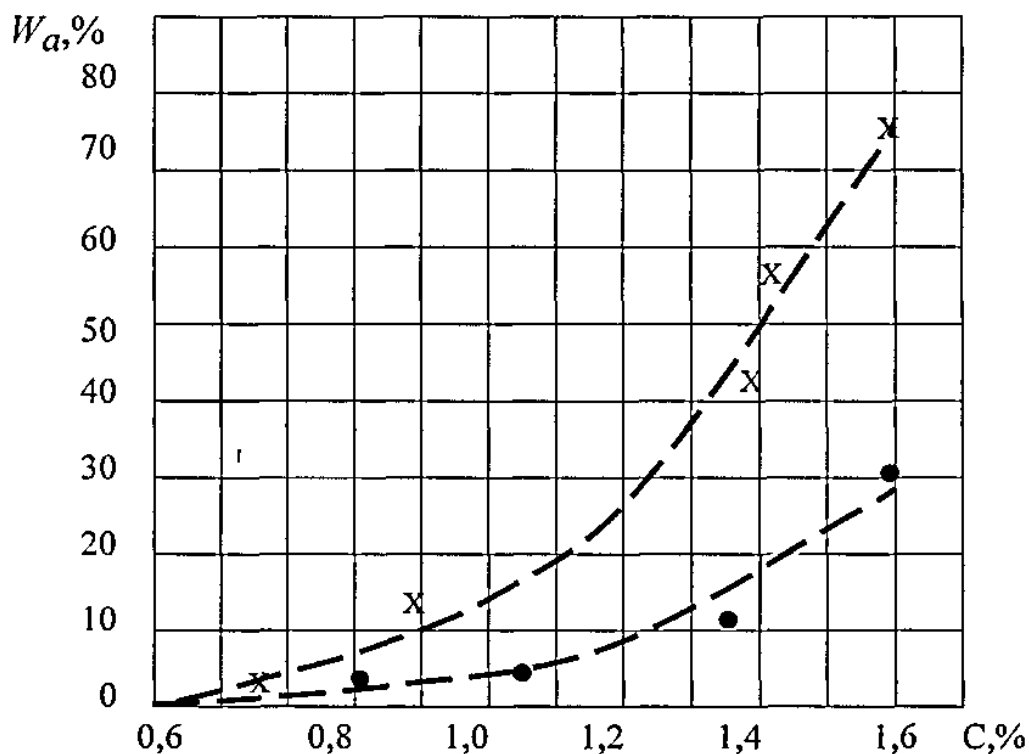


Рисунок 6.5 – Количество остаточного аустенита в углеродистых сталях

• - после закалки в воде; X - после закалки в масле

Углеродистые стали, из которых изготавливают резак и ножи измельчителей, после закалки с охлаждением до комнатной температуры сохраняют значительное количество аустенита. Так, в углеродистых сталях содержание аустенита может достигать 13% при 0,95% углерода и 26% при 1,22% углерода. На рисунке 6.5 показана диаграмма зависимости количества аустенита от содержания углерода в стали, построенная по различным экспериментальным данным.

Как видно из рисунка 6.5, разброс данных достаточно велик, поэтому указанный на диаграмме интервал содержания аустенита вероятен лишь в качестве средних значений. Нежелательность сохранения остаточного

аустенита в структуре инструментальных сталей объясняется тем, что его присутствие, особенно в повышенном количестве, понижает твердость и прочность, способствует с течением времени изменению размеров готовых изделий. Так, твердость закаленной инструментальной стали составляет 60 – 65 HRC, твердость аустенита 18 – 19 HRC; прочность стали достигает до 2500 МПа, прочность аустенита – до 85 МПа. Присутствие остаточного аустенита ухудшает также и теплопроводность инструментальных сталей, что является причиной выхода из строя режущих инструментов, работающих, как правило, в условиях высокой температуры.

Мартенситное превращение при охлаждении ниже температуры окружающей среды имеет следующие основные особенности:

- уменьшение скорости превращения;
- изотермическое протекание;
- сохранение некоторого количества аустенита при сколь угодно глубоком охлаждении и др.

Число зародышей N_z центров кристаллизации мартенситной фазы, возникающих в твердом растворе в единицу времени, можно определить из выражения:

$$N_z = K \cdot e^{-\frac{U}{RN}} \cdot e^{-\frac{B}{T(\Delta T)^2}},$$

где K - постоянная Больцмана, принимается не зависящей от температуры;

U - энергия активации;

B - величина зависящая от молекулярного веса, плотности, поверхностного натяжения и т.д.;

T - абсолютная температура;

ΔT - переохлаждение ниже температуры равновесия.

Из этого следует, что при достижении значительной степени переохлаждения уменьшается подвижность атомов и, как следствие, скорость

мартенситного процесса, и поэтому, чтобы увеличить количество мартенсита в стали необходимо увеличивать время выдержки (рисунок 6.6).

Превращение остаточного аустенита закаленной стали в мартенсит происходит не только при охлаждении до низких температур, но и при нагреве стали, т.е. при отпуске. Однако эти разные пути превращения остаточного аустенита весьма различно влияют на окончательные свойства стали.

Мартенситное превращение остаточного аустенита при отпуске в углеродистых сталях, независимо от содержания углерода, начинается около 240°C и происходит до $280 - 295^{\circ}\text{C}$. На этот процесс, направленный на повышение твердости и прочности стали, накладывается развивающийся одновременно отпуск мартенсита закалки. Этот второй процесс вызывает обратный эффект – понижение твердости, предела прочности и износоустойчивости закаленной стали.

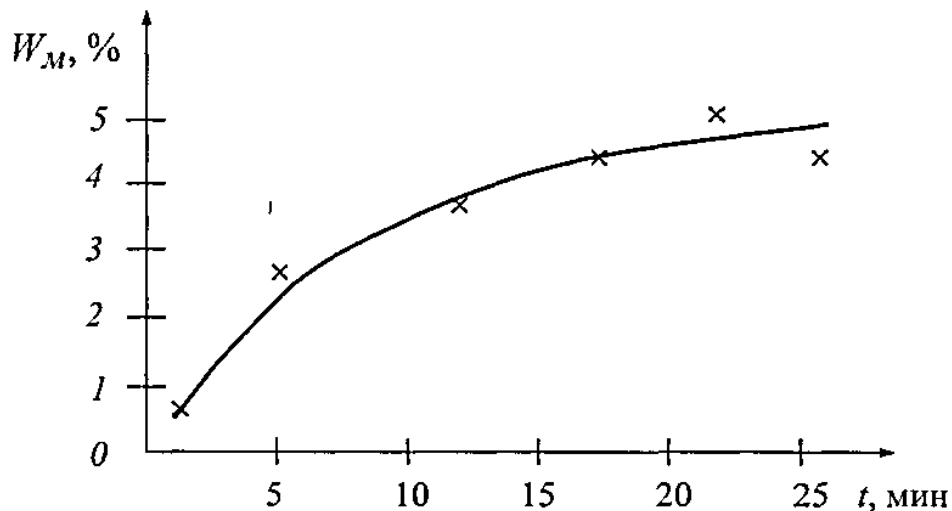


Рисунок 6.6 – Приращение количества мартенсита в зависимости от температуры при различной продолжительности выдержки

В таблице 6.1 приведены результаты термической обработки с использованием жидкого азота вырубочных резцов, ножей измельчителей и обувных фрез.

Таблица 6.1 - Результаты обработки режущих инструментов в жидком азоте

Марка стали	Температура закали, °C	Температура охлаждения, °C	Прирост твердости, единиц HRC
У8	780	0	0,5
	1000	-60	1,5
У10	780	0	0,5
	1000	-90	3,0
У12	780	-20	0,5
	1000	-196	7,0

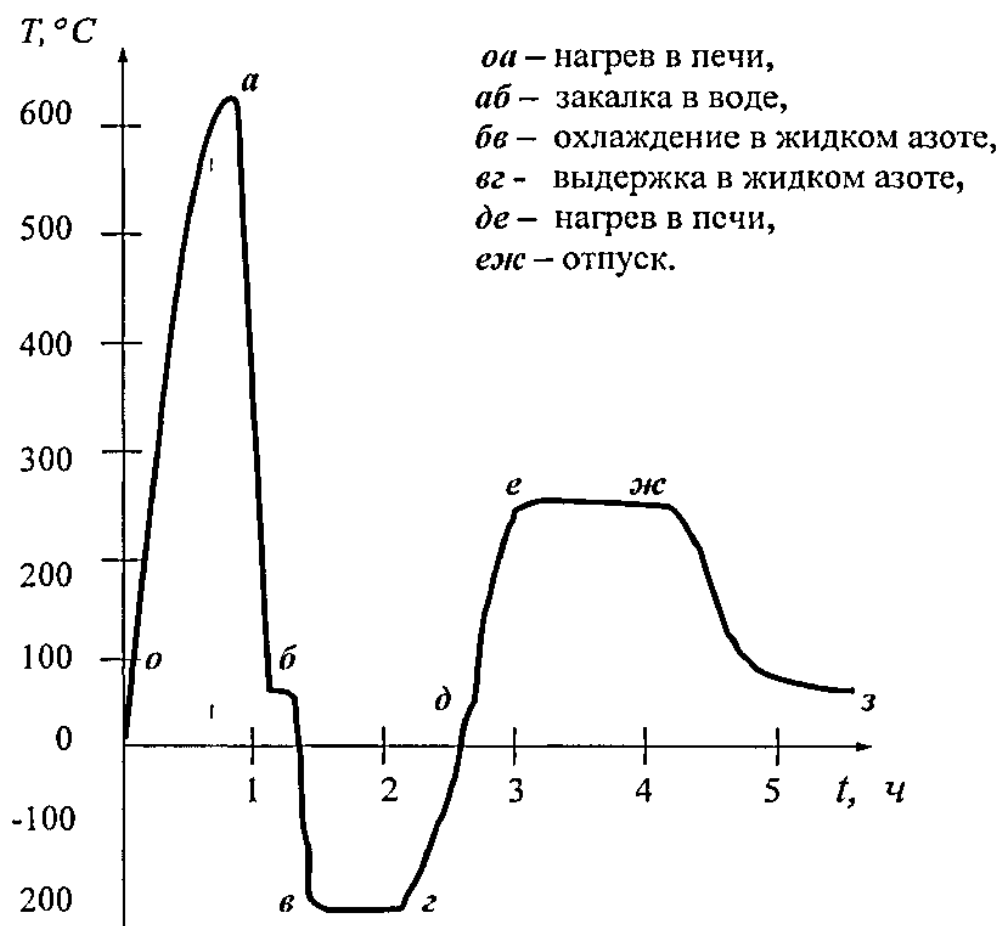


Рисунок 6.7 – Режимы термической обработки режущих инструментов

В тоже время охлаждение до низких температур изменяет свойства стали всегда в определенном и одинаковом направлении, поскольку при этом исключается отпуск мартенсита. Превращение остаточного аустенита

увеличивает в структуре количество мартенсита. Твердость закаленной стали в результате охлаждения до низких температур может достигать порядка 70 HRC, что практически недостижимо при любом другом способе термической обработки.

При выполнении автором экспериментальных исследований перечисленные выше режущие инструменты охлаждались в жидком азоте при температуре -196°C . Время выдержки составляло от 30 минут до 3 часов, при этом прирост твердости лезвий составил от 0,5 до 7 единиц HRC, твердость лезвий достигала 67 - 68 HRC, а их стойкость увеличилась в 1,5 – 1,7 раза.

На основании многочисленных экспериментальных исследований рекомендуются режимы термической обработки режущих лезвий резцов, ножей измельчителей, обувных фрез, показанные на рисунке 6.7.

6.4 Оборудование для шлифования

По результатам выполненных нами исследований [27, 82] разработана шлифовальная головка с исполнительным органом двойного вращения (рисунок 6.8)

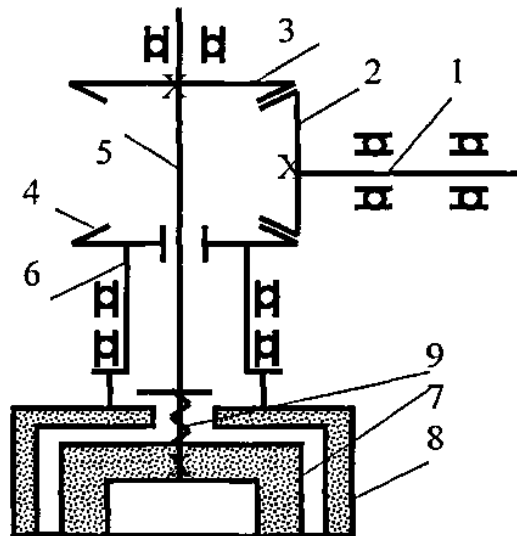


Рисунок 6.8 – Кинематическая схема шлифовальной головки с исполнительным органом двойного вращения

При разработке шлифовальной головки учитывались следующие основные требования:

- она должна быть пригодной для применения в качестве сменного рабочего органа одной или нескольких серийно выпускаемых шлифовальных машин;
- она должна быть бесшумной или малошумной в работе;
- уровень вибрации должен быть меньше, чем у серийных машин.

Шлифовальная головка (рисунок 6.8) состоит из корпуса, конического редуктора, узла присоединения приводного вала, исполнительного органа.

Конический редуктор состоит из трех зубчатых колес 2, 3, 4. Ведущая шестерня 2 жестко закреплена на валу 1, зубчатое колесо 3 так же закреплено на валу 5, а зубчатое колесо 4 посажено на втулку 6. Зубчатое колесо 3 через вал 5 передает вращение внутреннему абразивному кругу 7, а колесо 4 через втулку 6 – наружному абразивному кругу 8. При этом абразивные круги вращаются в противоположные стороны. В нижней части вала 5 имеется пружина 9, посредством которой обеспечивается возможность осевого перемещения абразивного круга 7 и постоянство его прижатия к обрабатываемой поверхности.

С целью снижения шума при работе шлифовальной головки зубчатые колеса 2,3,4 можно изготовить таким образом, чтобы их зубья имели круговую форму. Вторым вариантом решения этого вопроса – изготовить ведущую шестерню 2 из текстолита. И если затем выварить ее в машинном масле, это обеспечит самосмазывание зубчатой передачи в течение длительного времени. Чтобы исключить случаи попадания смазки на обрабатываемую поверхность изделия, нужно на выходе из корпуса вала 5 и втулки 6 установить манжеты.

Размеры абразивных кругов 7, 8 подбираются в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 3.5. При этом, как было показано, крутящие моменты на наружном и внутреннем абразивных кругах могут иметь одинаковые значения. Принятые на шлифовальной головке абразивные круги имели следующие размеры:

наружный круг 8: наружный диаметр - 125 мм,
 внутренний диаметр - 110 мм,
 высота круга - 63 мм;
 внутренний круг 7: наружный диаметр - 100 мм,
 внутренний диаметр - 80 мм,
 высота круга - 50 мм.

Площадь торцевой поверхности наружного круга равна $25,1 \text{ см}^2$, внутреннего – $28,2 \text{ см}^2$, а их отношение равно 0,89. При таких размерах абразивных кругов обеспечивается практически полное гашение реактивного момента и спокойная, без вибраций, работа шлифовальной головки.

Вертикальный вал 5 имеет по всей длине центральное отверстие, которое может быть использовано либо для отсоса пыли, либо для подачи поверхностно-активных веществ (ПАВ), обеспечивающих повышение эффективности процесса шлифования за счет размягчения поверхностного слоя обрабатываемого материала.

6.5 Установки для вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви

В результате выполненных исследований особенностей вакуумно-сорбционного способа увлажнения разработаны технологический процесс и схема работы установки, а также варианты ее конструкций для использования как в условиях предприятий по изготовлению и ремонту обуви, так и в условиях высокопроизводительных обувных предприятий легкой промышленности /8, 13, 16/.

Технологический процесс увлажнения заготовок верха обуви в вакууме должен осуществляться в следующей последовательности:

вакуумирование рабочей камеры с заготовками обуви до величины остаточного давления 0,01-0,02 МПа с одновременным нагревом

воздушной среды в камере до температуры 50-60 °С и воды в емкости, расположенной внутри камеры, до температуры 70-80 °С;
 выдержка заготовок после достижения требуемого остаточного давления во влажном, насыщенном влагой не менее, чем на 97%, паре в течение 4-6 минут до достижения конечного остаточного давления 0,03-0,04 МПа;
 поднятие давления в камере до атмосферного путем напуска воздуха.

Увлажнительные установки известных конструкций, наиболее полно отвечающие предъявляемым требованиям, имеют две установленные горизонтально или вертикально увлажнительные камеры, каждая из которых закрывается крышкой, перемещаемой специальным механизмом. В камерах имеются отверстия для подвода пара, отверстия для впуска и отсоса воздуха. На крышках крепятся держатели, на которые навешиваются заготовки обуви. Подготовка пара обеспечивается парогенератором, а разрежение воздуха в камерах – вакуумнасосом.

Недостатками таких увлажнительных установок является следующее:

- расположение отверстий для подачи пара в средней части увлажнительных камер не позволяет равномерно увлажнять заготовки, а обдув камер горячим воздухом ведет к увеличению потерь электроэнергии на нагрев стенок;
- обеспечение требуемой степени вакуума в увлажнительных камерах достигается в течение достаточно длительного времени, что увеличивает продолжительность цикла увлажнения заготовок;
- вакуумнасос определенное время цикла работает либо вхолостую, либо в режиме увеличенного числа включений – отключений;
- для перемещения крышек увлажнительных камер имеется специальный механизм, требующий расхода энергии для обеспечения его работы.

С целью устранения отмеченных недостатков в конструкциях известных устройств для увлажнения заготовок обуви, разработано несколько оригинальных схем установок, реализующих вакуумно-сорбционный

способ увлажнения. Одна из них показана на рисунке 6.9.

Установка содержит верхнюю вакуумную камеру 1, свод которой выполнен в виде конуса с углом при вершине 60° для стекания конденсата, нижнюю вакуумную камеру 2, загрузочно-выгрузочный отсек 3, выполненный в виде емкости, герметично закрывающуюся дверь 4, крышку 5, представляющую собой поршень, выполненный в виде конуса с углом при вершине 60° для стекания конденсата, вакуумный насос 6, емкости 7 для воды со встроенными в них электронагревателями 8, вакуумированную емкость 9, систему автоматического управления 10.

