

Майсурадзе Зураб Акакиевич

## Основы технологии черного гранулированного чая

Озургети 2010

УДК 663.952.7.001.26/57(043.3)

В настоящей работе представлен анализ физико-механических, биохимических и технологических свойств чайного листа и обоснована целесообразность его интенсивной переработки с целью получения высокоэкстрактивной продукции.

Показана методика разработки технологий производства гранулированных видов чая на основе изучения структурно-механических, реологических, когезионных, химических свойств и агрегирующих способностей мелкодисперсных масс, полученных как измельчением непосредственно чайного листа, так и из тонкодисперсных видов чайной продукции.

Оптимизация отдельных основополагающих технологических процессов основана на подборе оптимальных структурно-механических свойств гранулированных продуктов с целью обеспечения их потребительских свойств, таких как у мелкого чая. Разработана математическая модель определения размеров целевой продукции с учетом интенсивного выхода экстрактивных веществ при заваривании и при этом сохранения формы гранул.

Математическая модель исследования процесса окатывания экстрактов позволяет определить конструктивные размеры гранулятора с учетом требуемой производительности линии и максимального выхода продукта.

Показаны изменения основных качественных химических показателей сырья и характеристики продуктов в процессе разработанной технологической переработки.

Большое место уделено подбору и созданию нового оборудования для компоновки технологических линий переработки.

Разработаны технологические параметры и схемы производства черного гранулированного чая требуемых потребительских свойств, переработкой чайного листа и тонкодисперсных видов чайной продукции.

Редактор:           Алеко   Каландия  
                          Доктор биологических наук

Рецензенты : 1. Реваз   Мелкадзе  
                          Доктор технических наук  
                          2. Бахва   Долидзе  
                          Академический доктор техники

ISBN 978-9941-0-2291-3

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	4
<b>Глава 1. Обзор литературы</b>	4
1.1. Основные принципы производства черного чая	4
1.2. Основные направления интенсификации технологии черного чая	5
1.3. Основные методы гранулирования дисперсных материалов	9
1.4. Обоснование направления научного исследования	12
<b>Глава 2. Физико-механические, химические и технологические показатели чайного листа и тонкодисперсных видов готового чая</b>	12
2.1. Механический состав и химическая характеристика заготавливаемого чайного листа	12
2.2. Окислительная способность мелкодисперсных масс чайного листа	15
2.3. Целесообразность тонкого диспергирования чайного листа при производстве черного чая	19
2.4. Физико-механические и химико-органолептические характеристики тонкодисперсных видов чайной продукции	20
2.5. Влияние размеров, формы и влажности чайных частиц на их агрегирующие способности	22
<b>Глава 3. Разработка технологических схем производства горошкообразного черного чая из сырья различной кондиции</b>	30
3.1. Оценка гранулируемости и выбор методов переработки дисперсных чайных масс	30
3.2. Определение рациональных размеров гранул с учетом их окислительной способности при ферментации	32
3.3. Установление влияния геометрических размеров гранул на их прочностные характеристики при заваривании	33
3.4. Интенсивное измельчение чайного листа как метод интенсификации технологических процессов производства черного чая	36
3.5. Оптимизация процесса окатывания мелкодисперсных влажных чайных масс в барабанном грануляторе	39
3.6. Оптимизация процесса экструдирования измельченной чайной массы	42
3.7. Исследование и моделирование процесса окатывания экструдатов	44
3.8. Технологическая схема переработки чайного листа на черный гранулированный чай	47
3.9. Технологическая схема производства черного гранулированного чая из тонкодисперсных мелких видов чая	49
<b>Глава 4. Превращение основных химических веществ при производстве черного гранулированного чая</b>	56
4.1. Изменение содержания фенольных соединений	56
4.2. Изменение содержания пектиновых веществ	57
4.3. Изменение содержания свободных и связанных аминокислот	59
4.4. Изменение содержания растворимых углеводов	62
4.5. Изменение содержания хлорофилла и сопутствующих ему пигментов	63
<b>Глава 5. Качественные показатели гранулированных видов чая</b>	65
<b>Выводы</b>	69
<b>Литература</b>	70

## Введение

Постоянно растущий спрос на чай, как один из важных продуктов питания, создает необходимость изыскания резервов его производства, создания малоотходных, комплексных технологий, что невозможно без соответствующего машинно-аппаратурного перевооружения перерабатывающих предприятий, интенсификации и оптимизации технологических и пищевых достоинств продуктов черного чая, являющихся наиболее потребляемыми в нашей стране и в ближнем зарубежье.

Огромный вклад в развитие технологии и биохимии чая внесли ученые А.И. Опарин, А.Л. Курсанов, М.А. Бокучава, К.М. Джемухадзе, И.А. Хочолава, М.Н. Запрометов, Г.И. Харебава, В.Т. Гогия, Р.М. Хоперия, Р.Р. Джинджолия и др. На основе созданной впервые в мире биохимической теории производства чая / 112 / были разработаны и внедрены: метод процессов.

Разрабатываемые вновь технологии должны обеспечить улучшение качества, биологической ценности биохимического контроля чайного производства / 53,106 /, метод искусственного завяливания / 162 /, технология черного чая с применением термической обработки недоферментированного полуфабриката / 7 /, отдельная переработка чайного листа комбинированным производством черного и зеленого чая / 160,169 /. Кроме того разработаны технологии сухих и жидких чайных концентратов / 7,65 /.

Плодотворные работы ведутся по созданию новых видов чайной продукции / 66 / и Рациональному использованию отходов чайного производства / 138 /, а также применению низких температур при производстве чая / 56 /. Чрезмерный рост заготовок чайного листа в 80 годы 20 века определенно нарушил ритм развития чайных кустов, что привело к снижению содержания качественно важных веществ в листьях. Кроме того, понизилась продуктивность чайных плантаций ввиду их биологической старости. В таких условиях наиболее эффективными были разработка и внедрение технологии мелкого черного чая / 60,61,63,155,156 /. Вместе с тем, ввиду необходимости строгого поддержания размеров частиц в определенных интервалах, при производстве мелких видов чая качественные возможности сырья использовались не полностью, а в случае чрезмерного диспергирования получается большая часть продукции в виде тонкодисперсных частиц, не пользующихся спросом ввиду продолжительной мутности настоя при заваривании.

Полное разрушение клеток может быть достигнуто механическим измельчением чайного листа до мелкодисперсного состояния, что способствует максимальному извлечению клеточного сока и сокращению технологического цикла переработки чая. Однако при этом возникает необходимость придания мелкодисперсной массе определенной формы, приемлемой потребителем. Кроме того, с целью увеличения производства чая и повышения его качества большое значение имеет использование тонкодисперсных видов чайной продукции для получения потребительского продукта. Применение методов целенаправленного гранулирования для решения указанных выше проблем, позволило найти практическое их разрешение.

## Глава 1. Обзор литературы

### 1.1. Основные принципы производства черного чая

Молодые листья, собираемые с чайного куста, после прохождения последовательной технологической переработки, включающей завяливание, скручивание-измельчение, ферментацию и сушку, преобразуются в черный чай – продукт с приятным терпким вкусом, специфическим нежным ароматом, благодаря чему он наиболее популярен среди потребителей.

Целью завяливания является физическая и биохимическая подготовка чайного Материала для эффективного осуществления последующих процессов скручивания-измельчения и ферментации. Физические преобразования заключаются в приобретении листьями эластичности, уменьшении в размерах, что обусловлено понижением их влажности. При этом повышается активность ферментных систем, происходят качественные и количественные изменения белковых веществ, частичное окисление фенольных соединений, разрушение хлорофилла и др. / 7,112,123,162,224,240,243 /.