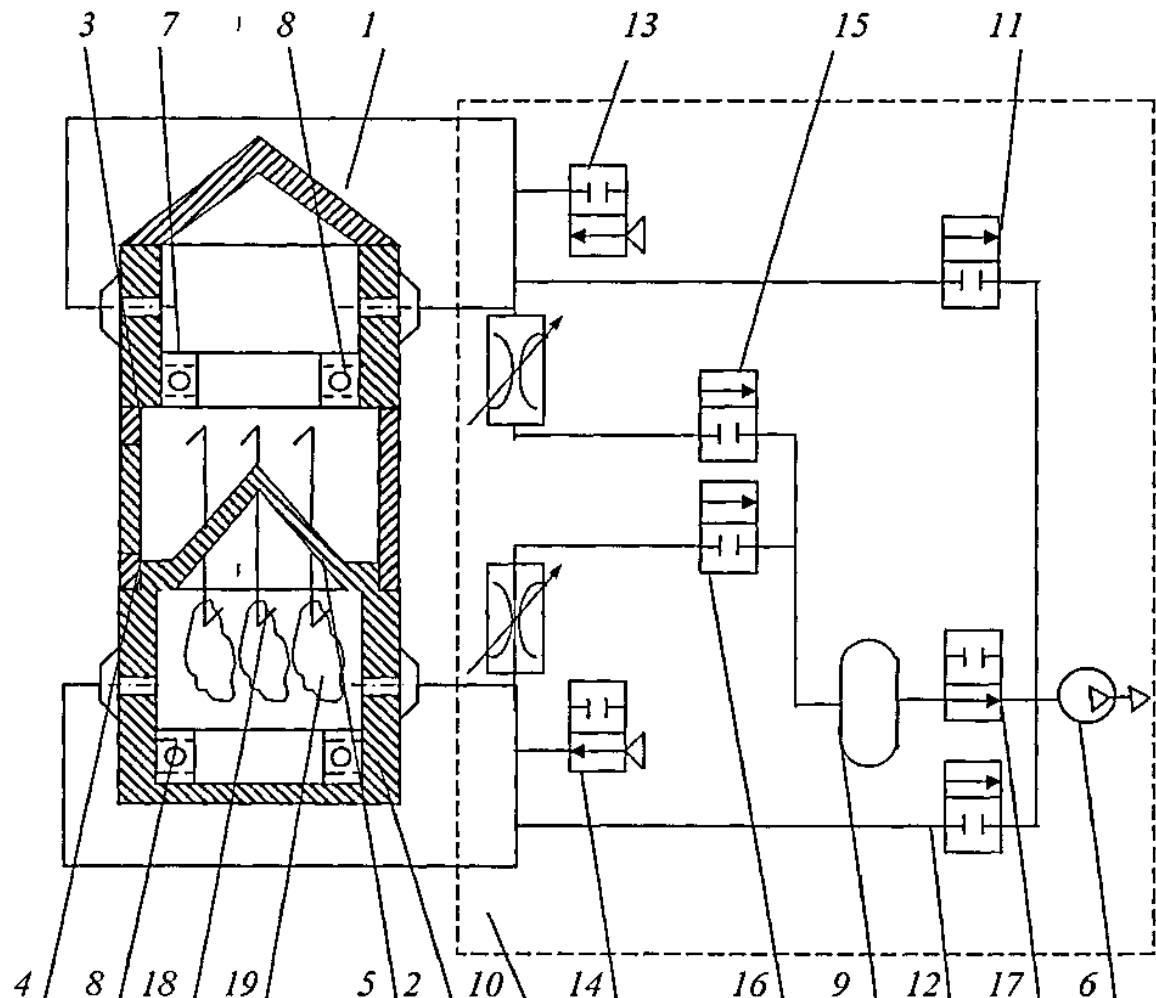


Рисунок 6.9 – Устройство для вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок обуви

Система 10 включает в себя клапан 11 отсечки верхней камеры 1 от вакуумного насоса 6, клапан 12 отсечки нижней камеры 2 от вакуумного насоса 6, клапаны 13 и 14 напуска воздуха в обе вакуумные камеры, клапан 15 отсечки верхней камеры 1 от вакуумированной емкости 9, клапан 16 отсечки нижней вакуумной камеры 2 от вакуумированной емкости 9, клапан 17 отсечки вакуумированной емкости 9 от вакуумного насоса 6, держатели 18 заготовок 19.

В исходном положении вакуумная камера 1 открыта, нижняя камера 2 закрыта подвижной крышкой – поршнем 5, загрузочно-выгрузочный отсек 3 загерметизирован дверью 4, электронагреватели 8 включены в обеих емкостях для воды 7. Вакуумный насос 6 соединен через клапан отсечки 17 с вакуумированной емкостью 9, клапаны отсечки 11, 12 вакуумных камер 1 и 2 от вакуумного насоса 6 и клапаны отсечки 15, 16 вакуумных камер 1 и 2 от вакуумированной емкости 9 закрыты. Клапан 13 напуска воздуха в верхнюю камеру 1 открыт, а клапан 14 напуска воздуха в нижнюю камеру 2 закрыт.

Процесс увлажнения происходит следующим образом.

Открыв дверь 4, завешивают на держатели 18, находящиеся в загрузочно-выгрузочном отсеке 3, связки заготовок обуви 19, включают электронагреватели 8 емкости 7 для воды в верхней камере 1. После этого закрывают клапан 13 и дверью 4 герметизируют загрузочно-выгрузочный отсек. Одновременно с герметизацией двери 4 клапаны 11 и 15 соединяют верхнюю часть устройства, состоящего из верхней камеры 1 и загрузочного отсека 3, с вакуумным насосом 6 и вакуумированной емкостью 9, а клапан напуска воздуха 14 в нижнюю камеру открывают.

В результате возникшей разности давлений в верхней части устройства и нижней камере 2, поршень-крышка 5 с заготовками 19 перемещается вверх до упора в загрузочный торец верхней рабочей камеры и герметизирует ее. Происходит вакуумирование верхней камеры до момента закипания воды в емкости 7, после чего отсекают клапанами 11 и 15 верхнюю камеру 1 от насоса 6 и вакуумированной емкости 9 и

выдерживают заготовки обуви в паровой среде. В это время открывают дверь 4 и на держатели 18 крышки-поршня 5 навешивают следующие заготовки обуви.

После истечения времени увлажнения в верхней камере, загрузочно-выгрузочный отсек 3 с имеющимися уже там заготовками герметизируют дверью 4 и включают клапан 13 напуска воздуха в верхнюю камеру 1, а нижнюю камеру 2 соединяют клапанами 12, 16 с вакуумным насосом 6 и вакуумированной емкостью 9, при этом поршень-крышка 5 опускается вниз и герметизирует нижнюю камеру 2. Далее цикл увлажнения повторяется в нижней камере.

Емкости с водой и встроенными электронагревателями для получения пара, выполненные в виде пустотелого тора, располагаются внутри камер 1 и 2, что позволяет одновременно с вакуумированием заготовок в камерах получать пар при давлении 0,01-0,02 МПа и температуре 60-70 °С, обеспечивая насыщенность влагой пара при этих условиях на 97-99 %, а так как при нагревании воды в емкостях, расположенных внутри камер, одновременно происходит нагрев и заготовок в камере, то отпадает необходимость в использовании дополнительного подогрева низкотемпературными нагревателями, т.е. прогрев камер, заготовок обуви, вакуумирование и получение пара происходит параллельно при одинаковой температуре, что исключает конденсацию пара в процессе увлажнения.

После окончания увлажнения при напуске воздуха в камеру пар конденсируется, капли влаги, соприкасаясь с наклоненными под углом 60° сводами верхней камеры или поршня-крышки, стекают по их боковым поверхностям, не попадая на заготовки обуви, в емкости с водой. Таким образом, отпадает необходимость в создании системы рециркуляции для предотвращения конденсации пара, не нужны ловушки конденсата и системы его отвода.

Вакуумированная емкость 9 предназначена для сокращения времени вакуумирования увлажнительных камер 1 и 2, так как она постоянно соединена

с вакуумным насосом 6 и , вследствие этого всегда имеет начальное давление меньше атмосферного. Поэтому, когда верхняя 1 или нижняя 2 увлажнительные камеры соединяются одновременно и с вакуумным насосом 6, и с вакуумированной емкостью 9, процесс разрежения воздуха в этих камерах происходит очень быстро, что сокращает продолжительность времени увлажнения, повышает производительность установки, а также позволяет рациональнее использовать вакуумный насос.

Установка не имеет отдельного привода для перемещения поршня-крышки 5, так как подъем ее вверх происходит за счет разности давлений воздуха в камере 1 и загрузочно-выгрузочном отсеке 3, а опускание вниз – под действием силы тяжести.

По заданию Минбыта РСФСР разработаны исходные требования на проектирование установки для увлажнения заготовок верха и сушки обуви в вакууме, приведенные в приложении.

6.6 Пресс для приклеивания низа обуви

Известные прессы для приклеивания низа обуви содержат закрепленные на станине две пресс-секции с пресс-подушками и колодочными упорами, гидропривод, имеющий гидроцилиндры, на штоке каждого из которых закреплена соответствующая пресс-подушка, аккумулятор, маслобак, соединенный трубопроводом с гидроцилиндрами, и электрооборудование. Недостатком таких прессов является то, что пресс-подушки перемещаются к колодочным упорам с постоянной, нерегулируемой и достаточно высокой скоростью. Вследствие этого, при подходе колодки с затянутой на нее заготовкой верха обуви к колодочным упорам происходит их ударное взаимодействие, наблюдаются неоднократные случаи разрушения деревянных и пластмассовых колодок, разрывы и другие дефекты заготовок верха обуви. С целью устранения отмеченных недостатков и улучшения эксплуатационных качеств прессы предложено техническое решение,

обеспечивающее двухстадийный процесс подъема пресс-подушек: сначала быстро, а при подходе непосредственно к колодочным упорам - медленно. Суммарное время подъема пресс-подушке остается таким же, как и на известных прессах. Существо предложенного технического решения состоит в следующем (рис. 6.10).

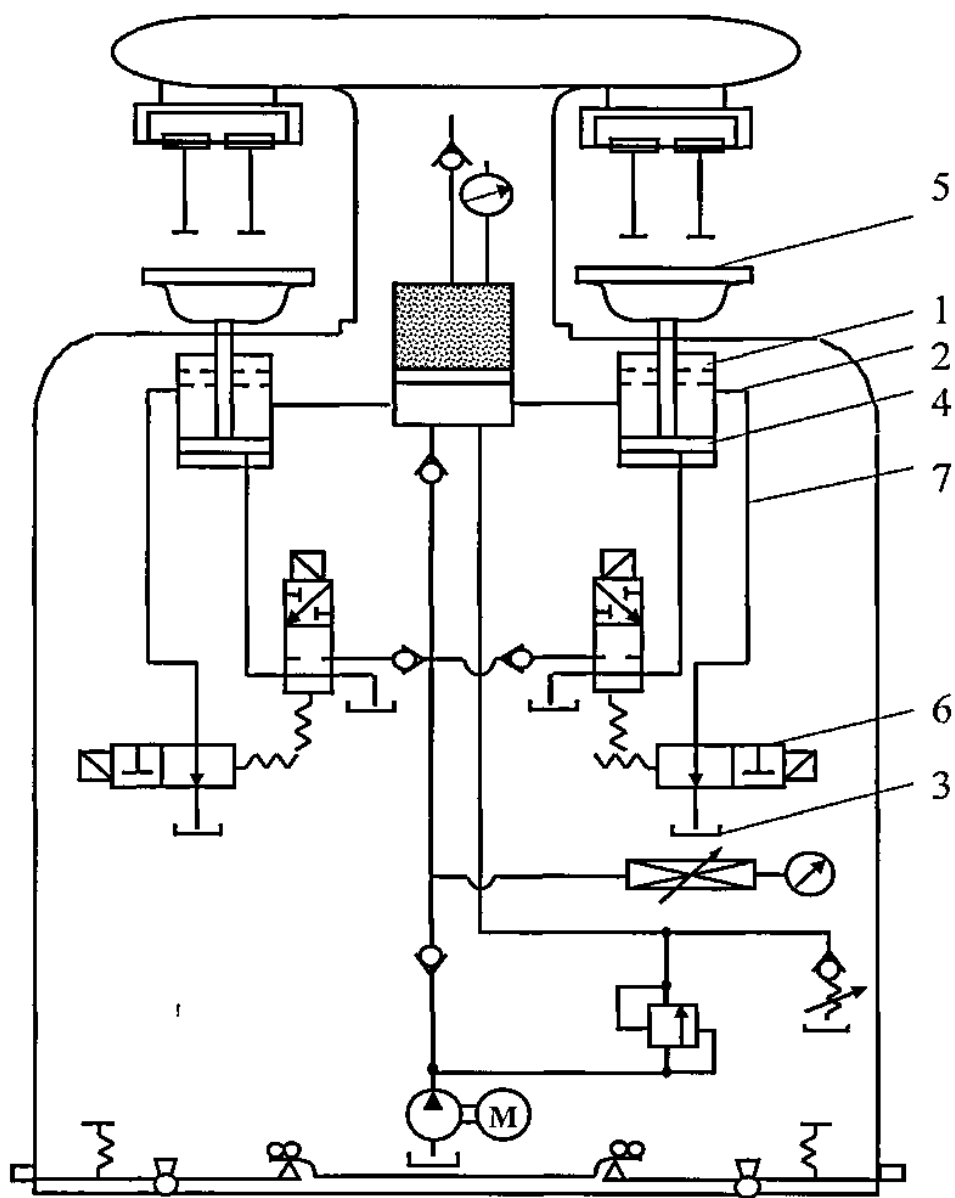


Рисунок 6.10 Пресс для приклеивания низа обуви

- 1 – гидроцилиндр; 2 – отверстие в гидроцилиндре;
 3 – маслобак; 4 – поршень; 5 – пресс-подушка;
 6 – электромагнитный золотник; 7 – трубопровод

В верхней части рабочего гидроцилиндра 1 выполнено отверстие 2, соединенное трубопроводом 7 с маслоблоком 3 через электромагнитный управляемый золотник 6 одностороннего действия.

Работает пресс следующим образом.

После установки полупары на пресс-подушку 5 оператор нажимает на педаль или кнопку, и пресс-подушка быстро поднимается вверх до тех пор, пока нижняя плоскость поршня 4 рабочего гидроцилиндра 1 не откроет отверстие 2. После этого часть масла из гидроцилиндра 1 начинает сливаться в маслоблок 3 через открытый золотник 6, скорость подъема пресс-подушки уменьшается, и она с замедленной (установочной) скоростью подходит к колодочным упорам.

После того, как колодка с заготовкой верха обуви коснется колодочных упоров, золотник 6 закрывается, и слив масла по трубопроводу 7 прекращается. Приклеивание низа обуви происходит при заданном усилии.

Золотник 6 остается закрытым до тех пор, пока пресс-подушка после окончания времени приклеивания низа обуви не опустится в исходное нижнее положение, после чего золотник 6 снова открывается.

Таким образом, подъем пресс-подушки вверх происходит с разной скоростью, а ее опускание – с постоянной скоростью.

Достоинства предлагаемого прессы состоят в следующем: уменьшение числа поломок деревянных и пластмассовых колодок либо полное их прекращение; уменьшение или полное исключение случаев разрыва и других дефектов заготовок верха обуви, которые могут возникать при поломке колодок; сокращение или исключение потерь времени на замену поломанных колодок, повышение безопасности работы на прессе.

6.7 Специальные шнековые конвейеры

В разделе 5 указано, что для того, чтобы увеличить осевую скорость перемещения частицы материала шнековым конвейером, необходимо

применить кожух, имеющий ребристую или гофрированную поверхность. Это позволит увеличить сцепляемость частицы с внутренней поверхностью кожуха в результате чего может вырасти скорость ее перемещения по шнеку и, как следствие, производительность шнекового конвейера.

На рисунке 6.11 показана схема разработанного нами специального шнекового конвейера. Конвейер состоит из шнека 1 и кожуха 2, имеющего продольные гофры 3 по внутренней и наружной поверхности. Спираль 4 навита на трубчатый сердечник 5. Кожух и витки спирали шнека могут быть изготовлены из пластмассы. Это дает возможность существенно уменьшить вес конвейера и одновременно дополнительно повысить его производительность за счет уменьшения коэффициента трения частиц транспортируемого материала о рабочую поверхность спирали шнека.

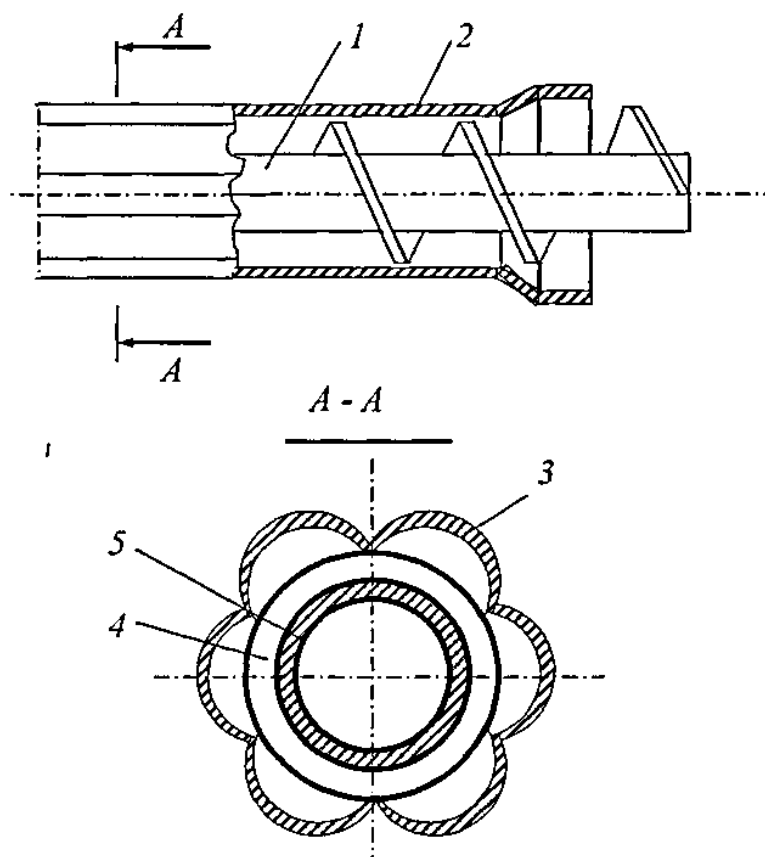


Рисунок 6.11 - Схема шнекового конвейера с гофрированным кожухом.

В разделе 5 было также показано, что если придать кожуху вращение в сторону противоположную вращению шнека с одинаковой частотой, это будет способствовать повышению транспортирующей способности шнекового конвейера.

С целью улучшения захвата материала шнеком в зоне загрузки предложено установить на нижнем конце шнека короткий, равный по величине одному шагу навивки спирали, двухзаходный наконечник /26/. Наконечник имеет основную спираль 2, навитую по всей длине, и вспомогательную спираль 3, которая наполовину короче основной.

Для того, чтобы не уменьшать проходное сечение межвиткового пространства, обе спирали имеют шаг навивки в 2 раза больше, чем у спирали шнека.

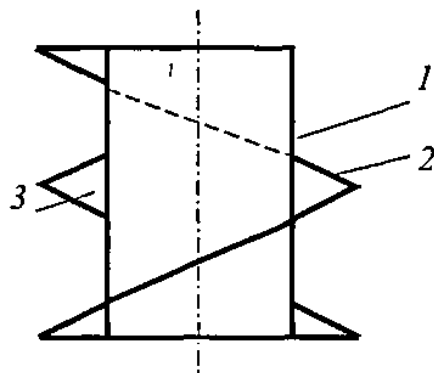


Рисунок 6.12 - Схема двухзаходного наконечника

В процессе работы конвейера транспортируемый материал сначала захватывается обеими спиралями, а затем поднимаясь вверх, перегружается с укороченной спирали на основную и по ней перемещается к зоне выгрузки.

Наличие наконечника подобной конструкции позволит улучшить отвод материала из зоны загрузки и тем самым исключить возможные случаи остановки конвейера из-за его перегрузки.

При транспортировании шнековым конвейером влажных и пластичных материалов может быть использован шнек, показанный на рисунке 6.13, который обеспечивает возможность перемещения грузов комбинированным шнекопневматическим способом /18/.

Шнек состоит из трубчатого сердечника 1 с винтовой спиралью 2 и радиальными каналами 3, расположенными над рабочей поверхностью

спирали, в сердечник 1 вставлена внутренняя труба 4, которая для облегчения веса шнека может быть изготовлена из пластмассы.

Вверху и внизу шнека установлены уплотнители 5, в результате чего между внутренней трубой 4 и сердечником 1 образуется кольцевая камера. На границе с нижним уплотнителем 5 труба 4 имеет радиальные каналы 6 для связи с кольцевой камерой.

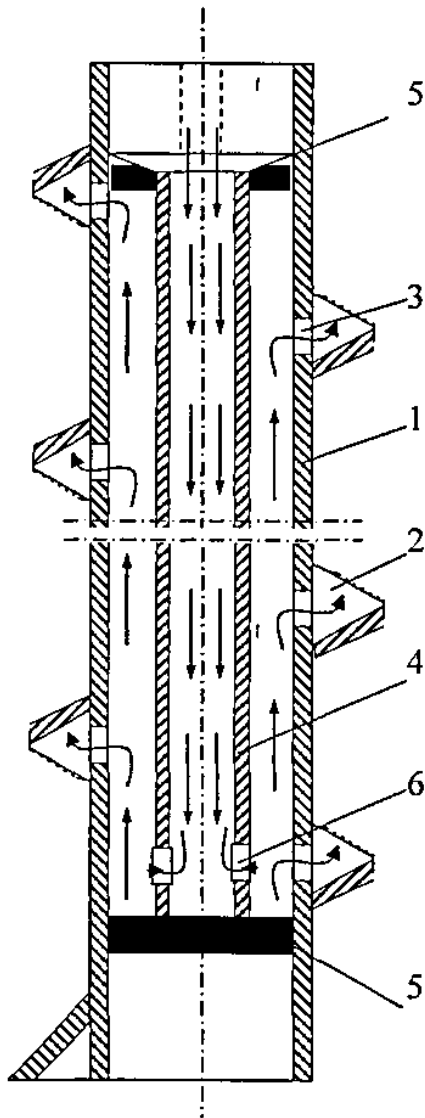


Рисунок 6,13

Шнек для транспортирования влажных и пластичных материалов.

При работе шнекового конвейера сжатый воздух по внутренней трубе 4 и по каналам 6 поступает в кольцевую камеру между трубами, а оттуда через каналы 3 — на спираль шнека. Количество воздуха, подаваемого на спираль, может регулироваться числом и диаметром отверстий 3.

При применении шнека подобной конструкции транспортирование материала происходит при одновременном воздействии на него спирали и сжатого воздуха.

Последний, кроме этого, создает воздушную подушку между транспортируемым материалом и рабочей поверхностью спирали шнека, вследствие чего существенно уменьшается коэффициент трения материала по спирали, а значит увеличивается скорость его перемещения по шнеку.

Экспериментальным путем установлено, что для успешного транспортирования влажных и пластичных материалов расход воздуха может быть не более $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ при давлении $1,5 \text{ кг/см}^2$, вследствие чего дополнительные расходы весьма незначительны.

В ы в о д ы :

1. Разработан регулятор угла отвода ударника вырубочного консольного пресса от вырубочной плиты, обеспечивающий возможность поворота ударника после выполнения процесса вырубания на требуемый угол, вследствие чего повышается точность работы пресса и уменьшается количество бракованных деталей обуви.

2. Разработан сравнительно простой и недорогой способ термической обработки режущих инструментов обувного производства, обеспечивающий повышение их стойкости в 1,5 – 1,7 раза. При этом существенно сокращаются затраты времени и средств на поддержание режущих инструментов в требуемом рабочем состоянии.

3. Разработано устройство барабанного типа, защищенное авторским свидетельством, которое может быть использовано для измельчения отходов обувного производства с возможностью получения фракций требуемого размера.

4. Выполнена модернизация измельчителя отходов обувного производства роторного типа, обеспечивающая за счет дополнительного перемещения ножей уменьшение усилий резания и энергоемкости процесса измельчения.

5. Разработаны принципиально новые схемы установок для вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок обуви, защищенные авторскими свидетельствами, обеспечивающие высокую эффективность увлажнения при существенном повышении производительности и снижении энергоемкости.

6. Разработаны принципиально новые схемы вертикальных шнековых конвейеров, защищенные авторскими свидетельствами, обеспечивающие возможность перемещения грузов с различными физико-механическими свойствами и обладающие более высокими транспортирующими качествами по сравнению с известными конструкциями.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ РАБОТЫ

1. Проблема конкурентоспособности изготавливаемой предприятиями сервиса продукции по отношению к аналогичной, производимой в развитых странах, по условиям качества, уровня затрат и охраны окружающей среды является актуальной, поскольку применяемые технологии и оборудование нуждаются в существенном улучшении. Эта проблема имеет также большую социальную значимость.
2. В результате проведенного анализа технологий изготовления и ремонта обуви на предприятиях сервиса установлено, что для обеспечения высокого качества продукции необходимо углубленное изучение таких технологических процессов, как раскрой деталей обуви, увлажнение заготовок верха, измельчение отходов с целью повторного их использования, транспортирование измельченных отходов и других материалов и на основе полученных научных результатов совершенствование технологического оборудования.
3. На основании проведенных экспериментальных исследований показано, что как при раскрое деталей обуви, так и при измельчении отходов резанием происходит интенсивное изнашивание рабочих инструментов, вследствие чего значительно увеличиваются технологические усилия, возрастают нагрузки на вырубочные прессы и измельчающее оборудование. Вместе с этим, увеличиваются затраты времени и средств на поддержание режущих инструментов в требуемом рабочем состоянии. С целью сокращения этих затрат разработан сравнительно простой и недорогой способ термической обработки режущих инструментов, обеспечивающий повышение стойкости в 1,5 – 1,7 раза. Данный способ внедрен в производство.

4. Аналитически установлено, что при раскрое деталей обуви на прессах типа ПВГ-8-2-О качество вырабатываемых деталей зависит от точности установки ударника относительно вырубочной плиты. Показано, что, если обеспечить возможность регулирования угла поворота ударника, это позволит уменьшить количество дефектных деталей, получаемых при раскрое.
5. По результатам изучения процессов резания обувных материалов, разработаны теоретические и технические решения, обеспечивающие повышение эффективности измельчающего оборудования и способствующие успешному решению проблемы использования отходов и охраны окружающей среды. На уровне изобретения разработан экспериментальный образец установки для измельчения отходов обувных материалов.
6. На основе анализа механизма влагопереноса в капиллярно-пористых материалах получена математическая модель процесса вакуумно-сорбционного увлажнения кож хромового дубления для верха обуви. Показана возможность использования полученной модели в инженерных расчетах параметров вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви для достижения требуемого привеса влаги в кожах хромового дубления.
7. По результатам проведенного анализа теоретических и экспериментальных исследований процесса вакуумно-сорбционного увлажнения разработаны принципиально новые схемы установок для его реализации, защищенные авторскими свидетельствами, обеспечивающие высокую эффективность увлажнения при существенном повышении производительности. Разработаны и переданы проектно-конструкторским организациям исходные требования на проектирование установки для увлажнения заготовок верха и сушки обуви в вакууме. Экспериментальные образцы установок внедрены в производство.

8. На основании аналитических исследований разработана теория процесса транспортирования материалов вертикальным шнековым конвейером с вращающимся кожухом, позволяющая установить закономерности движения груза при вращении кожуха навстречу вращению шнека, доказана возможность значительного повышения эффективности функционирования конвейера за счет увеличения поступательной скорости перемещения материала и уменьшения сопротивлений в зоне загрузки .
9. В результате проведенных экспериментов установлено оптимальное соотношение угловых скоростей кожуха и шнека, равное единице. Доказано, что при этом соотношении шаг навивки спирали шнека может быть увеличен до полутора его диаметров по наружному размеру, что обеспечивает более короткий путь транспортирования материала, уменьшает вес шнека и сокращает расходы на его изготовление.
10. По результатам экспериментальных исследований показано, что шнековый конвейер с вращающимся кожухом при соотношении угловых скоростей шнека и кожуха, равном единице, по мере износа спирали сохраняет более высокие транспортирующие качества по сравнению с вариантом, когда кожух неподвижен. Установка на шнеке двухзаходного наконечника с одной укороченной спиралью обеспечивает увеличение объема перемещенного материала на 10-20 %.
11. Сравнительный анализ производительности и удельных энергозатрат шнековых конвейеров с неподвижным и вращающимся кожухом показал, что во втором случае удельные энергозатраты меньше в 1,2-1,9 раза за счет более высокой производительности конвейера. По результатам исследований разработаны принципиально новые схемы шнековых конвейеров, защищенные авторскими свидетельствами.

12. Суммарный годовой экономический эффект по всем реализованным к настоящему времени разработкам, подтвержденный документально, составляет 1015 тыс. руб.

Основу диссертационной работы составляют результаты многолетних исследований, выполненных автором на кафедрах «Оборудование предприятий бытового обслуживания», «Машины и аппараты легкой промышленности», «Прикладная механика и конструирование машин» ШТИБО – ДГАС – ЮРГУЭС, заведующим которых являлся в разные периоды с 1980 г. и по настоящее время.

Библиографический список:

1. Адигамов К.А., Ларина Л.В. Вакуумно-сорбционное увлажнение заготовок верха обуви: Монография-Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2000.-95с.
2. Адигамов К.А. Измельчение и транспортирование отходов обувного производства: Монография. –Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003.–120 с.
3. Адигамов К.А., Пугачев А.И., Каплин Л.А. Оборудование для ремонта и пошива обуви: Учебник для средних специальных учебных заведений. - Новочеркасск: НГТУ, 1994.-248 с.
4. Адигамов К.А., Каплин Л.А. Расчет, проектирование и эксплуатация подъемно-транспортных устройств: Учебное пособие для вузов. - Шахты: ЮРГУЭС, 1999.-108 с.
5. Адигамов К.А., Жданова О.В. Детали машин и основы конструирования: Учебное пособие для вузов. -Шахты: ЮРГУЭС, 2003.-175 с.
6. Адигамов К.А., Каплин Л.А., Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие. –Шахты: ДГАС, 1996. –45 с.
7. Адигамов К.А., Иванков Н.Р. Оборудование и методы испытаний обуви и обувных материалов: Учебное пособие. - Шахты: ШТИБО, 1991.-52 с.
8. А.с. 1099944 СССР, МКИ А 43 Д 11/14. Устройство для вакуумного увлажнения заготовок обуви./ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявлено 28.02.83; Оpubл. 30.06.84. - Бюл.№24.
9. А.с.562649 СССР, МКИ Е 21 С 13/02. Углепородный резец./ К.А.Адигамов и др. (СССР). Заявл.30.06.75; Оpubл.25.06.77. -Бюл.№ 23.
10. А.с. 1171590 СССР, МКИ Е 21 С 7/00. Устройство для удаления буровой мелочи от устья скважины/ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявлено 30.01.84; Оpubл. 07.08.85. - Бюл.№29.
11. А.с. 1245440 СССР, МКИ В 29 В 13/10. Устройство для измельчения резины/ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявл. 24.12.84; Оpubл. 23.07.86. - Бюл.№27.
12. А.с. 1254124 СССР, МКИ Е 02 Д 17/00. Устройство для образования котлованов в грунте./ Б.П. Колонтаев, К.А. Адигамов и др. (СССР). Заявлено 04.12.84; Оpubл. 30.08.86. - Бюл.№32.

13. А.с. 1391589 СССР, МКИ А 43 Д 11/14. Устройство для вакуумного увлажнения заготовок обуви./ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявлено 02.06.86; Оpubл. 30.04.88. - Бюл.№16.
14. А.с. 1465559 СССР, МКИ Е 21 С 7/00. Устройство для удаления буровой мелочи от устья скважины./ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявлено 19.05.87; Оpubл. 15.03.89. - Бюл.№10.
15. А.с. 1498608 СССР, МКИ В 25 У 15/00. Схват манипулятора./ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявлено 04.06.85; Оpubл. 07.08.89. - Бюл.№29.
16. А.с. 1715294 СССР, МКИ А 43 Д 11/14. Устройство для вакуумного увлажнения заготовок обуви./ К.А. Адигамов и др.(СССР). Заявлено 05.12.89; Оpubл. 29.02.92. - Бюл.№8.
17. А.с. 687229 СССР, МКИ Е 21 С 15/00. Шнековый снаряд./ В.И. Дусев, К.А. Адигамов, В.Д. Абезгауз (СССР). Заявлено 18.10.74; Оpubл. 25.09.79. - Бюл.№35.
18. А.с. 744132 СССР, МКИ Е 21 С 15/00. Шнековая буровая штанга./ К.А. Адигамов (СССР). Заявлено 28.11.78; Оpubл. 30.06.80. - Бюл.№24.
19. А.с. 778728 СССР, МКИ А 43 Д 11/14. Устройство для увлажнения заготовок обуви./ М.И. Петросюк, Н.Е. Гарф (СССР). Заявлено 05.12.78; Оpubл.10.05.80. - Бюл.№ 42.
20. А.с. 472651 СССР, МКИ А 43 Д 11/14. Способ увлажнения заготовок обуви./ Т.Ф. Таганцева и др.(СССР). Заявлено 19.03.73; Оpubл.10.04.75. - Бюл.№ 21.
21. Адигамов К.А. Сравнительный анализ производительности и удельных энергозатрат шнековых конвейеров с неподвижным и вращающимся кожухом. – В кн.: Новые технологии. Образование и наука. –М.: МГУДТ, 2003. –с. 3-7
22. Адигамов К.А. Влияние обработки холодом на стойкость режущих инструментов, // Деп. в ВИНТИ 17.04.00, №1025 –В00, 4 с.
23. Адигамов К.А. Проскальзывание материала при его транспортировании вертикальным шнековым конвейером. // В кн.: Новые технологии. Образование и наука. -М.: МГУДТ, 2000 –с.57-59.

24. Адигамов К.А., Каплин Л.А. Модернизация измельчителя роторного типа. // В кн.: Новые технологии. Образование и наука. -М.: МГУДТ, 2000 –с.54-56,
25. Адигамов К.А. Критерии изнашивания ножей измельчителя роторного типа. // В кн.: Новые технологии. Образование и наука.-М.:МГУДТ, 2001 –с.35-38.
26. Адигамов К.А. Перемещение шлама от забоя скважины до спирали шнека.// Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки.-2000.-№3-с.92-94.
27. Адигамов К.А. Ручная шлифовальная машина. –М.: Каталог «Приборы, станки, оборудование»,1987.-с.34.
28. Адигамов К.А. и др. Стенд для исследования процесса вырубания.// Деп. в ВИНТИ 17.04.00, №1027 –В00.-3 с.
29. Адигамов К.А., Жданова О.В. Оценка качества работы вырубочных прессов.// Деп. в ВИНТИ 17.04.00, №1026 –В00. –3 с.
30. Адигамов К.А., Каплин Л.А. Электрогидравлический пресс для приклеивания низа обуви.// Сб. научн. труд.-Вып.20.-Шахты: ДГАС, 1996.-с.5-6.
31. Адигамов К.А. и др. Измельчитель отходов кожевенно-обувного производства. // Современные проблемы техники, технологии и экономики сервиса: Сб. науч. труд. молодых ученых и аспирантов. – Вып.24.-Шахты, ДГАС, 1997.- с. 32-34.
32. Адигамов К.А., Колесников Н.И. Стендовые исследования шнекового конвейера с ,вращающимся кожухом.// Межвуз. сб. науч. труд - Новочеркасск: НПИ, 1983.-с.53-56.
33. Адигамов К.А., Крапивин М.Г. Исследование выдачи шлама шнековой штангой.//Тезисы докл. Республиканской научно-технической конференции. –Иркутск, ИПИ, 1976.-с.39-41.
34. Адигамов К.А., Крапивин М.Г. Исследование транспортирующих органов шнековых снарядов.// Транспортное строительство.-1976.-№5.- с.39-41.
35. Адигамов К.А., Ларина Л.В. Установка для увлажнения деталей верха обуви в вакууме. Проспект ВДНХ. – М., 1989г.