В процессе скручивания чайного листа происходят глубокие биохимические преобразования составляющих его химических соединений. Чайный лист подвергается физическим деформациям, под действием которых свертывается и приобретает характерную скрученную форму. При этом раздавливаются и разрушаются клеточные мембраны и оболочки, что способствует выделению и адсорбированию чайного сока на поверхности частиц, где он подвергается воздействию кислорода воздуха /105,112,244 /.

При разрушении клеточной структуры окислительные процессы начинают преобладать над восстановительными, паритет которых в листьях соблюдается при нормальной жизнедеятельности растений / 5,40,94 /.

Увеличение количества раздавленных клеток способствует созданию условий для наиболее эффективных превращений их содержимого, а также повышению использования качественного потенциала листа. Поэтому основной целью скручивания при производстве черного чая является максимальное раздавливание тканей листа с целью обеспечения интенсивности окислительных процессов / 156 /.

Ключевым процессом производства черного чая является ферментация, начинающаяся при разрушении клеточных структур чайных листьев. Из всех биохимических процессов, протекающих при производстве черного чая, ферментативные окислительные превращения фенольных соединений являются определяющими, так как в их результате формируются все основные свойства черного чая: цвет настоя, вкус, аромат / 89,90,221, 224 /.

Процесс сушки, осуществляемый при повышенных температурах, способствует инактивации ферментов, удалению излишней влаги, обеспечивая стойкость чая к хранению / 7,35,162 /.

В процессе высушивания подвергаются преобразованиям и различные химические соединения чайного материала, существенно важными из которых являются деградация хлорофилла, образование ароматических комплексов и др. / 86,110,132,183, 186,188,195 /.

В чае после высушивания продолжают термохимические превращения, что способствует улучшению качественных показателей продукции / 7 /.

В процессе сортирования полуфабрикат разделяется по величине чаинок, отличающихся органолептическими и структурно-механическими показателями / 30 /.

## 1.2. Основные направления интенсификации технологии черного чая

В основе производства черного чая лежат окислительные процессы, протекающие в разрушенных клетках чайного листа, в результате которых образуются вещества, обуславливающие специфичность продукта. Поэтому, основной задачей интенсификации при производстве черного чая является максимальное и одновременное разрушение анатомической целостности клеток листа с целью наиболее полного использования его потенциальных возможностей и обеспечения равномерности протекания окислительных превращений / 156,194,244 /.

Дезинтеграция клеток может быть вызвана различными повреждающими факторами: физическими, механическими, химическими, биологическими, а также различными

их сочетаниями / 40,135,144,152 /. Эти приемы обеспечивают изменение направления биохимических процессов, протекающих в свежем чайном листе, в результате чего создаются условия для развития окислительных процессов, от проведения которых зависит формирование качественных показателей готовой продукции / 185, 187, 189,190,191,223 /.

По классической технологии раздавливание клеток листьев осуществляется путем их скручивания в роллерах. При этом около 20-25% клеток остаются нераздавленными, следовательно они не участвуют в создании качественных характеристик продукта. Увеличение продолжительности скручивания с целью повышения доли раздавленных клеток, отрицательно сказывается на технико-экономических показателях производства, качества чая. Ферментация в тканях чайного листа, разрушенных в разные периоды продолжительного скручивания, начинает развиваться неодновременно, а по окончании скручивания обработанный материал оказывается неоднородно ферментированным. Причем большая его часть – переферментированной, в результате чего продукт содержит значительно меньше биологически активных веществ / 156 /.

М.А.Бокучава предложил метод термической обработки недоферментированного полуфабриката и разработал технологическую схему производства черного чая, предусматривающую укорочение скручивания завяленного листа, сушку до влажности 6-8% и термическую обработку. Указанный способ позволил значительно снизить потери фенольных соединений, тем самым повысить Р-витаминную активность продукта / 7 /. Данный технологический прием нашел широкое применение в технологии черного чая, в том числе и мелкого черного чая / 156 /.

Учитывая значение разрушения клеток чайного листа при производстве черного чая, К.М.Джемухадзе предложил метод быстрого и глубокого замораживания материала, позволяющий устранить недостатки действующей технологии / 55,56 /. В условиях низких температур образуются кристаллы льда в клетках, что приводит к одновременному и практически полному их разрушению. Предложенный метод исключает стадию завяливания, значительно интенсифицирует биохимические и технологические процессы, заметно сокращает технологический цикл.

Разработан способ переработки чайного листа, предусматривающий его термохимическую обработку 1% раствором каустической соды перед скручиванием /164 /. Щелочная обработка чайного листа за счет частичного разрушения лигнина делает материал более податливым для дальнейшей переработки, что в итоге способствует улучшению качества чая. Известен оригинальный способ производства чая, предусматривающий обработку листа газообразной углекислотой в специальной камере при повышенном давлении / 50 /. Резкое снижение давления газа до атмосферного вызывает “взрыв” клеточных оболочек чайного листа, что способствует равномерному и интенсивному протеканию окислительных процессов.

Несмотря на перспективность указанных разработок они пока не находят широкого внедрения в чаеперерабатывающей промышленности. В настоящее время для разрушения тканей чайного листа применяют главным образом механические методы, основанные на интенсификации скручивания-измельчения.

В чаепроизводящих странах мира основным направлением в области скручивания-измельчения является предельно интенсивное разрушение клеток чайного листа методом измельчения массы с целью выработки более экстрактивного мелкого черного чая. Мелкий черный чай обладает интенсивным настоем, приятным терпким вкусом, быстро экстрагируется, удобен при расфасовке и потреблении, стоек в хранении / 156,192,244 /. Вопросам повышения интенсивности обработки чайного листа и увеличения выхода мелких видов чая посвящены большое количество исследовательских работ / 60,61,63,81, 92,127,155,178,183,187,203 /. За рубежом на мелкие виды чая приходится практически вплоть до 85-90% от общего объема производимой чайной продукции.

Первым шагом на пути интенсификации процесса скручивания-ферментации и увеличения объема производства мелкого черного чая явилось усовершенствование

поверхности стола роллера с использованием рифов, баттенсов и конуса с разным углом образующей / 81 /.

Для интенсификации процесса скручивания чайного листа стали применяться соломорезки, а затем и табакорезальные машины “Легга“ в сочетании с роллерами. Однако новый период в интенсификации процесса скручивания-измельчения-ферментации и увеличения мелких видов чая наступил после создания в 1930 году Мак-Керчером машины “С.Т.С.”. Машина “С.Т.С.” состоит из двух гравированных металлических валков, вращающихся друг к другу с различными скоростями: быстроходный – 675-725 об/мин, тихоходный – 60-70 об/мин. Обработка материала осуществляется в межвалковом пространстве, которое регулируется в зависимости от скорости подачи чайного листа / 193 /. Машина “С.Т.С.” применяется как отдельно, так и в сочетании с роллерами и другими чаескручивающими устройствами. А один чаеизмельчающий агрегат могут быть объединены 2,3,4 и далее 5 машин “С.Т.С.” / 192 /. С применением машины “С.Т.С.” появилось и одноименное название метода переработки / 194 /. Завяленный чайный с остаточной влажностью 66-70% пропускается через машины “С.Т.С.” без сортировки, в результате чего он превращается в тестообразную массу с довольно высокой температурой (40-50<sup>0</sup>С), которая гранулируется окатыванием и классифицируется по размерам в барабанном грануляторе в течение 70,90, а иногда и 120 минут, в зависимости от условий производства.