36. Адигамов К.А., Лемешко М.А. О возможности механизации предприятий бытового обслуживания путем применения роботов и манипуляторов.// Межвуз. сб. науч. трудов. - М.: МТИ, 1985.-с.35-38.
37. Адигамов К.А., Лемешко М.А. Установка для гранулирования отходов кожевенных материалов.// Аннотированный перечень НИР и ОКР, рекомендуемых к внедрению. -Вып.2.-Шахты: ШТИБО, 1986. -с.25
38. Адигамов К.А., Лемешко М.А. Установка для измельчения резины.// Аннотированный перечень НИР и ОКР, рекомендуемых к внедрению. - Вып.3. -Шахты: ШТИБО, 1987. -с.34
39. Адигамов К.А., Лемешко М.А. Устройство для просекания отверстий.// Аннотированный перечень НИР и ОКР, рекомендуемых к внедрению. - Вып.5 Шахты: ШТИБО, 1993. -с.42
40. Адигамов К.А. и др.Выбор диаметра шнековой подрезающей фрезы //Строительство и архитектура. -1976. -№4.- с.159-163
41. Адигамов К.А., Фетисов В.М. Исследование выдачи шлама механическим способом.// Изв. вузов. СКНЦ ВШ. Технические науки.- 1976.-с.79-81.
42. Адигамов К.А., Ширяев В.В. Кинематика работы шнекового конвейера.// Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. -2000. -№3 - с.89-92.
43. Адигезалов Л.И. Увлажнение, сушка и влажно-тепловая обработка в обувном производстве. -М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.- 136 с.
44. Акимов М.Н. О движении тяжелой точки по винтовой линии на шероховатой поверхности. Записки Ленинградского горного института, 1936, т. X, вып.1.
45. Александр Л.М. Теория вертикального шнека.- Тр.ЦНИИ речного флота, вып.7.- М.- Л.: Речиздат, 1950, -с.27-46.
46. Акулова Т.Е., Таганцева Т.Ф. Интенсификация гигротермических процессов в обувном производстве. //Обувная промышленность: Обзорная информация. - М.: 1981. -№2 - 62с.
47. Баблюян В.П., Балберова Н.А. Справочник кожевенника. -М.: Легпромбытиздат, 1987.- 256 с.

48. Базюк Г.П. Резание и режущий инструмент в швейном производстве. – М.: Легкая индустрия, 1980. –192 с.
49. Башкатов Д.Н. К расчету вертикальных шнековых установок. – Тр. Моск. геологоразв. института , т.34- М.: МГРИ, 1985.
50. Башкатов Д.Н., Олоновский Ю.А. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин. - М.: Недра, 1968.- 192 с.
51. Большаков В.Д. Теория ошибок наблюдений. Учебник для вузов. –2-е изд. Перераб. и доп. –М.: Недра, 1983. –223 с.
52. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М.: Наука, 1965.- 464 с.
53. Буркин А.Н., Калита А.Н. Исследование влияния основных технологических процессов на стабилизацию формы верха обуви в радиационной и радиационно-вакуумной сушилках. // Изв. вузов. Технология легкой промышленности – 1978. -№2.-с.96-101.
54. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. - М.: Высшая школа, 1966.- 487 с.
55. Влияние низких температур и влажности на механические свойства кожи хромового дубления при одноосном растяжении /Жихарев А.П. и др. //Изв. вузов. Технология легкой промышленности. –1979. -№1.–с.52-56
56. Воронов Н.Ф., Удовенко Т.В. Методика испытания формовочных свойств мягких искусственных кож для верха обуви.// Экспресс-информация. Обувная и кожгалантерейная пром-ть. М., 1985.-№1.-с.1-9.
57. ГОСТ 338-81. Кожа хромовая для верха обуви. Сортировка. - М.: Издательство стандартов, 1981.
58. ГОСТ 938. 11-69. Кожа. Метод испытания на растяжение. - М.: Издательство стандартов, 1980.
59. ГОСТ 938. 11-69. Кожа. Метод подготовки образцов к физико-механическим испытаниям. - М.: Издательство стандартов, 1980.
60. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. –М.: Машиностроение, 1972.- 184 с.

61. Григорьев А.М. О производительности рабочего аппарата дренажно-винтовой машины. – Торфяная промышленность, 1948, №1.-с.18-20.
62. Григорьев А.М., Преображенский П.А. К вопросу определения осевой скорости материальной точки в вертикальном шнеке.// Изв. вузов. Горная индустрия– 1963. -№8.-с. 69-73.
63. Григорьев А.М., Шитиков В.В. К вопросу о производительности вертикального быстроходного шнека. - Тр. Казанского химико-технологического института, вып.19-20.- Казань, 1953. с. 155-165.
64. Гутьяр Е.М. Элементарная теория вертикального винтового транспортера. Труды Моск. института механизации и электрификации сельск. хозяйства, т. 2- М.:МИМЭСХ, 1956.- с.102-122.
65. Евстратова Н.Н. Влияние направляющих на производительность шнековых машин. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки – 1999. -№1.-с. 79-83.
66. Желтов В.П. Рекомендации по расчету и конструированию винтовых и спирально-винтовых конвейеров для сыпучих материалов. –Казань, ВНИИ охраны труда, 1977. - 55 с.
67. Завадский Ю.В. Статистическая обработка эксперимента. - М.: Высшая школа, 1976.- 270 с.
68. Зайдес А.Л. Структура коллагена и ее изменение при обработке. – М.: Ростехиздат, 1960.- 261 с.
69. Заявка 139Б188, Великобритания, МКИ Р04 С1/58. Способ изготовления материалов из кожволокна.
70. Заявка 57-49600, Япония, МКИ С 14В7/06. Способ регенерации отходов натуральной кожи.
71. Заявка 58-30920, Япония, МКИ Р063/00, Р 04 Н 1/48. Способ производства искусственной кожи.
72. Заявка 60-45686, Япония, МКИ С 14В7/04. Способ изготовления кожеподобного материала.
73. Зельдович Я.В., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений – М.: Наука, 1972.- 490 с.

74. Зенков Р.Л. Механика насыпных прудов. – М.: Машиностроение, 1964.- 251 с.
75. Зурабян К.М., Акулова Т.Е., Ларина Л.В., Влияние параметров увлажнения в вакууме на физико-механические свойства кож хромового метода дубления.// Изв. вузов. Технология легкой промышленности – 1989. -№ 6.-с. 34-36.
76. Зурабян К.М. и др. Материаловедение изделий из кожи: Учебник для вузов.- М.: Легпромбытиздат, 1988.-416 с..
77. Зыбин А.Ю. Прочность и деформация материалов для верха обуви при одноосном и двухосном растяжении: Дисс. ... канд. техн. наук. – М.: 1968.- 208 с.
78. Иванов В.А. Совершенствование оборудования легкой промышленности на основе анализа условий динамики взаимодействия рабочих органов с объектом обработки: Дисс... докт. техн.наук.- М.: МТИЛП, 1988.-386 с.
79. Использование вакуума при увлажнении кожаных деталей обуви /Скварик В.П. и др. //Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1968. -№5. –с.102-109.
80. Исследование вакуумных способов увлажнения и сушки обуви и разработка исходных требований на проектирование малогабаритной универсальной установки для увлажнения и сушки обуви в вакууме: Отчет о НИР/ Шахтинский технолог. ин-т быт. обл. (ШТИБО); Руководитель Ю.Г. Сапронов - № ГР 01089.0027473; Инв. №0290.00018420. –Шахты, 1989.
81. Исследование и разработка оборудования для механизации технологических процессов на предприятиях БОН: Отчет о НИР/ Шахтинский технолог. ин-т быт. обл. (ШТИБО); Руководитель К.А. Адигамов - №ГР 0184.0066087; Инв.№0287.0082303. –Шахты, 1987.
82. Исследование и разработка ручной шлифовальной машины для обработки изделий из камня с гашением пыли водой: Отчет о НИР/ Шахтинский технолог. ин-т быт. обл. (ШТИБО); Руководитель К.А. Адигамов - №ГР 0182.1057804; Инв.№0283.0060200. –Шахты, 1982.

83. Исследование надежности и долговечности режущего инструмента в средствах малой механизации: Отчет о НИР/ Шахтинский технолог. ин-т быт. обл. (ШТИБО); Руководитель К.А. Адигамов –Шахты, 1976.
84. Исследование криогенного способа обработки режущих инструментов. Отчет о НИР/ Шахтинский технолог. ин-т быт. обл. (ШТИБО); Руководитель К.А. Адигамов - №ГР 0184.0066087; Инв.№0288.0056877. –Шахты, 1988.
85. Кавказов Ю.Л. Взаимодействие кожи с влагой. - М.: Гизлегпром, 1952.- 318 с.
86. Кавказов Ю.Л. Тепло- и массообмен в технологии кожи и обуви. М.: Легкая индустрия, 1973.- 272 с.
87. Козаченко П.Н. и др. Определение коэффициента трения при трибометрических испытаниях на машинах торцевого трения. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки – 1999. -№ 3.-с. 45-47.
88. Капустин И.И. Резание и режущий инструмент в кожевенно-обувном производстве. –М.: Гос. научно-техническое изд-во легкой промышленности, 1950.-171 с.
89. Каплин В.Л. Исследование процессов переработки отходов кожевенно-обувных производств и создание технологического оборудования. – Дисс. ... канд. техн. наук.- М.: МГУС, 2000.-148 с.
90. 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.: МГУДТ, 1999.-330 с.
91. Каплин Л.А. Устройство для шлифования. // Сб. научн. тр Вып.20 (часть 2). Шахты: ДГАС, 1996.- с.58-61.
92. Карамышкин В.В., Галаев В.И. Аналитическое исследование вибрации валов винтовых ножей строгальных машин. // Изв. вузов. Технология легкой промышленности – 1984. -№2.-с. 84-89.
93. Катанов Б.А. Определение производительности вертикального шнекового транспортера. – М.: Вестник машиностроения, 1958.- № 12 – с. 15-19.

94. Катанов Б.А., Кузнецов В.И. Определение закономерностей движения одиночной частицы по шнеку.// Изв. вузов. Горный журнал– 1972. -№2.- с. 125-131.
95. Клейс И.Р., Уэймис Х.Х. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия.-М.: Машиностроение, 1986.
96. Крагельский И.В. Трение и износ. –М.: Машгиз, 1962
97. Корн Г., Корн К. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977.- 760 с.
98. Куприянов М.П., Шаповал Н.И. Об оптимуме увлажнения деталей обуви из новых видов кож. // Кожевенно-обувная промышленность.- 1967, № 6.-с.21-23.
99. Кутянин Г.И. Исследование физико-механических свойств кожи. – М.: Гизлегпром, 1956.-196 с.
100. Лапин Н.А. ¹ Определение параметров и режима работы вертикального шнекового транспортера. – Изв. вузов. Геология и разведка, 1966, № 2 – с. 128-140.
101. Ларина Л.В. Исследование процесса и разработка установки для вакуумно-сорбционного увлажнения деталей верха обуви. - Дисс. ... канд. техн.наук.- М.: МТИЛП, 1991. –135 с.
102. Ларина Л.В., Адигамов К.А., Ширяев В.В. К вопросу выбора рациональной схемы установки для увлажнения в вакууме обувных заготовок.// Изв. вузов. Технология легкой промышленности – 1982. -№ 2.-с. 47-50. ¹
103. Ларина Л.В., Адигамов К.А. Математическое моделирование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок обуви. //Материалы международной научно-практической конференции «Моделирование. Теория, методы и средства»: - Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2001 –с.39-41
104. Луцьк Р.В. Разработка методов изучения, анализ взаимодействия и прогнозирование тепломассообменных и физико-механических свойств текстильных и кожевенно-обувных материалов. - Дисс. ... докт. техн.наук.- Киев, 1987.

105. Лыков А.В. Тепломассообмен: / Справочник /. 2-е изд. Перераб и доп. – М.: Энергия, 1978.- 480 с.
106. Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. – М.: Гостехиздат, 1954.- 296 с.
107. Лемешко М.А., Бескоровайный В.В. К оценке энергоемкости процесса разрушения // Сборник научных трудов/ДГАС.- Шахты, 1996. –Вып.20. – с.86-90.
108. Мартынов П.К. Использование кожевенной пыли с целью создания безотходной технологии. – Автореферат дис. канд. техн. наук. – М.: МТИЛП, 1985.
109. Материаловедение изделий из кожи: Учебник для вузов /Под общ. Ред. Ю.А.Зыбина. –М.: Легкая индустрия, 1968. –380 с.
110. Машины, машины-автоматы и автоматические линии легкой промышленности: Учебник для вузов / Анастасиев А.А. и др. Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 352 с.
111. Мелентьев П.В. Приближенные вычисления. – М.: Физматгиз, 1962. – 388 с.
112. Мигляченко А.Ф., Котов М.Г. Взаимодействие между воздухопроницаемостью, пределом прочности при растяжении и влажностью кожи хромового дубления // Кожевенно-обувная промышленность. - 1967, № 9.-с.20-21.
113. Михайлов А.Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки. – М.: Легкая индустрия, 1971.- 525 с.
114. Михайлов А.Н. Физико-химические основы технологии кожи. – М.: Гизлегпром, 1949.- 351 с.
115. Мудров А.Г. Пространственные перемешивающие устройства. – Казань: Татарское книжное изд-во, 1984.-179 с.
116. Мурашов М. В., Григорьев А.М., Метод расчета вертикального винтового конвейера-шнека. – Изв. вузов. Горный журнал, 1969, № 10. – с. 74-78.

117. Мушинска А. О некоторых моделях движения вращающегося ротора. – Проблемы нелинейных колебаний. – Варшава: Польское научное издательство, 1968, №9.- с. 249-266.
118. Никифоров М.Е., Григорьев А.М. К вопросу о теории вертикальных шнеков. – Торфяная промышленность, 1953, № 1. – с.27-30.
119. Никифоров М.Е., Григорьев А.М. Некоторые вопросы теории вертикальных быстроходных шнеков. – Тр. Казанского химико-технологического института, вып. 18, Казань, 1954. – с. 72-82.
120. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. – М.: Химия, 1980. – 232 с.
121. О развитии сепарационной техники в НХПП «Дезинтегратор» /Керманов А.Т. и др. // Дезинтеграторная технология. –Таллинн, 1989. –с.142-143.
122. Оборудование предприятий по производству кожи и меха/ Бурмистров А.Г. и др. –М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. –416 с.
123. Оборудование для сборки заготовок обуви /Сторожев В.В. и др. //Зарубежное оборудование для предприятий ремонта и пошива обуви /ЦБНТИ Росбытсоюза. -М.: 1991 – Вып.2. –с.24-27.
124. Оптимизация режимов измельчения поливинилхлорида в дезинтеграторе /Козловский А.Э. и др. //Дезинтеграторная технология. –Таллинн, 1989.- с.91-93
125. Основы конструирования и расчета тепловых машин и аппаратов легкой промышленности /Архипов Н.Н. и др. –М.:Машгиз, 1963. –600 с.
126. Основы стандартизации, сертификации и управления качеством продукции и услуг: Учебное пособие /Корушкин Е.Н., Сапронов А.Г., Иванов В.А., Каплин Л.А.; Под общ. ред. А.Г.Сапронова. –Шахты: ЮРГУЭС, 1999 –174 с.
127. Панков Я.Г Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1971. – 255 с.
128. Патент 2060707 RU,C1, МКИ 6 А 42 Д 25/06. Пресс для приклеивания подошв./ Адигамов К.А., Чамурлиев В.В. (РФ). – №93027715/12; Заявлено 18.05.93; Оpubл. 27.05.96

129. Патент 2190519 RU,C1, МКИ 7 В 25 У 15/00. Механический захват./ Адигамов К.А. и др. (РФ). – №2001117065; Заявлено 18.06.01; Опубл. 10.10.02
130. Патент 4325236, США МКИ – С14В1/00. Способ изготовления кожи из отходов.
131. Пжитульский С, Супера А. Возможности утилизации отходов кож хромового дубления // Кожевенно-обувная промышленность. - 1984, № 12.-с.10-12.
132. Прохоров В.Т. и др. Совершенствование технологии склеивания изделий из кожи: Монография. – Шахты: Издательство ЮРГУЭС, 2002 – 372 с.
133. Разумов И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. –М.: Химия, 1982. –254 с.
134. Расчет и конструирование роторных машин /Кельзон А.С., Журавлев Ю.Н., Январев Н.В. и др. – Л.: Машиностроение, 1977. –288 с.
135. Ратаутас С.А. Гигротермическая фиксация формы изделия из кожи.// Изв. вузов. Технология легкой промышленности – 1974, № 2.-с. 65-70
136. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
137. Рыбаков И.Я. Теория и расчет вертикальных шнеков. //Торфяная промышленность, 1951, № 8. – с.27-70.
138. Саверин М.М. Контактная прочность материала в условиях одновременного действия нормальной и касательной нагрузок. – М.: Машгиз, 1946.- 148 с.
139. Саттерфилд Ч.Н. Массопередача в гетерогенном катализе. – М.: Химия, 1976.- 240 с.
140. Сборник задач по математической физике /Бурдак Б.М. и др. –М.: Наука, 1972. –688 с.
141. Селин В.А. Теория торфяного пресса. – Тр.Украинсторфа. – Киев: 1988, вып.6. – с.119-189.

142. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт (основы расчета). –М.: Недра, 1980. –245 с.
143. Сливаковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1968.- 503 с.
144. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. –Л.: Химия, 1975.- 384 с.
145. Сурмилов Б.И., Ларина Л.В. Интенсификация процесса увлажнения в вакууме обувных заготовок.// Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1986, № 4. –с.78-80.
146. Таубин М.Т., Вапник З.А. Гигротермическое оборудование обувного производства. М.: Легкая индустрия, 1978. –158 с.
147. Теория и практика уравнивания машин и процессов /Под ред. В.А. Щепетильникова . – М.: Машиностроение , 1970. – 440 с.
148. Теория подобия и размерностей. Моделирование /Алабужев П.М. и др. – М.: Высшая школа, 1968. –206 с.
149. Технология изделий из кожи: Учебник для вузов. В 2-х кн. Ч.1. / Фукин В.А., Калита А.Н., Иванов В.В., Сидоров В.В. –М.: Легпромбытиздат, 1988.- 272 с.
150. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. –262 с.
151. Токарев М.В. Совершенствование параметров строгальных машин с целью повышения качества кожевенных материалов. Дисс... канд. техн. наук. – М.: МТИЛП, 1989. – 117 с.
152. Участие в разработке комплексной системы машин. Этап 1. Машины для ремонта и пошива обуви: Отчет о НИР/ Шахтинский технолог. ин-т быт. обл. (ШТИБО); Руководитель К.А. Адигамов - №ГР 0187.0042554; Инв.№0287.0082309. –Шахты, 1987.
153. Файбищенко М.А. Влияние различных факторов на формоустойчивость обуви. // Кожевенно-обувная промышленность. - 1965, № 9.-с.27-33.

154. Файбишенко М.А. Оптимальная влажность кожи при формировании верха обуви //Легкая промышленность. –1948, №12. –с.13-15.
155. Филькин Г.В.¹ Методы расчета полей концентрации загрязняющих веществ, поступающих в водотоки со сточными водами. - Дисс... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1986. – 147 с.
156. Христианович С.А. Механика сплошных сред. – М.: Наука, 1981.- 483 с.
157. Чесунов В.М, Захарова А.А. Оптимизация прессов сушки в легкой промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1985.- 112 с.
158. Ширяев В.В., Адигамов К.А. Тензометрические исследования при определении воздействия сыпучего абразива на тонкие вращающиеся зубчатые диски. //Материалы международной научно-практической конференции, «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики»: -Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2001 –с.28-29
159. Ширяев В.В., Адигамов К.А. Диагностика контактных давлений при взаимодействии волокнистого материала с рабочим инструментом. // Материалы международной научно-практической конференции «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики»: -Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2001 –с.30-31
160. Эрлих В.Д. , Кабзон М.Д. Механизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ в легкой промышленности. –М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1984. – 223 с.
161. Das verhalten¹ von Haut und Zeder bei mechanischer Bearbeitung in der Gerberei eine phisikalische deutung. Das Zeder, № 9, s.138.
162. Foppl A. Problems der Zavalschen Turbinenwelle.- «Der Civilingenienr», 1985 – s. 333-342.
163. Rajaram A., Sanjeevi R, Ramanathan N The mechanical properties of collagen fibers. – JAZKA, 1978, № 8 , p. 378-393.
164. Verinfachte Darstellung meiner Theorie der Zavalschen Turbinenwelle.- «Der Civilingenienr», 1986 – s. 249-252.
165. Wasiljen M, Schoppe K. Uber die Stollmaschi – neneinstellung. Zeder Schuhe Zederwaren, 1971, № 1, s. 35.
166. Slader K.I., Gililand E.R., Baddour R.T. //Ind/End. Chem. Fundam – 1974. –13. -№2

ИСХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЮ «МАЛОГАБАРИТНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХА И СУШКИ ОБУВИ»

П.1.1 Общие сведения

П.1.1.1 Обоснование целесообразности разработки

Качественное выполнение операций «увлажнения верха обуви перед обтяжно-затяжными операциями» и «основная сушка затянутой на колодку обуви» в значительной степени определяет формоустойчивость и товарный вид готового изделия. Выполнение этих операций является обязательным при пошиве, крупном ремонте и обновлении кожаной обуви различными методами крепления низа. На предприятиях бытового обслуживания малой мощности (ателье и участки специализированных фабрик со сменным выпуском до 50 пар) увлажнение заготовок производится вручную в жидкой среде, с последующей пролежкой, а сушка затянутых на колодки заготовок – на стеллажах или сушилкой кустарного производства. Такое выполнение операций не способствует улучшению качества обрабатываемой обуви по росту объема услуг из-за следующего:

а) ручной способ увлажнения не обеспечивает требуемый привес влаги и ее распределение по толщине заготовок, что сказывается на качестве выполнения последующих операций, увеличивает расход (ориентировочно на 1,5 %) материала на заготовку, снижает эксплуатационные показатели обуви;

б) увлажнение в естественных условиях с пролежкой и естественная сушка удлиняют сроки выполнения заказов, увеличивая объем незавершенного производства;

в) сушка обуви в шкафах кустарной конструкции происходит, как правило с нарушениями технологических режимов, что вызывает ухудшение качества изделий.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается гигротермическое оборудование для легкой промышленности, которое имеет высокую производительность, значительные габариты и большую энергоемкость, а также высокую стоимость. Использование этого оборудования на маломощных предприятиях отрасли экономически нецелесообразно, а зачастую технически затруднено из-за отсутствия производственных площадей.

Учитывая, что производства малой мощности составляют 70-80 % от общего количества ателье, цехов и участков, на которых производится пошив, крупный ремонт и обновление обуви, и все вышеизложенное, целесообразность разработки малогабаритной, комбинированной универсальной установки, предназначенной для выполнения на одном рабочем месте операций увлажнения и сушки заготовок верха обуви, не вызывает сомнения.

Разрабатываемая установка должна отвечать требованиям производств малой мощности как по качественным параметрам выполняемых операций, так и по производительности, габаритным размерам и стоимости. Создание малогабаритной с небольшим временем увлажнения (до 15 мин) и сушки (до 30 мин) технически неосуществимо при использовании различных способов увлажнения при атмосферном давлении, для которых время нахождения изделий в аппарате составляет от 45 до 100 мин, при сушке – до 2 часов. Значительно сократить время процесса позволяет использование пониженного давления (вакуума) рабочей среды в камере для увлажнения и сушильной камере. При этом, при увлажнении используется метод сорбции влаги из окружающей среды (водяного насыщенного пара), а при сушке – радиационный способ подвода тепла к заготовке.

Высокопроизводительное оборудование для увлажнения заготовок верха в вакууме и вакуумные сушилки выпускаются рядом зарубежных фирм. По данным фирм увлажнение в таких камерах не превышает 5 мин, а время сушки в сушилках – 5-10 мин. Анализ процессов увлажнения заготовок в вакууме и радиационно-вакуумной сушки обуви, конструкций соответствующего оборудования, а также требований, предъявляемых к обувному оборудованию для

маломощных производств отрасли «Ремонт и пошив обуви» Минбыта РСФСР позволяет признать технологически целесообразным, технически осуществимым и экономически выгодным разработку малогабаритной комбинированной универсальной вакуумной установки для увлажнения заготовок верха и основной сушки обуви.

Разработка и внедрение такой установки позволит получить следующие:

- уменьшить (ориентировочно на 1,5 %) расход материала на заготовку верха обуви за счет улучшения формуемости обувных материалов после вакуумного увлажнения;
- сократить объем незавершенного производства, потребное количество колодок, длительность изготовления или ремонта обуви (т.е. уменьшить срок оказания услуг);
- уменьшить электропотребление (в случае, если разрабатываемая установка будет заменять серийно выпускаемое оборудование или нестандартизированное оборудование);
- повысить качество обуви за счет улучшения формоустойчивости и товарного вида.

П.1.1.2 Обоснование потребности нового оборудования

Потребность в малогабаритной установке определяется исходя из общего количества ателье, участков и цехов специализированных фабрик, оказывающих услуги по пошиву, крупному ремонту и обновлению обуви и имеющих производственную мощность до 50 пар обуви в смену. Учитывая сложность точного подсчета таких производств из-за сезонного колебания спроса на услуги, а также вследствие изменения количества предприятий по отдельным регионам России из-за проводимых реорганизационных мероприятий, определение потребностей производилось на основе экспертной оценки путем экстраполяции данных, полученных по Ростовскому территориально-производственному объединению бытового обслуживания. Расчет потребного

количества установок для отдельных регионов республики велся с учетом объема данного вида услуг, оказываемых населению.

Ориентировочная потребность в малогабаритных комбинированных универсальных вакуумных установках для увлажнения заготовок и сушки обуви для обувной подотрасли Минбыта РСФСР на 5 лет составляет 2500 единиц, а с учетом возможных поставок предприятиям бытового обслуживания других союзных республик – не менее 4000 единиц.

П.1.1.3 Основание для разработки нового оборудования

Основанием для разработки малогабаритной комбинированной установки для увлажнения заготовок и сушки обуви является «Система машин для предприятий бытового обслуживания населения по отраслевой группе услуг «Ремонт и пошив обуви», Постановление Совета Министров СССР от 05.08.88 г. № 972 «О мерах по коренной перестройке сферы платных услуг населению».

П.1.1.4 Предварительный расчет экономической эффективности от разработки и внедрения малогабаритной комбинированной установки для увлажнения заготовок и сушки обуви в вакууме

За базу для сравнения приняты сушилка для сушки обуви и малогабаритная увлажнительная камера, выбранные из «Перечня оборудования, используемого в технологических схемах отраслевой комплексной системы машин».

Применение малогабаритной комбинированной установки для увлажнения заготовок и сушки обуви в вакууме позволит уменьшить потребность в производственных площадях, затяжных колодках, снизить расходы на электроэнергию, осуществить экономию кожевенных материалов за счет улучшения физико-механических свойств заготовок, увлажненных в вакууме.

Расчет капитальных затрат

В состав капитальных затрат учитывается стоимость оборудования, производственных площадей, а также затраты на НИР и ОКР. В связи с тем, что на

этапе разработки исходных требований полные затраты на НИР и ОКР еще не известны, для ориентировочных расчетов они приняты в размере 5,0 тысяч руб.¹

Уточненный расчет капитальных затрат будет выполнен разработчиком на стадии технического задания после согласования лимитной цены установки и определения полных затрат на НИР и ОКР.

Данные по затратам приведены в таблице П.1.1.

Т а б л и ц а П . 1 . 1 .

Показатели	Сушилка	Увлажнитель- ная камера	Разрабатывае- мый вариант
1. Стоимость, руб.	2000	1000	3500
2. Занимаемая площадь, м ²	1,12	1,12	0,8
3. Стоимость 1 м ² площади, руб.	200	200	200
4. Затраты на площадь, руб.	224	224	160
5. Затраты на НИР и ОКР, руб.	-	-	5000
6. Объем выпуска установок по второму году, шт	-	-	100
7. Итого затрат, руб.	2224	1224	4160
8. Сопутствующие капитальные затраты, руб.	$K'_1 = 224$	$K'_1 = 224$	$K_2 = 160$

Расчет текущих расходов

Расходы на амортизацию и текущий ремонт приведены в табл. П.1.2.

Т а б л и ц а П . 1 . 2 .

Показатели	Сушилка	Увлажнитель- ная камера	Разрабатывае- мый вариант
1. Стоимость оборудования, руб.	2000	1000	3500
2. Годовые амортизационные расходы на капитальный ремонт (2,5 %), руб.	50	25	88
3. Годовые затраты на текущий ремонт (5,0 %), руб.	100	50	176
4. Итого затрат, руб.	150	75	264

¹ Расчеты выполнены в ценах 1989 г.

Расходы на амортизацию, текущий ремонт и содержание производственных площадей приведены в таблице П.1.3.

Т а б л и ц а П . 1 . 3 .

Показатели	Сушилка	Увлажнительная камера	Разрабатываемый вариант
1. Занимаемая площадь, м ²	1,12	1,12	0,8
2. Затраты на производственную площадь, руб.	224	224	160
3. Годовые затраты на амортизацию и текущий ремонт производственных площадей (5,5 %), руб.	12,3	12,3	8,8
4. Годовые затраты на содержание производственных площадей, руб.	3,2	3,2	2,2
5. Итого затрат, руб.	15,5	15,5	11,0

Расходы на электроэнергию представлены в таблице П.1.4.

Т а б л и ц а П . 1 . 4 .

Показатели	Сушилка	Увлажнительная камера	Разрабатываемый вариант
1. Установленная мощность, кВт	11	2,5	4
2. Годовой фонд работы, в часах	2050	2050	2050
3. Годовой расход электроэнергии, кВт-час	22550	5125	8200
4. Стоимость 1 кВт-часа, руб.	0,016	0,016	0,016
5. Годовые затраты на электроэнергию, руб.	361	82	131,2

В текущие расходы входят также затраты на колодки, которые могут быть определены следующим образом.

Вместимость разрабатываемой установки по 2 пары в каждой камере, производительность 38 пар в смену.

Максимальное время сушки на базовой сушильной установке составляет 4 часа. Исходя из этого, загрузка ее составит:

$$E = \frac{38 \cdot 240}{480} = 19 \text{ пар.}$$

Считая, что срок службы колодок с учетом физического и морального износа составит 1 год, потребность в колодках при использовании разрабатываемой установки сократится на

$$19 - 2 = 17 \text{ пар в год.}$$

Средняя стоимость пары колодок составляет 9 рублей (прейскурант №24-18-202-01), тогда в базовом варианте затраты составят 171 рубль, в проектном варианте – 18 рублей.

Годовая экономия по затратам на колодки составит

$$\mathcal{E}_k = 9 \cdot 17 = 153 \text{ рублей.}$$

Текущие затраты по основным изменяющимся элементам себестоимости в рублях на годовой выпуск даны в таблице П.1.5.

Т а б л и ц а П . 1 . 5 .

Затраты в рублях	До внедрения	После внедрения	Результаты экономии
1. Амортизация и текущий ремонт оборудования	225	264	– 39
2. Амортизация, текущий ремонт и содержание производственных площадей	31	11	+ 20
3. Электроэнергия	443	131,2	+ 311,8
4. Колодки	171	18	+ 153
Итого:	$I_1 = 870$	$I_2 = 424,2$	$I_1 - I_2 = 445,8$

Расчет годового экономического эффекта производится по формуле:

$$\mathcal{E} = \left[3_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I_1 - I_2) - E_H(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_H} - 3_2 \right] \cdot A_2,$$

где 3_1 и 3_2 – приведенные затраты единицы соответственно базового и нового средства труда, определяемые по формуле:

$$3 = C + E_H K,$$

где C – себестоимость единицы продукции, руб.;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, для отрасли бытового обслуживания $E_H = 0,15$;

K – удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;

$\frac{B_2}{B_1}$ – коэффициент учета роста производительности единицы

нового средства труда по сравнению с базовым;

P_1 и P_2 – коэффициенты реновации, рассчитываются как величины, обратные срокам службы средств труда;

I_1 и I_2 – годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании им базового и нового средства труда в расчете на объем продукции, производимой с помощью нового средства труда, руб.;

K'_1 и K'_2 – сопутствующие капитальные вложения потребителя при использовании базового и нового средств труда, рублей;

A – годовой объем производства новых средств труда в расчетном году, в натуральных единицах.

При расчете Z_1 берется стоимость базового оборудования – сушильной установки и увлажнительной малогабаритной камеры, при расчете Z_2 учитывается стоимость установки и затраты на НИР и ОКР.

$$Z_1 = 2000 + 1000 = 3000 \text{ (руб.)}$$

$$Z_2 = 3500 + 0,15 \cdot 500 = 3575 \text{ (руб.)}$$

$$P_1 = P_2 = 1/T_1 = 1/T_2 = 1/T = 0,14.$$

Срок службы $T_1 = T_2$ принят равным 7 годам.

Экономический эффект в народном хозяйстве от выпуска малогабаритной комбинированной установки для увлажнения и сушки обуви в вакууме составляет

$$\mathcal{E} = \left[3000 \times 1 \times 1 + \frac{445,8 - 0,15(160 - 448)}{0,14 + 0,15} - 3575 \right] \times 1 = 767 \text{ рублей.}$$

Расчет технико-экономического эффекта за счет экономии материалов верха обуви

Экономия материалов верха обуви за счет увлажнения их в вакууме достигается из-за улучшения пластических свойств кожи, что позволяет при раскрое уменьшить припуск на затяжку. В расчете принимаем экономию верхнего кожтовара на 1,5 % при изготовлении мужских полуботинок 27 размера. Годовой объем выпуска принят из расчета производительности разрабатываемого устройства – 38 пар в смену. При 8 – часовом рабочем дне и годовом фонде работы оборудования равном 2050 часам объем выпуска составит:

$$38 \times \frac{2050}{8} = 9728 \text{ пар в год.}$$

Данные по расчету приведены в таблице П.1.6.

Т а б л и ц а П . 1 . 6 .

Наименование показателей	Значение показателей
1. Годовой объем выпуска, пар	9728
2. Расход материалов на пару, дм ²	
верха	12,7
кожподкладки	11,0
3. Стоимость материалов за 1 дм ² в руб.	
верха	0,15
кожподкладки	0,09
4. Стоимость материалов на годовой объем выпуска, руб.	
верха	19050
кожподкладки	9900
5. Экономия материалов, руб.	
верха	285,8
кожподкладки	148,5
Итого:	434,3

Таким образом, суммарный годовой экономический эффект от внедрения комбинированной малогабаритной установки для увлажнения и сушки обуви составит:

$$\mathcal{E}_\Sigma = 767 + 434,3 = 1201,3 \text{ руб.}$$

П.1.1.5 Расчет лимитной цены при серийном выпуске устройства

Расчет лимитной цены устройства произведен для изделий с улучшенными основными технико-экономическими показателями, обеспечивающими экономию эксплуатационных издержек потребителя по формуле:

$$\frac{C_L}{\left(C_B \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{I_1 - I_2}{P_2 + E_H} \right) \cdot 0,9} \leq 0,85$$

$$C_L = \left(3000 \times 1 \times 1 + \frac{445,8}{0,14 + 0,15} \right) \times 0,9 \times 0,85 = 3470 \text{ руб.}$$

П.1.2 Назначение изделия

П.1.2.1 Малогабаритная комбинированная вакуумная установка предназначена для выполнения на одном рабочем месте следующих операций при пошиве, крупном ремонте и обновлении обуви:

- увлажнение заготовок верха обуви перед обтяжно-затяжными операциями;
- основная сушка заготовок обуви, затянутых на колодки.

Установка должна использоваться в условиях ателье, участков и цехов специализированных фабрик ремонта и пошива обуви мощностью не более 50 пар в смену.

Технологические операции увлажнения и сушки проводятся на установке в различных камерах независимо друг от друга последовательно или параллельно во времени по мере необходимости их осуществления в технологических процессах пошива или ремонта обуви.

П.1.2.2 Технологический процесс увлажнения заготовок верха обуви заключается в следующем. В исходном состоянии верхняя крышка камеры открыта. Заготовки верха навешивают на вешала, закрепленные внутри камеры, и нажимают кнопку «ПУСК». Крышка опускается, герметизируя камеру. Камера подсоединяется к системе отсоса воздуха. Происходит вакуумирование камеры.

Одновременно включается система обогрева корпуса камеры и нагреватели, встроенные в емкость с водой, которая расположена в нижней части камеры. Под действием вакуума вода в емкости начинает кипеть, при этом образующийся влажный насыщенный пар заполняет пространство камеры и увлажняет заготовки. По истечении времени увлажнения камера соединяется с атмосферой. Давление в камере выравнивается, после чего верхняя крышка поднимается в исходное положение, открывая доступ к заготовкам.

П.1.2.3 Технологический процесс сушки заготовок обуви, затянутых на колодки, состоит в следующем. В исходном состоянии верхняя крышка рабочей камеры открыта. Подлежащую обработке обувь последовательно размещают в ячейках камеры следом вверх и нажимают кнопку. При этом крышка опускается, герметизируя камеру. Автоматически включаются нагреватели и вакуумная установка, осуществляет первый цикл сушки с заданными параметрами. После окончания первого цикла рабочая камера соединяется с атмосферой, а нагреватели отключаются. По окончании вентилирования, за счет всасывания окружающего воздуха, камера вновь герметизируется, включаются нагреватели и вакуумная установка. Выполняется второй цикл сушки с параметрами, определенными технологическим режимом. Затем камера вновь вентилируется, герметизируется и вакуумируется с включенными нагревателями – происходит третий цикл. По его окончании камера разгерметизируется, крышка поднимается в исходное положение. Высушенную обувь вынимают из камеры, заменяя ее новой партией.