Значительным достижением в развитии интенсивной технологии черного чая является машина “Роторвейн”, сконструированная Мак-Тьером / 208 /. Рабочий орган машины представляет собой винтообразный вал, функционирующий в каркасе цилиндрической формы. На валу в зоне питателя закреплен шнек, переходящий в лопасти. У места выгрузки скрученно-измельченного листа установлена торцевая крышка. В зависимости от технологической необходимости диафрагму крышки устанавливают в позиции требуемого давления. Поступающие в машину чайные листья в результате вращательного движения рабочего органа, а также под воздействием торцевой крышки растираются и измельчаются / 214 /. “Роторвейн” постоянно совершенствуется. Выпускается машина “Супервейн”, представляющая собой модификацию “Роторвейн”. В “Супервейн”-е на внутренней поверхности цилиндра установлены неподвижные выступы, усиливающие воздействие на лист / 239 /. В этих машинах лист обрабатывается в течение 1,5-2 минут. Чайный сок, выделившийся за этот период, тщательно смешивается и вновь впитывается листом перед выходом из машины. Несмотря на небольшую продолжительность нахождения листа в машинах, он нагревается, однако теплота сразу же излучается и не оказывает существенного влияния на качество чая. Эти машины используются в комбинации вместе с роллерами, машинами “С.Т.С.” и другими измельчающими машинами.

В технологических системах производства мелкого черного чая встречается и измельчающая машина “Барбора”, состоящая из горизонтального корпуса, внутри которого расположен рабочий орган в виде ротора в форме усеченного конуса на поверхности которого установлены баттенсы. При поступательном движении в рабочую зону чайный материал перемещается по постоянно уменьшающейся спирали и между движущимися баттенсами конуса и неподвижной цапфой интенсивно скручивается, раздавливается, режется / 81,244 /. Кроме того, в технологических схемах применяется и машина “Третуратор” / 214,244 /, имеющая значительное сходство с машинами системы “Роторвейн”. Рабочий орган машины, представляющий собой шнек, с уменьшающимся шагом и увеличивающимся в направлении продвижения листа диаметром, и установленная в конце шнека выгрузочная головка с режущими лопастями обеспечивают более интенсивное воздействие на лист, чем в “Роторвейн”-е. Наибольшее распространение машина “Третуратор” получила в Африке.

В последнее время для измельчения чайного листа стали применять машину “L.T.P.”, представляющую собой барабан, в котором с большой скоростью в противоположных направлениях вращаются ножи и лопасти, интенсивно и мгновенно

измельчающие лист / 178,187,203 /. Метод “Лори” также эффективен как и “С.Т.С.”, а как процесс, схож с измельчением материалов в молотковых дробилках / 96 /.

С использованием выше перечисленных машин переработку чайного листа осуществляют по следующим технологическим схемам: роллер - “Роторвейн” - сортировка - “Роторвейн” - сортировка – роллер – сортировка – роллер – сортировка; “Роторвейн”- “С.Т.С.”- роллер – сортировка; “Роторвейн”- “С.Т.С.”- “С.Т.С.”- сортировка; “Роторвейн”- “Роторвейн”- “С.Т.С.”- “С.Т.С.”; “Роторвейн”- “С.Т.С.”- “С.Т.С.”- “С.Т.С.”- сортировка / 63 /. Кроме того чаеизмельчающие машины применяются на разных стадиях переработки: после 10-минутного, второго, третьего скручивания чайного листа в роллерах и сортировки / 81, 244 /. Применяются и другие схемы с участием перечисленных машин / 192,194,214 /.

Первая попытка создания чаерезальной машины в нашей стране была сделана в 1938 году В.Г.Джиджейшвили / 57 /. Однако машина характеризовалась рядом существенных конструктивных недостатков и не нашла применения в промышленности. Группой специалистов во главе с Г.И.Харебава были получены положительные результаты при использовании резки во время скручивания чайного листа, в результате чего улучшалось качество вырабатываемой продукции / 148 /.

Существенный вклад в дело усовершенствования чаескручивающих машин внес А.Н.Какалашвили / 16,62,75,77,78 /. Им разработан роллер непрерывного действия, представляющий собой вращающуюся обечайку с шестью винтообразными рифами, внутри которой расположен вращающийся конический шнекообразный ротор с четырьмя выступами. Продукция, выработанная на линии с применением этого роллера характеризуется ярким настоем, однако имеет неудовлетворительный внешний вид и пеструю разварку.

Широкое промышленное применение нашла машина “РЗ-ЧР2К”, предназначенная для резки низкокondиционной чайной массы / 77 /. На внутренней поверхности цилиндрического корпуса машины распилены продольные рифы. Режущий орган выполнен в виде обоюдоострого ножа, расположенного между двумя диафрагмами и имеющего отдельный привод. Недостатком машины является слабое рахдавливание материала за счет поджима во время резки.

Для резки-измельчения чайного листа была создана машина ЧРК, состоящая из шнека, на валу которого между двумя диафрагмами располагается измельчающий нож /76/. Масса, подаваемая в машину, измельчается под действием диафрагмы и лопастей ножа, В таком же ключе работает и "Цитрибатор"/16/. Группой специалистов во главе с А.Н.Какалашвили была разработана конструкция центрального отборника, выполняющего функцию пресса и интенсифицирующего процесс скручивания /78/. Роллеры с центральными отборниками и машины ЧРК составляли основу линии скручивания, сортирования и резки чайного листа марки Б2-ЧСГ. Продукция, полученная после обработки чайного листа на этой линии, была неудовлетворительной по внешнему виду и характеризовалась пестрой разваркой.

Большой вклад в разработку технологических основ поточного производства мелкого черного чая внесли Р.М.Хоперия и Р.Р.Джиджолия /60,61,154,155,156,157,158/. Разработанная ими измельчающая машина Б2-ЧРЧ /154/ была включена в линию Б2-ЧРХ, нашедшую широкое внедрение в производстве чая. Чайный материал перерабатывается на указанной линии в следующем порядке: завяленный до остаточной влажности 63-65% лист скручивается в роллере ЧРО-2 в течение 20-25 минут, сортируется, мелкая фракция повторно скручивается, а сходовая фракция режется в Б2-ЧРЧ, резаная масса сортируется, мелкая фракция скручивается, сходовая фракция режется в Б2-ЧРЧ и скручивается, после чего все фракции сушатся. Недостатком указанной машины и линии является невысокая производительность, а также некоторая неоднородность измельченной массы.

С целью интенсификации процесса измельчения-раздавливания чайного листа и устранения эксплуатационных недостатков установки Б2-ЧРЧ группой авторов создана машина Б2-ЧПИ, нашедшая наиболее широкое применение в промышленности /158/. Рабочие органы машины выполнены в виде шнеков, лопасти которых заходят друг за друга. Машина имеет также диафрагму с калиброванными отверстиями. На базе этой машины создана поточная линия Б2-ЧР2Х, работающая следующим образом: завяленный до остаточной влажности 63-67% чайный лист после скручивания в роллере ЧРО-2 сортируется, мелкая фракция повторно скручивается, а сходовая крупная фракция измельчается в Б2-ЧПИ, скручивается в роллерах, после скручивания чай высушивается и подвергается термической обработке. Применение Б2-ЧПИ наиболее эффективно при строго определенном количестве подаваемого листа, а количество разрушенных клеток составляет до 90%.