В рабочей камере должны быть установлены нагреватели для носочной и пяточной частей заготовок, а также для голениц. Первые включаются в работу всегда, направляя наибольший тепловой поток на подноски и задники. Вторые – только при обработке сапог, увлажненных в вакуумной камере. Выбор режимов работы нагревателей должен осуществляться оператором на пульте установки.

П.1.2.4 Конструктивная схема установки выбрана по аналогии с малогабаритной вакуумной сушилкой “Magic Simplex” фирмы Angani (Италия) с до-

бавлением дополнительной секции увлажнения. Технологическая схема работы увлажнительной секции основана на базе результатов НИР, выполненных в ШТИБО, а также а.с. СССР №1099944. Технологическая схема работы сушилки основана на результатах НИР КТИЛПа, а также а.с. СССР №508250.

Установка выполняется однокорпусной и содержит две секции – для увлажнения и для сушки. Управление работой секций производится с одного пульта. Работа секций – независимая. Вакуумирование обеих секций осуществляется от одного вакуум-насоса с использованием вакуумного аккумулятора.

Секция для увлажнения должна включать рабочую камеру с верхним загрузочным окном, закрываемым герметично крышкой, систему вакуумирования, систему управления и контроля. Увлажнительная камера должна иметь вешала для расположения заготовок в один ряд и в нижней части емкость для воды. Конструкция камеры должна обеспечивать свободный доступ пара, образующегося с зеркала воды, к заготовкам, но препятствовать попаданию заготовок обуви в воду при их падении с вешал. Корпус камеры должен иметь теплоизоляцию, предотвращающую конденсацию пара на стенках. Нижняя поверхность крышки, являясь потолком камеры, должна иметь сводчатую форму во избежание попадания капель воды на заготовки.

Секция для сушки обуви должна включать рабочую камеру с верхним загрузочным окном, закрываемым герметично крышкой, систему вакуумирования, систему управления и контроля. Сушильная камера должна иметь ячейки для размещения заготовок обуви в один ряд и теплоизлучателей для носочной, пяточной частей заготовки и голенищ. Расположение теплоизлучателей должно обеспечивать максимальный тепловой поток на подноски и задники заготовки. При обработке обуви с низкими берцами должны работать только излучатели для носочной и пяточной частей заготовок.

Пульт управления установкой должен располагаться на фронтальной стороне.

П.1.3 *Параметры установки*

П.1.3.1 Разрабатываемая малогабаритная универсальная вакуумная установка для увлажнения заготовок верха и сушки обуви должна иметь следующие параметры

Вместимость, пар	
камеры увлажнения	2
камеры сушки	2
Производительность, пар в смену	38
Расход электроэнергии, кВт/ч, не более	4
Габаритные размеры, мм, не более	
по фронту	1000
глубина	800
высота	1000
Масса, кг, не более	300

П.1.4 *Технологические параметры работы установки*

П.1.4.1 Малогабаритная универсальная вакуумная установка для увлажнения заготовок верха и сушки обуви применяется в ателье пошива обуви и в цехах пошива и крупного ремонта обуви малой мощности.

П.1.4.2 Установка должна обеспечивать возможность обработки всех видов кожаной обуви, включая сапоги с высотой голенищ до 450 мм.

П.1.4.3 Установка должна обеспечивать следующие технологические режимы.

1) При увлажнении

Вакуумирование рабочей камеры до (15-20) кПа длительностью не более 130 с. с одновременным нагревом воздушной среды до температуры (50-60) °С и воды в емкости до (70-80) °С.

Выдержка времени после достижения рабочего разряжения в течение (4-6) мин.

Поднятие давления в камере до атмосферного за время не более 20 с.

2) При сушке

Вакуумирование рабочей камеры до (15-20) кПа длительностью не более 130 с. с одновременным нагревом затянутых на колодку заготовок до (60-70) °С.

Выдержка времени после достижения рабочего разряжения при постоянной температуре в течение (55-70) с.

Поднятие давления в камере до атмосферного при выключенных нагревателях за время, не более 20 с.

Охлаждение заготовок при атмосферном давлении в течение (15-20) с.

Повторное вакуумирование рабочей камеры до (15-20) кПа длительностью, не более 130 с. с одновременным нагревом затянутых на колодку заготовок до (100-110) °С.

Выдержка времени после достижения рабочего разряжения при постоянной температуре в течение (85-100) с.

Поднятие давления в камере до атмосферного при выключенных нагревателях за время, не более 20 с.

Охлаждение заготовок при атмосферном давлении в течение (50-60) с.

Третье вакуумирование рабочей камеры до (15-20) кПа длительностью, не более 130 с. с одновременным нагревом затянутых на колодку заготовок до (130-150) °С.

Выдержка времени после достижения рабочего разряжения при постоянной температуре в течение (125-140) с.

Поднятие давления в камере до атмосферного при выключенных нагревателях за время, не более 20 с.

Охлаждение заготовок при атмосферном давлении в течение (300-420) с.

П.1.4.4 Влагосодержание заготовок обуви после увлажнения должно составлять (28-30) %.

П.1.4.5 Влагосодержание заготовок обуви после сушки должно быть в пределах (12-14) %.

П.1.4.6 Установка должна стоять свободно, без крепления на полу, без фундамента.

П.1.4.7 Подсоединение установки к вытяжной вентиляции не требуется.

П.1.4.8 Установка обслуживается с фронтальной части рабочим в положении «стоя». Специальной подготовки для обслуживания установки не требуется.

П.1.4.9 Напряжение питания установки – 380 В, трехфазного тока.

П.1.5 Требования по автоматизации

П.1.5.1 Установка должна работать как в ручном, так и в автоматическом режиме.

П.1.5.2 Установка должна быть оснащена средствами автоматизации и контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими следующее:

- автоматическое закрывание загрузочных окон крышками и надежную герметизацию камер при нажатии на кнопку «ПУСК» на пульте управления секциями;
- автоматическое программное выполнение режимов увлажнения и сушки;
- автоматическое регулирование уровня воды в емкости увлажнительной камеры;
- контроль температуры и разряжения в рабочих камерах и уровня воды в емкости;
- возможность корректировки технологических параметров;
- защиту от коротких замыканий;
- сигнализацию работы установки.

П.1.6 Специальные требования

П.1.6.1 Увлажнительная и сушильная камеры должны выполняться из коррозионных материалов или иметь защитные покрытия.

- П.1.6.2 Установка должна подключаться к водопроводной сети.
- П.1.6.3 Температура наружных поверхностей установки не должна превышать 45 °С.
- П.1.6.4 Уровень звука при работе установки не должен превышать 75 дБ. Установка должна отвечать требованиям ГОСТа 12.1.003-83.
- П.1.6.5 Установка должна отвечать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74.
- П.1.6.6 Электрооборудование установки должно соответствовать требованиям ГОСТа 12.2.003-75, Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителем (ПТЭ), Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ).
- П.1.6.7 Устройство пульта управления должно обеспечить простоту установления и регулирования технологических параметров в ручном режиме.
- П.1.6.8 Удобство работы на установке и требующиеся усилия рабочего должны соответствовать общим эргономическим нормам и требованиям.
- П.1.6.9 Художественно-конструктивное оформление и качество отделки должны отвечать современным требованиям технической эстетики.
- П.1.6.10 Установка должна поставляться полностью собранной в упакованном виде. Климатическое исполнение – УХЛ, категория размещения 4 по ГОСТ 15150-69.

**ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШНЕКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ
С НЕПОДВИЖНЫМ И ВРАЩАЮЩИМСЯ КОЖУХОМ**

{1 Влияние радиуса шнека на критическую угловую скорость}

```

Var
  r,w,g,k,a,f : real;
  Rmin,Rmax,Rstep: real;
  fl: Text;
Begin
  assign(fl,'\wkrr.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  Write('Введите минимальное значение радиуса >');
  Readln(Rmin);
  Write('Введите максимальное значение радиуса >');
  Readln(Rmax);
  Write('Укажите шаг наращивания радиуса >');
  Readln(Rstep);
  if Rmin > 0 then r := Rmin
  else r := 0.05;
  if Rstep = 0 then Rstep := 0.05;
  if Rmax < Rmin then Rmax := Rmin + Rstep;
  g := 9.81;
  k := 0.6;
  a := 0.2675;
  f := 0.2;
  writeln(fl);
  writeln(fl,'1 Влияние радиуса шнека на критическую угловую скорость');
  writeln(fl,'Rmin = ',Rmin);
  writeln(fl,'Rmax = ',Rmax);
  writeln(fl,'Rstep = ',Rstep);
  while r <= Rmax do begin
    w := sqrt(g/(r*k*cos(a+arctan(f))/sin(a+arctan(f))));
    writeln(fl,'R = ',r,' W = ',w);
    r := r + Rstep;
  end;
  close(fl);
End.

```

1 Влияние радиуса шнека на критическую угловую скорость

Rmin = 5.0000000000E-02

Rmax = 2.0000000000E-01

Rstep = 1.0000000000E-02

R = 5.0000000000E-02 W = 1.2806655249E+01

R = 6.0000000000E-02 W = 1.1690823277E+01

R = 7.0000000000E-02 W = 1.0823599172E+01

R = 8.0000000000E-02 W = 1.0124549949E+01

R = 9.0000000000E-02 W = 9.5455172336E+00

R = 1.0000000000E-01 W = 9.0556727708E+00

R = 1.1000000000E-01 W = 8.6342452074E+00

R = 1.2000000000E-01 W = 8.2666604166E+00

R = 1.3000000000E-01 W = 7.9423504238E+00

R = 1.4000000000E-01 W = 7.6534403717E+00

R = 1.5000000000E-01 W = 7.3939258553E+00

R = 1.6000000000E-01 W = 7.1591379252E+00

R = 1.7000000000E-01 W = 6.9453839656E+00

R = 1.8000000000E-01 W = 6.7496999658E+00

R = 1.9000000000E-01 W = 6.5696755240E+00

R = 2.0000000000E-01 W = 6.4033276244E+00

{ 2 Влияние коэффициента трения транспортируемого
материала о шнек и угла подъема винтовой ли-
нии на критическую частоту вращения шнека}

```
Var
  i,n,g,r,a,f: real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  r := 0.1;
  a := 0.3896;
  f := 0.1;
  assign(fl, '\sh.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl, '2 Влияние коэффициента трения транспортируемого');
  writeln(fl, 'материала о шнек и угла подъема винтовой ли-');
  writeln(fl, 'нии на критическую частоту вращения шнека');
  while i < 1 do begin
    n := 30/3.14*sqrt(g/(r*f*cos(a+arctan(i))/sin(a+arctan(i))));
    writeln (fl, 'a = ', a, ' i = ', i, ' n = ', n);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
End.
```

2 Влияние коэффициента трения транспортируемого материала о шнек и угла подъема винтовой линии на критическую частоту вращения шнека

$a = 1.3520000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 1.4638065788E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 1.7587519279E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 2.0175841599E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 2.2530436447E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 2.4720678000E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 2.6789346434E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 2.8765088749E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 3.0668263535E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 3.2514013508E+02$

2 Влияние коэффициента трения транспортируемого материала о шнек и угла подъема винтовой линии на критическую частоту вращения шнека

$a = 2.6750000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 1.8558209723E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 2.1192781114E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 2.3666759956E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 2.6037077438E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 2.8341251848E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 3.0606263411E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 3.2852946155E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 3.5098409798E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 3.7357498850E+02$

2 Влияние коэффициента трения транспортируемого материала о шнек и угла подъема винтовой линии на критическую частоту вращения шнека

$a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 2.1835601350E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 2.4406554950E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 2.6938828399E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 2.9470257895E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 3.2031966586E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 3.4652047684E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 3.7357945262E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 4.0178290269E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 4.3144598571E+02$

2 Влияние коэффициента трения транспортируемого материала о шнек и угла подъема винтовой линии на критическую частоту вращения шнека

$a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 2.1835601350E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 2.4406554950E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 2.6938828399E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 2.9470257895E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 3.2031966586E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 3.4652047684E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 3.7357945262E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 4.0178290269E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 4.3144598571E+02$

{ 3 Изменение критической частоты вращения в зависимости
от коэффициента трения материала о кожух при различ-
ных углах подъема винтовой линии }

```

Var
  i,n,g,r,a,f: real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  r := 0.1;
  a := 0.3896;
  f := 0.2;
  assign(fl, '\nkr.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl, '3 Изменение критической частоты вращения в зависимости');
  writeln(fl, ' от коэффициента трения материала о кожух при различ-');
  writeln(fl, ' ных углах подъема винтовой линии');
  while i < 1 do begin
    n := (30/3.14)*sqrt(g/(r*i*cos(a+arctan(f))/sin(a+arctan(f))));
    writeln(fl, 'a = ', a, ' i = ', i, ' n = ', n);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
End.

```

3 Изменение критической частоты вращения в зависимости
от коэффициента трения материала о кожух при различ-
ных углах подъема винтовой линии

$a = 1.3520000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 1.7587519279E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 1.2436254146E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 1.0154158990E+02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 8.7937596393E+01$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 7.8653777325E+01$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 7.1800746790E+01$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 6.6474574557E+01$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 6.2181270731E+01$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 5.8625064262E+01$

3 Изменение критической частоты вращения в зависимости
от коэффициента трения материала о кожух при различ-
ных углах подъема винтовой линии

$a = 2.6750000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 2.1192781114E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 1.4985559238E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 1.2235657881E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 1.0596390557E+02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 9.4776998407E+01$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 8.6519166600E+01$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 8.0101183454E+01$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 7.4927796190E+01$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 7.0642603713E+01$

3 Изменение критической частоты вращения в зависимости
от коэффициента трения материала о кожух при различ-
ных углах подъема винтовой линии

$a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $n = 2.4406554950E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $n = 1.7258040510E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $n = 1.4091131070E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $n = 1.2203277475E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $n = 1.0914943193E+02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $n = 9.9639343344E+01$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $n = 9.2248106796E+01$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $n = 8.6290202552E+01$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $n = 8.1355183166E+01$

{ 4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы
при различных угловых скоростях шнека }

```

Var
  i,a,t,v,w,g,f,e,k : real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.05;
  g := 9.81;
  w := 30.0;
  a := 0.2675;
  f := 0.2;
  k := 0.6;
  assign(fl, '\vz1r.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl, '4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы');
  writeln(fl, ' при различных угловых скоростях шнека');

  while i < 0.35 do begin
    t := 2*(Cos(a+ArcTan(f))/Sin(a+ArcTan(a)))+2*(Sin(a)/Cos(a));
    e := (t-Sin(a)/Cos(a)- Sqrt(Sqr(Sin(a)/Cos(a))+ 2*g*t/(k*i*Sqr(w))))/t;
    v := w*i*(Sin(a)/Cos(a))*e;
    writeln(fl, 'i=', i, 'e=', e, 'v=', v, 'w=', w);
    i := i + 0.05;
  end;
  close(fl);
End.

```

4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы

при различных угловых скоростях шнека

$i = 5.0000000000E-02$ $e = 2.9730589958E-01$ $v = 8.1482182994E-02$ $w = 2.0000000000E+01$,

$i = 1.0000000000E-01$ $e = 4.8101073654E-01$ $v = 2.6365978551E-01$ $w = 2.0000000000E+01$

$i = 1.5000000000E-01$ $e = 5.6193329822E-01$ $v = 4.6202465442E-01$ $w = 2.0000000000E+01$

$i = 2.0000000000E-01$ $e = 6.0990749862E-01$ $v = 6.6862574180E-01$ $w = 2.0000000000E+01$

$i = 2.5000000000E-01$ $e = 6.4246978091E-01$ $v = 8.8040365716E-01$ $w = 2.0000000000E+01$

$i = 3.0000000000E-01$ $e = 6.6637813430E-01$ $v = 1.0957995484E+00$ $w = 2.0000000000E+01$

4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы

при различных угловых скоростях шнека

$i = 5.0000000000E-02$ $e = 4.2286109663E-01$ $v = 1.4486613495E-01$ $w = 2.5000000000E+01$ ' ,

$i = 1.0000000000E-01$ $e = 5.6918382314E-01$ $v = 3.8998839663E-01$ $w = 2.5000000000E+01$

$i = 1.5000000000E-01$ $e = 6.3344023041E-01$ $v = 6.5102256014E-01$ $w = 2.5000000000E+01$

$i = 2.0000000000E-01$ $e = 6.7142189070E-01$ $v = 9.2007796417E-01$ $w = 2.5000000000E+01$

$i = 2.5000000000E-01$ $e = 6.9712841907E-01$ $v = 1.1941308912E+00$ $w = 2.5000000000E+01$

$i = 3.0000000000E-01$ $e = 7.1595091915E-01$ $v = 1.4716469777E+00$ $w = 2.5000000000E+01$

4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы

при различных угловых скоростях шнека

$i = 5.0000000000E-02$ $e = 5.0627644679E-01$ $v = 2.0813164223E-01$ $w = 3.0000000000E+01$

$i = 1.0000000000E-01$ $e = 6.2756879050E-01$ $v = 5.1599051787E-01$ $w = 3.0000000000E+01$

$i = 1.5000000000E-01$ $e = 6.8063733706E-01$ $v = 8.3943565394E-01$ $w = 3.0000000000E+01$

$i = 2.0000000000E-01$ $e = 7.1189739280E-01$ $v = 1.1706519188E+00$ $w = 3.0000000000E+01$

$i = 2.5000000000E-01$ $e = 7.3298479075E-01$ $v = 1.5066603354E+00$ $w = 3.0000000000E+01$

$i = 3.0000000000E-01$ $e = 7.4837625458E-01$ $v = 1.8459572417E+00$ $w = 3.0000000000E+01$

4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы

при различных угловых скоростях шнека

$i = 5.0000000000E-02$
 $e = 5.0627644679E-01$
 $v = 2.0813164223E-01$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 1.0000000000E-01$
 $e = 6.2756879050E-01$
 $v = 5.1599051787E-01$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 1.5000000000E-01$
 $e = 6.8063733706E-01$
 $v = 8.3943565394E-01$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$
 $e = 7.1189739280E-01$
 $v = 1.1706519188E+00$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 2.5000000000E-01$
 $e = 7.3298479075E-01$
 $v = 1.5066603354E+00$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$
 $e = 7.4837625458E-01$
 $v = 1.8459572417E+00$
 $w = 3.0000000000E+01$

4 Влияние радиуса шнека на осевую скорость частицы
при различных угловых скоростях шнека

$i = 5.0000000000E-02$
 $e = 5.0627644679E-01$
 $v = 2.0813164223E-01$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 1.0000000000E-01$
 $e = 6.2756879050E-01$
 $v = 5.1599051787E-01$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 1.5000000000E-01$
 $e = 6.8063733706E-01$
 $v = 8.3943565394E-01$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$
 $e = 7.1189739280E-01$
 $v = 1.1706519188E+00$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 2.5000000000E-01$
 $e = 7.3298479075E-01$
 $v = 1.5066603354E+00$
 $w = 3.0000000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$
 $e = 7.4837625458E-01$
 $v = 1.8459572417E+00$
 $w = 3.0000000000E+01$

{ 5 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о шнек при различных углах подъема винтовой линии }

```

Var
  i,w,g,r,a,f: real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  w := 31.4;
  a := 0.3896;
  f := 0.6;
  assign(fl, '\rkr.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl, '5 Изменение критического радиуса шнека в');
  writeln(fl, ' зависимости от коэффициента трения мате-');
  writeln(fl, ' риала о шнек при различных углах подъема');
  writeln(fl, ' винтовой линии');

  while i < 1.1 do begin
    r := g*sin(a+arctan(i))/cos(a+arctan(i))/(f*sqr(w));
    writeln(fl, ' a ', a, ' i = ', i, ' r = ', r);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
End.

```

5 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о шнек при различных углах подъема винтовой линии

а 1.3520000000E-01 i = 1.0000000000E-01 r = 3.9680179630E-03
 а 1.3520000000E-01 i = 2.0000000000E-01 r = 5.7281635995E-03
 а 1.3520000000E-01 i = 3.0000000000E-01 r = 7.5382330414E-03
 а 1.3520000000E-01 i = 4.0000000000E-01 r = 9.4003808612E-03
 а 1.3520000000E-01 i = 5.0000000000E-01 r = 1.1316887422E-02
 а 1.3520000000E-01 i = 6.0000000000E-01 r = 1.3290168192E-02
 а 1.3520000000E-01 i = 7.0000000000E-01 r = 1.5322783903E-02
 а 1.3520000000E-01 i = 8.0000000000E-01 r = 1.7417451635E-02
 а 1.3520000000E-01 i = 9.0000000000E-01 r = 1.9577056933E-02
 а 1.3520000000E-01 i = 1.0000000000E+00 r = 2.1804667074E-02

5 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о шнек при различных углах подъема винтовой линии

а 2.6750000000E-01 i = 1.0000000000E-01 r = 6.3779101507E-03
 а 2.6750000000E-01 i = 2.0000000000E-01 r = 8.3172957657E-03
 а 2.6750000000E-01 i = 3.0000000000E-01 r = 1.0372509756E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 4.0000000000E-01 r = 1.2554248176E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 5.0000000000E-01 r = 1.4874565857E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 6.0000000000E-01 r = 1.7347099259E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 7.0000000000E-01 r = 1.9987334649E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 8.0000000000E-01 r = 2.2812932784E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 9.0000000000E-01 r = 2.5844124450E-02
 а 2.6750000000E-01 i = 1.0000000000E+00 r = 2.9104195608E-02

5 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о шнек при различных углах подъема винтовой линии

а 3.8960000000E-01 i = 1.0000000000E-01 r = 8.8295090061E-03
 а 3.8960000000E-01 i = 2.0000000000E-01 r = 1.1031109713E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 3.0000000000E-01 r = 1.3438897694E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 4.0000000000E-01 r = 1.6083261118E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 5.0000000000E-01 r = 1.9000868210E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 6.0000000000E-01 r = 2.2236377939E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 7.0000000000E-01 r = 2.5844742114E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 8.0000000000E-01 r = 2.9894352018E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 9.0000000000E-01 r = 3.4471414552E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 1.0000000000E+00 r = 3.9686157466E-02

5 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о шнек при различных углах подъема винтовой линии

а 3.8960000000E-01 i = 1.0000000000E-01 r = 8.8295090061E-03
 а 3.8960000000E-01 i = 2.0000000000E-01 r = 1.1031109713E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 3.0000000000E-01 r = 1.3438897694E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 4.0000000000E-01 r = 1.6083261118E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 5.0000000000E-01 r = 1.9000868210E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 6.0000000000E-01 r = 2.2236377939E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 7.0000000000E-01 r = 2.5844742114E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 8.0000000000E-01 r = 2.9894352018E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 9.0000000000E-01 r = 3.4471414552E-02
 а 3.8960000000E-01 i = 1.0000000000E+00 r = 3.9686157466E-02

{6 Изменение критического радиуса шнека в зависимости
от коэффициента трения материала о кожух при раз-
личных углах подъема винтовой линии }

```
Var
  i,w,g,r,a,f: real;
  fl: Text;
Begin
  assign(fl, '\rkr2.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  w := 31.4;
  a := 0.3896;
  f := 0.2;
  writeln(fl, '6 Изменение критического радиуса шнека в зависимости');
  writeln(fl, ' от коэффициента трения материала о кожух при раз-');
  writeln(fl, ' личных углах подъема винтовой линии');
  while i < 1.1 do begin
    r := g*sin(a+arctan(i))/cos(a+arctan(i))/(f*sqr(w));
    writeln(fl, ' a = ', a, ' i = ', i, ' r = ', r);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
End.
```

6 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о кожух при различных углах подъема винтовой линии

$a = 1.3520000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $r = 1.1904053889E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $r = 1.7184490799E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $r = 2.2614699124E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $r = 2.8201142584E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $r = 3.3950662265E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $r = 3.9870504576E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $r = 4.5968351709E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $r = 5.2252354904E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $r = 5.8731170800E-02$
 $a = 1.3520000000E-01$ $i = 1.0000000000E+00$ $r = 6.5414001223E-02$

6 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о кожух при различных углах подъема винтовой линии

$a = 2.6750000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $r = 1.9133730452E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $r = 2.4951887297E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $r = 3.1117529269E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $r = 3.7662744527E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $r = 4.4623697572E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $r = 5.2041297776E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $r = 5.9962003948E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $r = 6.8438798353E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $r = 7.7532373350E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 1.0000000000E+00$ $r = 8.7312586825E-02$

6 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о кожух при различных углах подъема винтовой линии

$a = 2.6750000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $r = 1.9133730452E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $r = 2.4951887297E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $r = 3.1117529269E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $r = 3.7662744527E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $r = 4.4623697572E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $r = 5.2041297776E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $r = 5.9962003948E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $r = 6.8438798353E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $r = 7.7532373350E-02$
 $a = 2.6750000000E-01$ $i = 1.0000000000E+00$ $r = 8.7312586825E-02$

6 Изменение критического радиуса шнека в зависимости от коэффициента трения материала о кожух при различных углах подъема винтовой линии

$a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $r = 2.6488527018E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $r = 3.3093329140E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $r = 4.0316693083E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $r = 4.8249783355E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $r = 5.7002604631E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $r = 6.6709133816E-02$

$a = 3.8960000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $r = 7.7534226342E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $r = 8.9683056053E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $r = 1.0341424366E-01$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E+00$ $r = 1.1905847240E-01$

б Изменение критического радиуса шнека в зависимости
 от коэффициента трения материала о кожух при раз-
 личных углах подъема винтовой линии

$a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E-01$ $r = 2.6488527018E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 2.0000000000E-01$ $r = 3.3093329140E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 3.0000000000E-01$ $r = 4.0316693083E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 4.0000000000E-01$ $r = 4.8249783355E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 5.0000000000E-01$ $r = 5.7002604631E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 6.0000000000E-01$ $r = 6.6709133816E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 7.0000000000E-01$ $r = 7.7534226342E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 8.0000000000E-01$ $r = 8.9683056053E-02$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 9.0000000000E-01$ $r = 1.0341424366E-01$
 $a = 3.8960000000E-01$ $i = 1.0000000000E+00$ $r = 1.1905847240E-01$

{ 7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость
транспортирования частицы при различных частотах
вращения щетка }

```

Var
  i,k,t,v,w,g,f,r,e : real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1744;
  g := 9.81;
  w := 25.12;
  k := 0.6;
  r := 0.15;
  f := 0.2;
  assign(fl,'.\vz.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl,'7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость');
  writeln(fl,' транспортирования частицы при различных частотах');
  writeln(fl,' вращения щетка');
  while i < 0.9 do begin
    t := 2*(Cos(i+ArcTan(f))/Sin(i+ArcTan(i)))+2*(Sin(i)/Cos(i));
    e :=(t-Sin(i)/Cos(i)-Sqrt(Sqr(Sin(i)/Cos(i))+2*g*t/(r*k*Sqr(w))))/t;
    v := w*r*(Sin(i)/Cos(i))*e;
    writeln(fl,'i=',i,' e=',e,' v=',v,' w=',w);
    i := i + 0.1744;
  end;
  close(fl);
End.

```

7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования частицы

при различных частотах вращения щнека

$i=1.7440000000E-01$ $e=8.6783359070E-01$ $v=1.4403513096E+00$ $w=6.2800000000E+01$

$i=3.4880000000E-01$ $e=7.2861123127E-01$ $v=2.4960499902E+00$ $w=6.2800000000E+01$

$i=5.2320000000E-01$ $e=5.6357976663E-01$ $v=3.0622850922E+00$ $w=6.2800000000E+01$

$i=6.9760000000E-01$ $e=4.0476532649E-01$ $v=3.1959408833E+00$ $w=6.2800000000E+01$

$i=8.7200000000E-01$ $e=2.6520253925E-01$ $v=2.9732328791E+00$ $w=6.2800000000E+01$

7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования частицы

при различных частотах вращения щнека

$i=1.7440000000E-01$ $e=8.4437799054E-01$ $v=1.1211374692E+00$ $w=5.0240000000E+01$

$i=3.4880000000E-01$ $e=7.0316672603E-01$ $v=1.9271064999E+00$ $w=5.0240000000E+01$

$i=5.2320000000E-01$ $e=5.4241444817E-01$ $v=2.3578244313E+00$ $w=5.0240000000E+01$

$i=6.9760000000E-01$ $e=3.8849056193E-01$ $v=2.4539510445E+00$ $w=5.0240000000E+01$

$i=8.7200000000E-01$ $e=2.5310961949E-01$ $v=2.2701256023E+00$ $w=5.0240000000E+01$

7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования частицы

при различных частотах вращения щнека

$i=1.7440000000E-01$ $e=8.0471412988E-01$ $v=8.0135481959E-01$ $w=3.7680000000E+01$

$i=3.4880000000E-01$ $e=6.5735750920E-01$ $v=1.3511709405E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=5.2320000000E-01$ $e=5.0171499093E-01$ $v=1.6356807979E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=6.9760000000E-01$ $e=3.5581723555E-01$ $v=1.6856743041E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=8.7200000000E-01$ $e=2.2818233236E-01$ $v=1.5349156496E+00$ $w=3.7680000000E+01$

7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования частицы

при различных частотах вращения щнека

$i=1.7440000000E-01$ $e=7.2449601802E-01$ $v=4.8098105423E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=3.4880000000E-01$ $e=5.5941276011E-01$ $v=7.6656639615E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=5.2320000000E-01$ $e=4.0787188046E-01$ $v=8.8649029155E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=6.9760000000E-01$ $e=2.7556632224E-01$ $v=8.7032521579E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=8.7200000000E-01$ $e=1.6404509355E-01$ $v=7.3565549888E-01$ $w=2.5120000000E+01$

7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования частицы

при различных частотах вращения щека

$i=1.7440000000E-01$ $e=7.2449601802E-01$ $v=4.8098105423E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=3.4880000000E-01$ $e=5.5941276011E-01$ $v=7.6656639615E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=5.2320000000E-01$ $e=4.0787188046E-01$ $v=8.8649029155E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=6.9760000000E-01$ $e=2.7556632224E-01$ $v=8.7032521579E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=8.7200000000E-01$ $e=1.6404509355E-01$ $v=7.3565549888E-01$ $w=2.5120000000E+01$

7 Влияние угла подъема винтовой линии на скорость транспортирования частицы

при различных частотах вращения щека

$i=1.7440000000E-01$ $e=7.2449601802E-01$ $v=4.8098105423E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=3.4880000000E-01$ $e=5.5941276011E-01$ $v=7.6656639615E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=5.2320000000E-01$ $e=4.0787188046E-01$ $v=8.8649029155E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=6.9760000000E-01$ $e=2.7556632224E-01$ $v=8.7032521579E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=8.7200000000E-01$ $e=1.6404509355E-01$ $v=7.3565549888E-01$ $w=2.5120000000E+01$

{8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на
 скорость транспортирования при различных частотах
 его вращения }

1

```

Var
  i,a,t,v,w,g,k,r,e : real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  w := 25.12;
  a := 0.2675;
  r := 0.15;
  k := 0.6;
  assign(fl,'.\vz1f.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl,'8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на');
  writeln(fl,' скорость транспортирования при различных частотах');
  writeln(fl,' его вращения');

  while i < 1.1 do begin
    t := 2*(Cos(a+ArcTan(i))/Sin(a+ArcTan(i)))+2*(Sin(a)/Cos(a));
    e := (t-Sin(a)/Cos(a)-Sqrt(Sqr(Sin(a)/Cos(a))+2*g*t/(r*k*Sqr(w))))/t;
    v := w*r*(Sin(a)/Cos(a))*e;
    writeln(fl,'i=',i,' e=',e,' v=',v);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
End.

```

1

8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на скорость транспортирования

при различных частотах его вращения

i= 1.0000000000E-01	e= 8.4328221030E-01	v= 2.1771230203E+00
i= 2.0000000000E-01	e= 8.1372563799E-01	v= 2.1008160697E+00
i= 3.0000000000E-01	e= 7.8501366085E-01	v= 2.0266896318E+00
i= 4.0000000000E-01	e= 7.5688871577E-01	v= 1.9540787494E+00
i= 5.0000000000E-01	e= 7.2919339846E-01	v= 1.8825770479E+00
i= 6.0000000000E-01	e= 7.0182451474E-01	v= 1.8119181083E+00
i= 7.0000000000E-01	e= 6.7471085484E-01	v= 1.7419180864E+00
i= 8.0000000000E-01	e= 6.4780131652E-01	v= 1.6724450505E+00
i= 9.0000000000E-01	e= 6.2105807097E-01	v= 1.6034013367E+00
i= 1.0000000000E+00	e= 5.9445239851E-01	v= 1.5347127989E+00

8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на скорость транспортирования

при различных частотах его вращения

i= 1.0000000000E-01	e= 8.2079696843E-01	v= 1.6952578419E+00
i= 2.0000000000E-01	e= 7.8893237821E-01	v= 1.6294453468E+00
i= 3.0000000000E-01	e= 7.5826817225E-01	v= 1.5661121017E+00
i= 4.0000000000E-01	e= 7.2845641215E-01	v= 1.5045394814E+00
i= 5.0000000000E-01	e= 6.9928098859E-01	v= 1.4442811380E+00
i= 6.0000000000E-01	e= 6.7059797846E-01	v= 1.3850398155E+00
i= 7.0000000000E-01	e= 6.4230655107E-01	v= 1.3266072604E+00
i= 8.0000000000E-01	e= 6.1433328540E-01	v= 1.2688318301E+00
i= 9.0000000000E-01	e= 5.8662306562E-01	v= 1.2115996897E+00
i= 1.0000000000E+00	e= 5.5913348297E-01	v= 1.1548232488E+00

8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на скорость транспортирования

при различных частотах его вращения

i= 1.0000000000E-01	e= 7.8207139150E-01	v= 1.2114561003E+00
i= 2.0000000000E-01	e= 7.4591632049E-01	v= 1.1554506233E+00
i= 3.0000000000E-01	e= 7.1154462022E-01	v= 1.1022076503E+00
i= 4.0000000000E-01	e= 6.7846473045E-01	v= 1.0509657373E+00
i= 5.0000000000E-01	e= 6.4636739742E-01	v= 1.0012458391E+00
i= 6.0000000000E-01	e= 6.1504401700E-01	v= 9.5272482086E-01
i= 7.0000000000E-01	e= 5.8434657834E-01	v= 9.0517340838E-01
i= 8.0000000000E-01	e= 5.5416594589E-01	v= 8.5842254689E-01
i= 9.0000000000E-01	e= 5.2441917525E-01	v= 8.1234375261E-01
i= 1.0000000000E+00	e= 4.9504166556E-01	v= 7.6683695654E-01

8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на скорость транспортирования

при различных частотах его вращения

i= 1.0000000000E-01	e= 7.0257206094E-01	v= 7.2553922689E-01
i= 2.0000000000E-01	e= 6.5705179431E-01	v= 6.7853089722E-01
i= 3.0000000000E-01	e= 6.1443643100E-01	v= 6.3452243251E-01

i
i= 4.0000000000E-01 e= 5.7395978957E-01 v= 5.9272260476E-01
i= 5.0000000000E-01 e= 5.3513568282E-01 v= 5.5262933324E-01
i= 6.0000000000E-01 e= 4.9763328335E-01 v= 5.1390097578E-01
i= 7.0000000000E-01 e= 4.6121577697E-01 v= 4.7629297670E-01

i= 8.0000000000E-01 e= 4.2570698624E-01 v= 4.3962339929E-01
i= 9.0000000000E-01 e= 3.9097180816E-01 v= 4.0375272402E-01
i= 1.0000000000E+00 e= 3.5690406717E-01 v= 3.6857130444E-01

8 Влияние коэффициента трения материала о шнек на скорость транспортирования

при различных частотах его вращения

i= 1.0000000000E-01 e= 7.0257206094E-01 v= 7.2553922689E-01
i= 2.0000000000E-01 e= 6.5705179431E-01 v= 6.7853089722E-01
i= 3.0000000000E-01 e= 6.1443643100E-01 v= 6.3452243251E-01
i= 4.0000000000E-01 e= 5.7395978957E-01 v= 5.9272260476E-01
i= 5.0000000000E-01 e= 5.3513568282E-01 v= 5.5262933324E-01
i= 6.0000000000E-01 e= 4.9763328335E-01 v= 5.1390097578E-01
i= 7.0000000000E-01 e= 4.6121577697E-01 v= 4.7629297670E-01
i= 8.0000000000E-01 e= 4.2570698624E-01 v= 4.3962339929E-01
i= 9.0000000000E-01 e= 3.9097180816E-01 v= 4.0375272402E-01
i= 1.0000000000E+00 e= 3.5690406717E-01 v= 3.6857130444E-01