Рабочими органами машины для дробления и мятия чайного листа ЧМД /75/ являются установленные на двух валах и внутренней поверхности корпуса измельчающие элементы. Недостатком машины является значительное снижение степени измельчения при уменьшении подачи чайного листа.

Группой авторов была разработана и создана роторно-скручивающая машина шнекового типа /163/. Рабочие органы машины представлены шнеком оригинальной конструкции со специальными элементами, обеспечивающими саморегулирование давления в массе независимо от количества подаваемого материала. Роторно-скручивающая машина была включена в поточную линию Б2-ЧИЛ / 94 /.

Все перечисленные выше установки для измельчения чайного листа предназначены для доведения материала до размеров частиц практически не менее 4,0-4,5 мм и не способны измельчать массу до мелкодисперсного состояния, так как при тонком измельчении образуются мелкие виды чая, дающие мутноватый настой. Между тем, при тонком измельчении достигается практически полное раздавливание клеточной структуры. За рубежом чайные массы, измельченные до мелкодисперсного состояния, гранулируют, что дает возможность получить качественный продукт, максимально используя потенциальные возможности исходного листового материала / 94 /.

Эксперименты по переработке чайной массы с повышенным содержанием огрубевшей и грубой фракции на машинах "С.Т.С." и "Роторвейн" не дали положительных результатов /171/, а получившаяся в результате интенсивного измельчения тестообразная масса не поддавалась гранулированию. Следует отметить, что по нашему мнению, авторами не были правильно подобраны режимы процесса гранулирования и соответствующее оборудование для его осуществления, что и привело к отрицательным результатам.

Снятие ограничений степени измельчения позволяет использовать для диспергирования чайного листа до мелкодисперсного состояния оборудование, освоенное в смежных отраслях промышленности. Для подбора способов гранулирования, исходя из требуемых свойств агломератов, необходимо использовать основные закономерности структурообразования и формирования материалов, разработанные в различных областях науки и техники, с учетом специфических характеристик чая.

### 1.3. Основные методы гранулирования дисперсных материалов

Гранулирование - это совокупность технологических операций, в основе которых лежат физико-механические и физико-химические процессы, обеспечивающие формирование материалов в виде частиц определенных размеров, формы, структуры и физических свойств.

В последнее время гранулирование нашло широкое применение в различных областях промышленности, что вызвано необходимостью не только усовершенствования технологических свойств изделий, устранения их отрицательных физических свойств, но

и возможностью автоматизации производства, повышения производительности труда, облегчения упаковочной работы и др./19,20,83,111/.

Гранулирование (агломерация, агрегация) тонкодисперсных материалов в значительной степени определяется их физико-химическими и реологическими свойствами /83,109,216/. В общем случае гранулирование включает в себя следующие технологические операции: подготовку исходного материала, собственно гранулирование, формирование структуры. Дисперсные материалы могут быть сгранулированы как в сухом, так и во влажном состоянии. При этом, таблетирование, прессование и брикетирование, осуществляемые при небольших влажностях материала, относятся к сухим методам; а окатывание, дражирование, экструдирование - к влажным /108,200,216/.

Эффективность гранулирования зависит от когезионных свойств материалов, т.е. от их способностей непосредственно взаимодействовать между собой. В случае увлажнения дисперсных частиц их взаимодействие зависит как от когезионных свойств жидкостных прослоек, так и от адгезии (прилипания) жидкости к частицам, характеризующейся смачиваемостью материала /20,22,83,84,109/. Суммарное силовое взаимодействие между соприкасающимися частицами, которое препятствует их разъединению, принято называть аутогезией /72/.

Агломерация частно в агрегаты может быть осуществлена различными путями, что определяется множеством факторов, среди которых важное значение имеет дисперсный состав исходных частиц. Физико-химическая механика дисперсных структур и твердых тел, развитая в работах академика П.А.Ребиндера и его школы, определяет критерий начала агрегируемости границей перехода от грубодисперсных систем к микрогетерогенным.

Хотя в общем случае агрегирование и образование пространственных структур начинают проявляться с дисперсных системах с размером частиц твердой фазы практически на 2-3 порядка большим размера коллоидных частиц, в каждом конкретном случае прочность элементарных контактов между частицами и соответственно возникающих из них структур зависит от природы поверхности, химического состава, физических свойств твердой фазы и дисперсной среды, условий взаимодействия между ними /6,128,141,142,143,188/. Как только размер частиц становится настолько малым, что силы сцепления будут соизмеримы с их весом, то они в поле действия силы тяжести проявляют склонность к самопроизвольному агрегированию. В результате проявления сил сцепления частиц друг с другом в микрогетерогенных системах самопроизвольно возникают пространственные трехмерные структуры. Устойчивые трехмерные структуры образуются при связи между частицами в виде прямых точечных контактов или через прослойки жидкости дисперсной среды, равновесная толщина которых соответствует минимальному значению поверхностной энергии системы. Наличие жидкостной прослойки между частицами значительно интенсифицирует этот процесс. Если частицы хорошо смачиваются, то силы адгезии жидкости к частицам велики. После обволакивания частиц тонким слоем, жидкие прослойки, когезионно взаимодействуя между собой способствуют сближению частиц материала /20,38,141,142,143/. Причем такое взаимодействие возможно и при размерах частиц несколько превышающих их величины, соответствующие критерию агрегирования /6,72,143/. Прочность пространственных трехмерных структур определяется качеством контактов, их числом в единице объема материала, средней силой сцепления в точке контакта. Уменьшение размера частиц увеличивает их удельную поверхность, возрастает число контактов между ними, что усиливает взаимодействия /72,128/. Поэтому, в соответствии со вторым началом термодинамики, в дисперсной системе самопроизвольно протекают процессы, связанные с уменьшением поверхностной энергии, чем и объясняется склонность высокодисперсных масс к агрегированию. С уменьшением размеров частиц увеличение прочности дисперсного материала наблюдается в том случае, когда она обусловлена капиллярными силами жидкостных прослоек /38,72/. Достаточно прочные контакты образуются в результате переплетения сильно анизометричных частиц /72,142/. Для гранулирования

методом окатывания идеальной формой чаиц является шар, все остальные геометрические формы осложняют процесс. Если частицы неправильной формы, то гранулирование улучшается когда их размеры по трем взаимоперпендикулярным направлениям одинаковы /19/. Небольшие отклонения от сферической формы лишь незначительно влияют на плотность упаковки частиц в агломерате, которая заметно уменьшается с усилением их анизотричности. Такие формы могут создать достаточно плотно упакованные структуры лишь при размещении частиц в правильные ряды, чего невозможно достичь при самоагрегации /201/. Поэтому для проведения гранулирования методом окатывания, регулирующим направленность самоагрегации, вероятно следует измельчать чайный лист до размеров частиц, соизмеримых с толщиной листа, т.е. практически менее 1 мм. Если же измельчение до такого уровня невозможно или в этом нет необходимости, то гранулирование может быть осуществлено принудительно под действием внешних сил.

Вопросами гранулирования чая у нас стали заниматься сравнительно недавно. Увеличение объемов производства чая вызвало рост образования тонкодисперсных видов чайной продукции -высевков и крошки, не имеющих потребительского спроса. Поэтому их стали брикетировать в специальных формах, получая плиточные чаи /150/, а также гранулировать методом прессования /1,114,174/. Полученные таким образом продукты неудобны в потреблении, так как они при заваривании практически отдают экстрактивные вещества лишь после диспергирования на составные частицы, что создает мутность настоя.