{ 9 Влияние коэффициента трения материала о кожух
на скорость транспортирования при различных
частотах вращения шнека }

```
Var
  i,a,t,v,w,g,f,r,e : real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  w := 25.12;
  a := 0.2675;
  r := 0.15;
  f := 0.4;
  assign(fl,' \vzk.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl,'9 Влияние коэффициента трения материала о кожух');
  writeln(fl,' на скорость транспортирования при различных');
  writeln(fl,' частотах вращения шнека');

  while i < 1.1 do begin
    t := 2*(Cos(a+ArcTan(f))/Sin(a+ArcTan(a)))+2*(Sin(a)/Cos(a));
    e := (t-Sin(a)/Cos(a)-Sqrt(Sqr(Sin(a)/Cos(a))+2*g/(r*i*Sqr(w))))/t;
    v := w*r*(Sin(a)/Cos(a))*e;
    writeln(fl,' i=',i,' e=',e,' v=',v,' w=',w);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
```

9 Влияние коэффициента трения материала о кожу
на скорость транспортирования при различных
частотах вращения шнека

i=1.0000000000E-01 e=7.5411303939E-01 v=1.9469127155E+00 w=6.2800000000E+01
i=2.0000000000E-01 e=7.9373281575E-01 v=2.0492000946E+00 w=6.2800000000E+01
i=3.0000000000E-01 e=8.0990376432E-01 v=2.0909490417E+00 w=6.2800000000E+01
i=4.0000000000E-01 e=8.1890016654E-01 v=2.1141752810E+00 w=6.2800000000E+01
i=5.0000000000E-01 e=8.2468035445E-01 v=2.1290981383E+00 w=6.2800000000E+01
i=6.0000000000E-01 e=8.2872425171E-01 v=2.1395383702E+00 w=6.2800000000E+01
i=7.0000000000E-01 e=8.3171877651E-01 v=2.1472694107E+00 w=6.2800000000E+01
i=8.0000000000E-01 e=8.3402856551E-01 v=2.1532326514E+00 w=6.2800000000E+01
i=9.0000000000E-01 e=8.3586593757E-01 v=2.1579762413E+00 w=6.2800000000E+01
i=1.0000000000E+00 e=8.3736322425E-01 v=2.1618418242E+00 w=6.2800000000E+01 ,

9 Влияние коэффициента трения материала о кожу
на скорость транспортирования при различных
частотах вращения шнека

i=1.0000000000E-01 e=7.1838580239E-01 v=1.4837398429E+00 w=5.0240000000E+01
i=2.0000000000E-01 e=7.7020273791E-01 v=1.5907615178E+00 w=5.0240000000E+01
i=3.0000000000E-01 e=7.9184833861E-01 v=1.6354679138E+00 w=5.0240000000E+01
i=4.0000000000E-01 e=8.0410298147E-01 v=1.6607784111E+00 w=5.0240000000E+01
i=5.0000000000E-01 e=8.1208629236E-01 v=1.6772669837E+00 w=5.0240000000E+01
i=6.0000000000E-01 e=8.1773476225E-01 v=1.6889332218E+00 w=5.0240000000E+01
i=7.0000000000E-01 e=8.2195678939E-01 v=1.6976533132E+00 w=5.0240000000E+01
i=8.0000000000E-01 e=8.2523922961E-01 v=1.7044328004E+00 w=5.0240000000E+01
i=9.0000000000E-01 e=8.2786804320E-01 v=1.7098623000E+00 w=5.0240000000E+01

$i=1.0000000000E+00$ $e=8.3002287076E-01$ $v=1.7143128383E+00$ $w=5.0240000000E+01$

9 Влияние коэффициента трения материала о кожу

на скорость транспортирования при различных частотах вращения шнека

$i=1.0000000000E-01$ $e=6.5692792239E-01$ $v=1.0176044639E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=2.0000000000E-01$ $e=7.2872153720E-01$ $v=1.1288152991E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=3.0000000000E-01$ $e=7.5938742200E-01$ $v=1.1763178335E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=4.0000000000E-01$ $e=7.7706820231E-01$ $v=1.2037059842E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=5.0000000000E-01$ $e=7.8876499610E-01$ $v=1.2218247293E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=6.0000000000E-01$ $e=7.9715098162E-01$ $v=1.2348149159E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=7.0000000000E-01$ $e=8.0349164867E-01$ $v=1.2446368323E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=8.0000000000E-01$ $e=8.0847124176E-01$ $v=1.2523503972E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=9.0000000000E-01$ $e=8.1249506565E-01$ $v=1.2585834419E+00$ $w=3.7680000000E+01$

$i=1.0000000000E+00$ $e=8.1581978743E-01$ $v=1.2637335530E+00$ $w=3.7680000000E+01$

9 Влияние коэффициента трения материала о кожу

на скорость транспортирования при различных частотах вращения шнека

$i=1.0000000000E-01$ $e=5.3088926258E-01$ $v=5.4824409701E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=2.0000000000E-01$ $e=6.4179836296E-01$ $v=6.6277882935E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=3.0000000000E-01$ $e=6.9007890806E-01$ $v=7.1263767132E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=4.0000000000E-01$ $e=7.1838580239E-01$ $v=7.4186992147E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=5.0000000000E-01$ $e=7.3739729768E-01$ $v=7.6150290485E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=6.0000000000E-01$ $e=7.5121609154E-01$ $v=7.7577343676E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=7.0000000000E-01$ $e=7.6179671526E-01$ $v=7.8669994234E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=8.0000000000E-01$ $e=7.7020273791E-01$ $v=7.9538075890E-01$ $w=2.5120000000E+01$

$i=9.0000000000E-01$ $e=7.7706820231E-01$ $v=8.0247065616E-01$ $w=2.5120000000E+01$

i=1.0000000000E+00 e=7.8279720510E-01 v=8.0838694075E-01 w=
2.5120000000E+01

9 Влияние коэффициента трения материала о кожух на скорость
транспортирования при различных частотах вращения шнека

i=1.0000000000E-01 e=5.3088926258E-01 v=5.4824409701E-01 w=
2.5120000000E+01 ,

i=2.0000000000E-01 e=6.4179836296E-01 v=6.6277882935E-01 w=
2.5120000000E+01

i=3.0000000000E-01 e=6.9007890806E-01 v=7.1263767132E-01 w=
2.5120000000E+01

i=4.0000000000E-01 e=7.1838580239E-01 v=7.4186992147E-01 w=
2.5120000000E+01

i=5.0000000000E-01 e=7.3739729768E-01 v=7.6150290485E-01 w=
2.5120000000E+01

i=6.0000000000E-01 e=7.5121609154E-01 v=7.7577343676E-01 w=
2.5120000000E+01

i=7.0000000000E-01 e=7.6179671526E-01 v=7.8669994234E-01 w=
2.5120000000E+01

i=8.0000000000E-01 e=7.7020273791E-01 v=7.9538075890E-01 w=
2.5120000000E+01

i=9.0000000000E-01 e=7.7706820231E-01 v=8.0247065616E-01 w=
2.5120000000E+01

i=1.0000000000E+00 e=7.8279720510E-01 v=8.0838694075E-01 w=
2.5120000000E+01

```

      { 10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух
        и шнек на коэффициент проскальзывания }
var
  i,a,t,w,g,f,r,k1 : real;
  fl: Text;
Begin
  i := 0.1;
  g := 9.81;
  w := 31.4;
  a := 0.2675;
  r := 0.1;
  f := 0.6;
  assign(fl,'.k1.txt');
  {$I-}
  append(fl);
  {$I+}
  if IOResult <> 0 then
    rewrite(fl);
  writeln(fl,'10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух');
  writeln(fl,' и шнек на коэффициент проскальзывания');
  while i < 1.1 do begin
    t := 2*(Cos(a+ArcTan(f))/Sin(a+ArcTan(f)))+2*(Sin(a)/Cos(a));
    k1 :=(t-Sin(a)/Cos(a)-Sqrt(Sqr(Sin(a)/Cos(a))+2*g*t/(r*i*Sqr(w))))/t;
    writeln(fl,'i = ',i,' k1 = ',k1,' w = ',w);
    i := i + 0.1;
  end;
  close(fl);
End.

```

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = 2.7445834313E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 4.6732968437E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 5.5241336345E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 6.0292476335E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 6.3725574475E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 6.6249625169E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 6.8203528464E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 6.9772326986E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 7.1066715429E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 7.2157491764E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = 1.1960090014E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 3.4902393544E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 4.5005527574E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 5.0993362032E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 5.5056447650E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.8038895684E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 6.0344035046E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 6.2192001160E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 6.3714429851E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 6.4995479149E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

$i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожух

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

$i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

10 Влияние коэффициентов трения материала о кожу

и шнек на коэффициент проскальзывания

$i = 1.0000000000E-01$ $k1 = -1.7677813936E-02$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 2.0000000000E-01$ $k1 = 2.4293818037E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 3.0000000000E-01$ $k1 = 3.5750811535E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 4.0000000000E-01$ $k1 = 4.2529869072E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 5.0000000000E-01$ $k1 = 4.7122520848E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 6.0000000000E-01$ $k1 = 5.0488473560E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 7.0000000000E-01$ $k1 = 5.3086106427E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 8.0000000000E-01$ $k1 = 5.5165500592E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 9.0000000000E-01$ $k1 = 5.6876137916E-01$ $w = 3.1400000000E+01$
 $i = 1.0000000000E+00$ $k1 = 5.8313546448E-01$ $w = 3.1400000000E+01$

I

I

**П. III АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ УЧЕБНИКОВ И УЧЕБНЫХ
ПОСОБИЙ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС**

I

I

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

«УТВЕРЖДАЮ»

Министерство образования России



Проректор по учебной и
методической работе

С.П.Петросов

04 2001 г.

Гербовый бланк

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 02 - 2001

Расчет, проектирование и эксплуатация подъемно-транспортных машин

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(учебное пособие для вузов с грифом УМО)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам изучить подъемно-транспортное оборудование, предназначенное для механизации погрузочно-разгрузочных работ и перемещении различных грузов на предприятиях автосервиса, авторемонтных заводах, а также при ремонте бытовой техники.

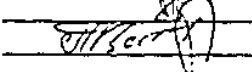
2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 1999 г. при проведении лекционных, лабораторных и практических занятий по курсу «Подъемные устройства в автосервисе и авторемонте» для студентов спец. 230100 «Эксплуатация и обслуживание транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт)».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

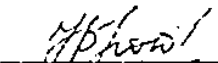
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				1999 г.	2001 г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс. пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

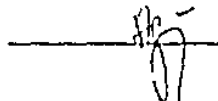
№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капвложения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	Тыс руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс.руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.
 д.т.н., проф. Каплин Л.А.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
 Зав.кафедрой

 Адигамов К.А.

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

Министерство образования России

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор по учебной и
методической работе

С.П.Петросов

04 2001 г.

Гербовый знак

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 03-2001

Курсовое проектирование деталей машин

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(учебное пособие)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам изучить методики расчета зубчатых, червячных, цепных и ременных передач, расчета валов и подшипников, ознакомиться с примерами расчета наиболее часто встречаемых в курсовом проектировании механических передач.

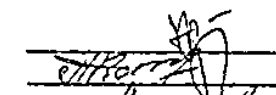
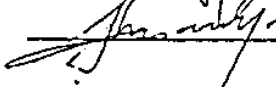
2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 1996 г. при проведении практических занятий по курсам «Детали машин», «Прикладная механика» для студентов спец. 230300 «Бытовые машины и приборы», спец. 230100 «Эксплуатация и обслуживание транспортных и технологических машин (автомобильный транспорт)».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

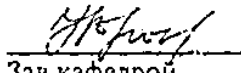
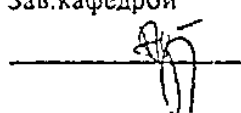
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				1996 г.	2001 г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс.пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капитальные вложения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	тыс.руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс.руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс.руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.
 д.т.н., проф. Каплин Л.А.
 доц. Бондарев В.И.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
 Зав.кафедрой
 Адигамов К.А.

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

«УТВЕРЖДАЮ»

Министерство образования России



Гербовая печать

Проректор по учебной и
методической работе
С.П.Петросов

04 2001 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 04-2001

Прикладная механика

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(учебное пособие для вузов)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам получить более полное представление о структуре и содержании курса «Прикладная механика», так как содержит достаточно много поясняющих и графических материалов, отсутствующих в других изданиях по данному предмету.

2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 2000 г. при проведении лекционных и лабораторных занятий по курсу «Прикладная механика» для студентов спец. 281100 «Технология изделий из кожи», спец. 281200 «Конструирование изделий из кожи».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

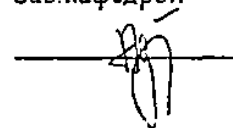
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				2000 г.	2001 г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс. пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капиталожения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	Тыс руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.
 д.т.н., проф. Каплин Л.А.
 к.т.н., доц. Жданова О. В.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
 Зав. кафедрой
 Адигамов К.А.

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

Министерство образования России

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор по учебной и
методической работе
С.П.Петросов

04 2001 г.

Гербовая печать

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 05-2001

Вакуумно-сорбционное увлажнение заготовок верха обуви

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(монография)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам углубленно изучить процессы увлажнения деталей обуви, разобраться в сущности вакуумно-сорбционного увлажнения, изучить отечественное и зарубежное оборудование, предназначенное для реализации процессов увлажнения.

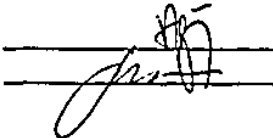
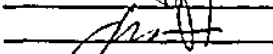
2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 2000 г. при проведении лекционных и лабораторных занятий по курсу «Машины и аппараты обувного производства» для студентов спец. 281100 «Технология изделий из кожи», спец. 281200 «Конструирование изделий из кожи».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

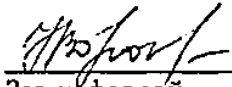
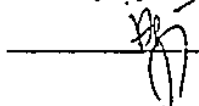
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				2000 г.	2001г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс.пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капитальные вложения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	Тыс.руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс.руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс.руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.
 к.т.н., доц. Ларина Л.В.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
 Зав.кафедрой
 Адигамов К.А.

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

Министерство образования России

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор по учебной и
методической работе
С.П.Петросов

04 2001 г.

Гербовая печать

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 06-2001

Расчет электротали со встроенным электродвигателем

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(учебное пособие)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам изучить методику расчета электротали со встроенным электродвигателем.

2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 2000 г. при проведении практических занятий по курсу «Подъемные устройства в автосервисе и авторемонте» для студентов спец. 230100 «Эксплуатация и обслуживание транспортных и технологических машин (автомобильный транспорт)».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

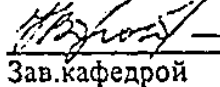
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				2000 г.	2001 г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс. пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капиталовложения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	Тыс.руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс.руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс.руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
Зав.кафедрой

 Адигамов К.А.

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

Министерство образования России

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по учебной и
методической работе
С.П.Петросов

04 2001 г.

Гербовая печать

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 07-2001

Оборудование для ремонта и пошива обуви

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(учебник)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам изучить технологическое оборудование, предназначенное для ремонта и изготовления обуви, а также ознакомиться с лабораторным оборудованием предприятий по ремонту и пошиву обуви.

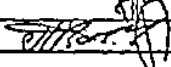
2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 1994 г. при проведении лекционных и лабораторных занятий по курсу «Машины и аппараты обувного производства» для студентов спец. 281100 «Технология изделий из кожи», спец. 281200 «Конструирование изделий из кожи».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

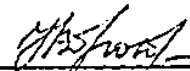
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				1994 г.	2001 г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс. пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капитальные вложения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	Тыс.руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс.руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс.руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.
 д.т.н., проф. Каплин Л.А.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
 Зав.кафедрой

 Адигамов К.А.

Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса

Министерство образования России

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор по учебной и
методической работе
С.П.Петросов

04 2001 г.

Гербовая печать

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ № 08-2001

Оборудование и методы испытаний обуви и обувных материалов

Наименование мероприятия (шифр, если включено в план по внедрению) или результаты научной, конструкторской, проектной разработки

(учебное пособие)

1. Преимущества внедренного мероприятия (увеличение объема производства услуг, продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов, улучшение качества услуг, продукции и др.) позволяет студентам изучить оборудование и методы испытаний обуви и обувных материалов, применяемые на предприятиях по ремонту и пошиву обуви.

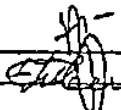
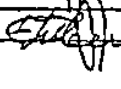
2. Начало(квартал, год) и период использования результатов внедрения мероприятия в отчетном году (указать кварталы, месяцы) используется с 1992 г. при проведении лекционных и лабораторных занятий по курсу «Стандартизация и сертификация продукции» для студентов спец. 281100 «Технология изделий из кожи», спец. 281200 «Конструирование изделий из кожи».

3. Таблица основных показателей, характеризующих результаты внедрения мероприятия

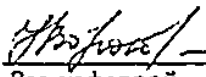
№	Наименование показателей	№ строки	Единицы измерения	Значение показателей в	
				1992 г.	2001 г.
	А	Б	В	1	2
1.	Объем работ, выполненных с использованием внедренного мероприятия (количество отремонтированной бытовой техники, обуви, обработанной одежды, изготовленных изделий, предприятий, цехов, ателье, КПП, РПУ, ГПУ, на которых внедрено мероприятие; внедренных приборов, машин, установок, изделий, продукции, препаратов)	01	Ед. шт. компл. тыс. пар предпр. (цех) прибор (машина)		
2.	Текущие затраты (себестоимость) на внедрение мероприятия (стоимость сырья, материалов, топлива, электроэнергии, основная и дополнительная зарплата; отчисления, амортизация основных средств и др.)	02	Тыс. руб.		

№	А	Б	В	1	2
3.	Единовременные затраты на внедрение мероприятия, включая затраты прошлых лет (стоимость внедренного оборудования, его доставки; капитальные вложения на строительство, реконструкцию; затраты на монтаж, наладку, модернизацию и др.)	03	Тыс.руб.		
4.	Прирост прибыли от внедрения мероприятия в отчетном году	04	тыс.руб.		
5.	Экономический эффект в отчетном году	05	тыс.руб.	Социальный	Социальный
6.	Число условно высвобожденных работников от внедрения мероприятия	06	чел.		

Исполнители:

 к.т.н., проф. Адигамов К.А.
 ст. преп. Иванов Н.Ф.

Нач. УМО ЮРГУЭС

 Воронова Н.П.
 Зав.кафедрой

 Адигамов К.А.