Предусмотренное способом гранулирования тонкодисперсных видов байхового чая /167/ незначительное увлажнение чая перед гранулированием не обеспечивает образования недиспергирующихся в воде контактных мостиковых связей, несмотря на то, что после формования гранулы дополнительно обогащаются экстрактом чая в процессе высушивания в кипящем слое. Кроме того, продолговатая форма и высокая плотность гранул не могут обеспечить равномерного высушивания и сохранения целостности в условиях кипящего слоя.

Группой специалистов с участием автора разработан и внедрен способ переработки тонкодисперсных видов чайной продукции в горошкообразные и зернистые виды чая, интенсивно отдающие экстракт, не диспергируясь на составные части /44/.

Для гранулирования чайного листа и других видов чая группой специалистов во главе с И.А.Хочолава была разработана установка шнекового типа /161/. Рабочие органы машины представлены каскадом ножей и решеток, помещенных вместе с подающим шнеком в цилиндрический корпус с рубашкой для водяного охлаждения. Несмотря на оригинальность конструкции, машина не нашла практического применения ввиду низкой производительности и ненадежности в работе.

Разработанный группой специалистов во главе с Р.Т.Чхаидзе способ производства гранулированного чая /173/, заключающийся в введении в предварительно подсушенную до влажности 35-50% чайную массу сахарного раствора в количестве 2-4% от ее веса перед формовкой, оказался малоэффективным, так как гранулы при заваривании слабо отдавали экстракт по причине пониженной пористости, а при продолжительном настаивании диспергировались /174/.

Следует отметить способ переработки мелких фракций чайного листа /28/, включающий их обработку после ферментации горячим воздухом с температурой 130-185°C при пропаривании с последующей формовкой в разогретом до 50-60°C вращающемся барабане с одновременным вводом связующего вещества. Процесс энергоемок, а также связан со значительными материальными затратами по причине использования в виде связующего вещества натурального концентрата черного чая.

Разработана установка для получения гранулированного чая /41/, включающая роторно-скручи-вашиные машины, не предназначенные для тонкого диспергирования чайного листа, поэтому, после измельчения в них, отсортировывается незначительное количество мелкодисперсных фракций, способных к самоагрегации, что делает неэффектив-

ным использование отдельно формовочного устройства для их гранулирования. Кроме того, установка позволяет получать в основном гранулы цилиндрической формы. Согласно разработанного ими же способа производства гранулированного чая /42/, предусматривающего измельчение чайного листа до размеров частиц 1,5-2,0 мм, обогащение массы концентратом чая и формование, получают гранулы цилиндрической формы, диаметром 4-6 мм, что осложняет их высушивание, а предусмотренная остаточная влажность чая 8-10% после сушки отрицательно влияет на стойкость продукта к хранению и недиспергируемость при заваривании. В последующем, с участием автора была создана роторно-скручивающая машина нового поколения /43/, которая была включена в поточную линию ЮИАК 101171.001.

#### 1.4. Обоснование направления научного исследования

На основе проведенного обзора можно заключить, что основные тенденции развития мировой чаеперерабатывающей промышленности направлены на интенсификацию производства, заключающуюся в максимально возможном использовании сырьевых материалов для получения качественного чая с наименьшими затратами. В производстве черного чая это выражается в первую очередь в изыскании путей наиболее полного и одновременного разрушения тканей листа в основном механическими методами.

Одним из важных направлений в этом плане является интенсивное измельчение чайного листа до мелкодисперсного состояния, обеспечивающее полноценное разрушение клеток, в вместе с последующим за ним гранулированием, способствует усилению окислительных превращений, в результате чего сокращается весь технологический цикл переработки, улучшается качество, повышается выход высокоэкстрактивных видов чая, а чай в виде гранул обладает целым рядом преимуществ перед обычными чаями, что делает его удобным в потреблении.

Кроме того, образующиеся в процессе технологической переработки тонкодисперсные мелкие виды чая, не имеющие спроса у потребителя, могут быть использованы для получения потребительского продукта в виде гранул, что обеспечит дополнительный выпуск качественной продукции.

Гранулированный чай должен обладать механической прочностью в сухом состоянии, интенсивно отдавать экстрактивные вещества и не диспергироваться при заваривании.

### **Глава 2. Физико-механические, химические и технологические показатели чайного листа и тонкодисперсных видов готового чая**

#### 2.1. Механический состав и химическая характеристика заготавливаемого чайного листа

Механические и химические свойства чайного сырья являются определяющими при выборе и разработке способов его переработки.

Ранее были проведены многочисленные исследования указанных характеристик /82,107,159,182/, а также установлена прямая корреляция повышения технологического достоинства сырья с увеличением в нем доли одно- и двухлистных флешей /7,162,175/. Огрубевшие листья характеризуются несколько обедненным составом качественно важных веществ. Повышенная структурная прочность огрубевших масс препятствует разрушению клеток при скручивании и развитию равномерного протекания окислительных превращений фенольных соединений.

С целью получения характеристик исходных масс для разработки рациональных технологических режимов их переработки, изучали механический состав производственного сырья Шемокмедской чайной фабрики.

Полученные результаты, обработанные методом математической статистики /37/, представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1.  
Механический состав чайного сырья, поступившего на Шемокмедскую чайную фабрику в 2008г.

№ пп	Структурный состав	Содержание, %
1	Нежная фракция	52,8 ± 2,74
2	Огрубевшая фракция	37,5 ± 2,18
3	Грубая фракция	9,4 ± 0,76
	Отдельные элементы	
4	Почка и 1-2 листовые флешы	22,9 ± 1,37
5	3-4 листовые побеги	37,3 ± 2,43
6	5-6 листовые побеги	15,6 ± 0,81
	Отдельные листья	
7	Нежные	10,3 ± 0,96
8	Огрубевшие	7,6 ± 0,63
9	Грубые	3,1 ± 0,29
10	Зеленые огрубевшие черешки	2,8 ± 0,27
11	Коричневые огрубевшие черешки	0,6 ± 0,05

Как видно из таблицы 2.1.1., в сырье, поступившем на чайную фабрику в 2008г. отмечается преобладание нежной фракции. Из общей массы 3-4 листовые побеги составляют преобладающую часть, значительно меньше 5-6 листовых побегов, а зеленых и коричневых огрубевших чайных черешков - незначительное количество.

Из представленной на рисунке 2.1.1. сезонной динамики отдельных фракций чайного сырья, поступающего на фабрику, видно, что максимальное количество нежной фракции наблюдается в мае, значительно уменьшается в июне, возрастает в июле-августе, а в сентябре отмечается ее минимальное содержание. Содержание огрубевшей фракции несколько увеличивается с мая по июнь, а затем изменяется незначительно и составляет около 40% от общей массы.

В течение сезона изменяется и влажность заготавливаемого чайного листа, определяемая известным методом /58/. Как видно из рисунка 2.1.1., динамика изменения влажности идентична для всех фракций.

Максимальное содержание влаги приходится на май, в июне этот показатель снижается, в июле-августе несколько возрастает, а в сентябре наблюдается минимальная влажность для всех фракций. Вероятно это вызвано уменьшением содержания в чайном листе гидрофильных водорастворимых коллоидов, определяющих поверхностное натяжение и вязкость чайного сока.

С огрубением чайного листа количество влаги в нем уменьшается. При этом растет доля связанной воды и силы ее удерживания, что вызвано увеличением содержания в листе гидрофильных биополимеров, прочно сцепляющих воду /27/.

май июль август сентябрь  
 Рис.2.1.1. Сезонная динамика отдельных фракций чайного материала и их влажности

- - нежная фракция;
- - огрубевшая фракция.

Технологическое достоинство сырья, кроме механического состава, определяется содержанием основных химических веществ, превращения которых в процессе переработки обуславливают образование качественных показателей получаемого продукта. Это вызвало необходимость химического анализа чайного сырья, поступавшего на Шемокмедскую чайную фабрику. Результаты исследования, обработанные методом математической статистики, представлены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2  
 Содержание химических веществ в отдельных фракциях чайного сырья

№ пп	Показатели	Исходное сырье	Фракции		
			Нежная	Огрубевшая	Грубая
1	Экстрактивные вещества, %	35,97±0,69	39,92±1,11	34,86 ± 1,19	26,731±09
2	Сумма фенольных соединений, %	17,931±06	21,37±1,08	16,31±0,87	11,89±0,07
3	Катехины, мг/г сухих веществ	91,81±2,19	117,12±2,66	80,14±1,92	46,87±1,23
4	Кофеин, %	2,00±0,11	2,70±0,11	1,59±0,12	0,98±0,07
5	Сумма свободных аминокислот, мг/100 г с.в.	1129,3± 21,8	1386,9±28,13	999,3±18,96	700,8± 16,79
6	Хлорофилл, мг/г с.в.	4,97±0,27	3,62±0,16	5,67±0,28	7,02±0,32
7	Гидропектин,%	3,31±0,14	3,72±0,06	3,14±0,09	2,46±0,05
8	Протопектин,%	6,36±0,17	5,54±0,08	6,62±0,08	7,42±0,10
9	Целлюлоза,%	15,04±0,61	11,04±0,28	17,21±0,36	20,82±0,65
10	Лигнин,%	7,92±0,19	6,31±0,12	8,53±0,18	10,8±0,18

Данные таблицы 2.1.2. показывают, что огрубевшая и грубая фракции по содержанию качественно важных веществ уступают нежной фракции, соответственно: по содержанию экстрактивных веществ на 5,1% и 13,2%, фенольных соединений - 5,1% и 9,5%, катехинов - 36,9 мг/г и 70,3 мг/г, кофеина - 1,1% и 1,7%, свободных аминокислот - 387,6 мг/100г и 686,2 мг/100 г., гидропектина - 0,5% и 1,3%. Одновременно в них количество других веществ возрастает по сравнению с нежной фракцией: хлорофилла - на 2,1% и 3,4%, протопектина - 1,3% и 1,8%, целлюлозы - 6,2% и 9,7%, лигнина - на 2,3% и 4,5%. Причем, перечисленные три последние вещества непосредственно определяют прочность как самого листа, так и его клеточных стенок /18,136/. Очевидно, что для при-

готовления качественного продукта из листовой массы с повышенной структурной прочностью, необходимо интенсифицировать процессы, при которых происходит раздавливание клеток листа.

Приведенные данные показывают ухудшение технологических свойств чайных масс с увеличением в их составе огрубевших фракций, что также снижает биологическую ценность сырья. Их составляют в основном 4-5 листья и даже некоторые 3-й листья побегов. Такие листья характеризуются большей жесткостью и кожистостью по сравнению с молодыми нежными листьями. Огрубение чайного листа сопровождается одревеснением клеточных оболочек, что вызвано пропитыванием их лигнином, накоплением целлюлозных веществ, протопектинов, суберинов и кутинов /5,40,94,136/.

Следует отметить, что химический состав нежных фракций, преобладающих в поступающем на переработку чайном материале, значительно обеднен по сравнению с составом листьев, заготавливавшихся до применения жестких сборов. Это требует интенсификации технологии, одним из методов которой может быть измельчение массы до мелкодисперсного состояния, т.е. до размеров частиц порядка 1 мм и менее с целью максимального использования имеющегося потенциала листа для выработки качественного чая.

## 2.2. Окислительная способность мелкодисперсных масс чайного листа

Потребительские свойства черного чая во многом определяются как качественными превращениями фенольных соединений, протекающими в чайной массе во время переработки под действием окислительных ферментов чайного листа. Основным ферментом, катализирующим окисление чайных катехинов, является о-дифенолоксидаза /7,13,124, 202/. В чайных листьях отмечается наличие и других окислительных ферментных систем /113,123/. Хотя в процессе производства черного чая окислительные превращения катехинов параллельно с ферментативными могут быть и химического характера, под действием хинонов, большая их часть окисляется все же ферментативным путем /59/. А поглощение кислорода чайным листом во время ферментации в большей степени вызвано ферментативной активностью, чем аутооксидацией катехинов.

Отдельные элементы чайного побега различаются кислородо-поглощающей способностью, определяющей суммарную активность окислительных ферментов.

Активность ферментов определяли в растертом листе по известной методике /176/, амперметрическим методом /29/.

Результаты исследования представлены в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1.

Суммарная активность окислительных ферментов в отдельных листьях чайного побега (мкМО<sub>2</sub>/мин/гр.с.в.)

Определяемая величина	Лист чайного побега					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Поглощение O <sub>2</sub> растертым листом	31,7	35,2	27,8	22,1	19,6	17,2

Как видно из таблицы 2.2.1. с огрубением чайного листа суммарная активность окислительных ферментов понижается. В соответствии с наличием множественных форм, окислительные ферменты чайных листьев обладают различной активностью в зависимости от возраста, места произрастания, сорта растения и других факторов /14,123/. Вместе с тем, они имеют максимум активности при температурах 27-30°C /123/. Однако проведение процесса ферментации при указанных температурах отрицательно сказывается на качестве продукта /11,189/. Температура выше 32°C резко ухудшает

качественные показатели, особенно аромат продукта, а 15-18°C температурный режим не может быть предложен ввиду увеличения продолжительности процесса. Оптимальной температурой окружающей среды при ферментации считается 22-26°C, а продолжительность меняется в зависимости от применяемых методов переработки.

В процессе завяливания активность окислительных ферментов чайного листа повышается /112,123,240/. Она растет по мере уменьшения остаточной влажности. Однако чрезмерное завяливание понижает активность ферментных систем по причине возникающего водного дефицита /224,243/. В наших условиях остаточную влажность завяливания поддерживают в пределах 61-66% /24/, тогда как за рубежом, в основном влажность доводят лишь до 70% /194,195/. Установлено, что 6-ти часовое завяливание при температуре 36-38°C позволяет получить чай наилучшего качества /242/, а при переработке огрубевшего материала, остаточная влажность должна составлять 66,5-67% /156/. Остаточная влажность чайного завяленного листа влияет на эффективное протекание процесса ферментации, что непосредственно сказывается на качестве конечного продукта /123,190,220,242/.

Ферментативная активность, а следовательно и скорость биохимических реакций зависят от свойств материала и концентрации субстрата /40,85/. С огрубением чайного материала падает влажность листьев, уменьшается содержание основного субстрата окислительных ферментов - фенольных соединений (рис.3 1.1., табл. 3.1.2.). При этом повышается и активная кислотность от рН 6,05-6,31 до 6,31 в нежных листьях до рН 5,6-5,7 в огрубевших /25/. Вместе с тем, пероксидаза и полифенолоксидаза чайного листа проявляют макси-мальную активность при рН соответственно 5,0 и 5,5 /13,190/.

Для интенсивного протекания окислительных превращений необходимо устранить разобщенность фермента и субстрата, что достигается разрушением клеточной структуры чайного листа в процессе переработки. Хотя в процессе завяливания, по мере уменьшения влажности вплоть до 55%, растет клеточная проницаемость чайных листьев, все же остаточная влажность не так сильно влияет на интенсивность биохимических процессов, как степень раздавливания клеток листа /224/. Поэтому интенсификация окислительных процессов может быть осуществлена за счет тонкого диспергирования завяленного чайного листа, что способствует полному раздавливанию и разрыванию клеточной структуры, обеспечивая наилучшую доступность ферментов к субстрату. И даже в высоковлажных чайных массах, доведенных до мелкодисперсного состояния, окислительные превращения протекают довольно интенсивно /224,244/.

На рисунке 2.2.1. представлены зависимости окисления фенольных соединений и поглощение кислорода мелкодисперсными массами из нежного и огрубевшего чайного листа от продолжительности процесса ферментации. Перед проведением анализов чайный лист завяливали при температуре 36-38°C, делили на фракции, измельчали до мелкодисперсного состояния в установке "Куттер", массу расстилали тонким слоем и ферментировали при температуре 26°C и относительной влажности 95-98%. Причем, непосредственно после измельчения температура собственно мелкодисперсных масс не превышала 35°C. Каждые 30 мин отбирали пробы и делили их на две части. В одной непосредственно определяли суммарную активность окислительных ферментов, а в другой - количество неокисленных фенольных соединений.

Согласно рисунку 2.2.1. окислительные процессы протекают наиболее интенсивно в течение первого часа ферментации. Количество окисленного танина при этом составляет соответственно 33,8% и 31,2% для мелкодисперсных масс нежного и огрубевшего листа. После двух часов ферментации отмечается соответственно 47,3% и 44,2%, а после трех часов - 57,2% и 51,5% окисленных фенольных соединений от исходного содержания. В процессе ферментации меняется и суммарная активность окислительных Ферментов, после первого часа ферментации она значительно уменьшается соответственно до 53,3% для нежной и 47,6% для огрубевшей фракции от исходных активностей, к концу второго -

до 28,7% и 19,4%, а к концу третьего часа в нежных фракциях еще остается до 16,6%, тогда как огрубевшие массы практически не поглощают кислорода.

Рис.2.2.1. Изменение суммарной активности окислительных ферментов и содержания фенольных соединений в процессе ферментации мелкодисперсных масс чайного листа  
А - масса из нежной фракции;  
● - масса из огрубевшей фракции.

Как видно из опытных данных, в мелкодисперсных массах огрубевших фракций активность окислительных ферментов после трех часов ферментации уменьшается более резко по сравнению с массами из нежного листа. Однако в течение первых 75-90 минут ферментации падение активности окислительных ферментов в обоих мелкодисперсных массах происходит практически одинаково. С одинаковой интенсивностью окисляются и фенольные соединения в массах. К тому же в течение 75-90 минут ферментации от начала диспергирования чайных листьев до мелкодисперсного состояния, доля окисленных фенольных соединений составляет 35-40%, что вполне достаточно для получения качественного черного чая.

В процессе ферментации увеличивается активная кислотность реакционной среды /25,190/. При достижении рН 4,9-4,5 происходит интенсивная коагуляция белковых веществ и связывание их с фенольными соединениями. По этой причине ферментацию следует прекращать, когда рН мелкодисперсных масс уменьшается до рН 5,0 /112/. Однако для интенсивно раздавленных огрубевших чайных листьев этот момент неступает всего лишь через 2-3 часа от начала ферментации, а для нежных листьев - еще позже /25/. Так как окисление требуемого для производства черного чая количества фенольных соединений в мелкодисперсных массах при ферментации происходит за 75-90 минут, то потери фенольных веществ за счет их связывания белковыми веществами должны быть очень незначительными.

Как видно из результатов исследования, окислительная способность чайного листа возрастает по мере его диспергирования, что значительно сокращает продолжительность процесса ферментации.

Вместе с тем, при толщине слоя ферментируемой мелкодисперсной массы более 4-5 см во внутренних слоях материала ферментация протекает несколько медленнее, чем во внешних. Это вызвано тем, что по мере уменьшения размеров частиц чайного листа наблюдается увеличение объемного веса смесей. Аналогичное явление отмечается и при переработке чайного листа по ортодоксальной технологии /62/. С ростом объемного веса уменьшается пористость слоя, что значительно затрудняет воздухообмен. Об этом можно судить согласно формулы определения общей пористости /36/:

$$П = 1 - \rho / \rho_m$$

где:  $\rho$  и  $\rho_m$  - соответственно плотности слоя и материала частиц.

К тому же вместе с тонким диспергированием материала, опровергающимся увеличением удельной поверхности, воздухопоглощаемость смесей растет /57/. В мелкодисперсных массах внешние слои сильно поглощают воздух, не давая ему проникать вглубь смеси. Однако при средневзвешенных размерах частиц чая не менее 2,0-2,5 мм и при толщине слоя 4-5 см не отмечается ощутимая разница в равномерности протекания ферментации в разных слоях. Вероятно при этом еще в достаточной степени проявляется парусность частиц, что препятствует их плотной упаковке в насыпанном состоянии и обеспечивает достаточную воздухопроницаемость. В частицах указанных размеров количество раздавленных клеток составляет до 90%, тогда как в мелкодисперсных массах 96-98%, т.е.

наблюдается почти полное разрушение клеточной структуры, поэтому необходимо создать условия равномерного протекания ферментации и в таких массах.

Из физико-химической механики дисперсных структур известно, что пористость сухих порошков может быть значительно повышена, если составляющие их частицы уменьшить в размере до нескольких микрон [128,142]. Однако при таком тонком измельчении влажных материалов, хотя общая пористость и повышается, поры очень маленьких размеров и заполнены жидкостью, что препятствует проникновению воздуха вглубь массы. Уменьшение содержания влаги в массах с указанным размером частиц не способствует интенсификации ферментации, т.к. при наличии влаги менее 55%, активность окислительных ферментов падает [224,243]. Интенсификация воздухообмена, а следовательно и окислительных превращений, возможна при нагнетании воздуха извне, а также при механическом ворошении массы. Однако даже при незначительном механическом воздействии во влажных мелкодисперсных массах самопроизвольно образуются агломераты широкого спектра, размеров [52,142]. Это препятствует равномерному протеканию процесса ферментации во всей массе. Перемешивание мелкодисперсных масс сопровождается возникновением агломератов, происходит перераспределение пустот в слое. При этом пористость собственно агломератов меньше, а межагрегатная пористость больше первоначальной пористости смеси. Естественно, что в таком случае воздухопроницаемость слоя будет возрастать. Однако ферментация в агломератах может быть затруднена. Равномерное и интенсивное протекание окислительных процессов в агломерированных чайных массах зависит как от свойств самого материала, так и от геометрических размеров гранул (см. гл.4.) Следует отметить, что при средневзвешенных размерах чайных частиц порядка 2,0-2,5 мм и влажностях, соответствующих остаточным влажностям после завяливания, в чайных смесях во время ворошения образование агломератов не происходит.

Исследование окислительных способностей чайных мелкодисперсных материалов показано, что для осуществления равномерного и интенсивного протекания ферментации необходимо изменение их физико-механических свойств.

### 2.3. Целесообразность тонкого диспергирования чайного листа при производстве черного чая

Увеличение степени разрушения клеточной структуры чайного листа, наблюдающееся при производстве мелкого черного чая, значительно интенсифицирует процесс превращения химических веществ, наилучшим образом позволяет использовать потенциальные возможности сырья для получения качественного чайного продукта [156].

Однако технология мелкого черного чая не предусматривает сверхтонкого измельчения листа, так как частицы вследствие усадки после сушки приобретают еще более малые размеры, что не позволяет получить продукт требуемой кондиции. Разрабатываемые нами методы переработки листа устраняют указанный недостаток за счет агрегирования мелкодисперсных масс в более крупные агломераты.

С целью установления возможностей реализации качественного потенциала различных фракций сырья в продукте, а также для подбора методов их обработки, нами проводились опыты по диспергированию чайного материала, при которых определялись физико-механические характеристики измельченного листа и химико-органолептические показатели полуфабрикатов. Измельчение осуществляли в лабораторной установке типа "Куттер", однократно и двукратно, при диаметре отверстий выходной матрицы 2,0 мм. Дисперсный состав измельченных масс определяли ситовым методом в воде, что повышало точность измерения, т.к. влажные мелкодисперсные массы при просеивании на воздухе образовывали агломераты. Ферментацию масс осуществляли в тонком слое при температуре 26-28 °С.

Результаты исследования приведены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1.

Физико-механические показатели измельченных фракций и химико-органолептические характеристики черного чая в зависимости от кратности измельчения

№ пп	Показатели	Фракции			
		Нежная		Огрубевшая	
		1-кратное из мельчение	2-кратное из мельчение	1-кратное из мельчение	2-кратное из мельчение
1	Превалирующий размер частиц массы, мм	2,2±2,4	1,3±1,6	2,6±2,8	1,5±1,7
2	Количество разрушенных клеток, %	85±90	95±98	77±83	93±96
3	Превалирующий размер частиц продукта, мм	1,5±1,7	0,8±1,1	2,0±2,3	1,1±1,4
4	Экстрактивные вещества, %	35,18±1,04	35,55±1,17	30,21±0,82	31,58± 0,93
5	Цвет настоя по ФЭК	0,502	0,527	0,423	0,476
6	Аромат и вкус, балл	3,0	3,25	1,75	2,25

Как видно из данных, представленных в таблице 2.3.1., однократное измельчение нежной и огрубевшей масс по-разному влияет как на степень диспергирования листьев, так и на количество разрушенных клеток. Причем однократное измельчение нежных фракций позволяет разрушить в них до 85-90% клеток, против 77-83% в огрубевших. Проведенное последовательно за первым второе измельчение незначительно увеличивает количество разрушенных клеток в нежных фракциях (до 95-98%), хотя превалирующий размер частиц уменьшается более чем в 1,5 раза, а балловая оценка изменяется незначительно. Второе измельчение более эффективно влияет на показатели огрубевших фракций. При этом количество разрушенных клеток доходит до 93-96%, размер частиц - до 1,5-1,7 мм, а балловая оценка продукта, повышается на 0,5 балла. Данные таблицы показывают, что повторное измельчение в обоих случаях позволяет получить продукт с более интенсивным настоем и большим количеством экстрактивных веществ, что позволяет уменьшить расход чая на стакан напитка. В огрубевших фракциях, содержащих в основном более жесткие и прочные листья, максимальное разрушение клеток может быть достигнуто интенсивным измельчением материала. Такой подход вполне целесообразно использовать для замены продолжительного скручивания в роллерах тонкодисперсным измельчением листа в высокопроизводительных измельчительных установках. Причем даже сверхтонкое измельчение чайной массы не препятствует получению качественного продукта, так как преобразование мелкодисперсных масс в агломераты, и чай, в виде не диспергирующихся в воде гранул, обеспечивает получение при заваривании прозрачного экстракта (см.рис.2.5.1.).

Можно заключить, что для максимального раздавливания клеток чайных листьев вполне приемлемо диспергирование листа до мелкодисперсного состояния, что эффективно отражается на качественных показателях продукта.

#### 2.4. Физико-механические и химико-органолептические характеристики тонкодисперсных видов чайной продукции

В процессе технологической обработки чайного листа и сортирования полуфабриката, при точном соблюдении режимных параметров, получается около 18% мелких видов чая - высевок и крошки. Средневзвешенные их размеры, определенные ситовым методом дисперсного анализа, составили для крошки преимущественно **0,5-0,7** мм (наибольшее из трех измерений собственно частицы), а для высевок - 0,8-1,2 мм, что не

расходится с ранее проведенными исследованиями /149/ и позволяет их отнести к тонкодисперсным сыпучим материалам.

На рис.2.4.1. представлено растровое электронно-микроскопическое (РЭМ) изображение смеси чайной крошки и высевки, полученное на электронном сканирующем микроскопе "Hitachi-S-800" (Япония)/. Образцы для съемки приготавливались по известной методике /121/.

Рис.2.4.1. Растровое электронно-микроскопическое изображение смесей тонкодисперсных видов чайной продукции

Полученное изображение позволяет оценить форму частиц и размеры. Как видно, крошка и высева большей частью представлены пластинчатыми частицами. Основная масса высевок встречается во всех категориях второго сорта и частично в третьем сорте. Некоторая часть высевок получается из мелкой фракции полуфабриката и относится к первому сорту. Такой чай идет в потребление в пакетиках для разовой заварки /168/. Крошка не относится ни к одному сорту. Рост производства чайной продукции ведет к увеличению абсолютных объемов образования высевок и крошки, не пользующихся спросом.

Как видно из таблицы 2.4.1. тонкодисперсные виды чая несколько обеднены фенольными соединениями, а полученные из них настои характеризуются мутноватостью (См.рис.2.5.1.). Вместе с тем, они вполне могут быть преобразованы после обогащения и дополнительной обработки в приемлемый потребителем чайный продукт.

Таблица 2.4.1.  
Химико-органолептические показатели тонкодисперсных видов чайной продукции (высевки, крошки)

№ пп	Показатели	Продукция черного чая			Продукция зеленого чая		
		высевка 2 сорта	высевка 3 сорта	крошка	высевка 2 сорта	высевка 3 сорта	крошка
1	Экстрактивные вещества, %	29,2±0,33	28,7±0,32	29,8±0,19	32,1±0,18	31,0±0,19	33,2±0,24
2	Сумма фенольных соединений	7,2±0,21	6,7±0,17	7,6±0,09	12,3±0,19	12,1±0,17	12,6±0,16
3	Кофеин, %	1,68±0,09	1,62±0,08	1,77±0,06	1,87±0,09	1,72±0,05	1,94±0,05
4	Гидропектин, %	2,06±0,12	1,94±0,17	2,13±0,14	3,21±0,10	3,11±0,11	3,04±0,13
5	Протопектин, %	5,33±0,19	5,38±0,17	5,26±0,11	5,43±0,12	5,47±0,16	5,56±0,17
6	Настой	темноватый, менее прозрачный	темноватый, мутный	темный, мутный	темножелтый, менее прозрачный	темножелтый, мутный	темножелтый, мутный
7	Аромат и вкус, балл	2,25	1,75	1,5	2,5	1,75	1,5

Гранулы, получаемые из крошки и высевки методом прессования, медленно смачиваются и экстрагируются при заваривании ввиду пониженной пористости, а наилучшее извлечение растворимых веществ происходит лишь при их диспергировании на составные частицы после проникновения жидкости в межчастичные области.

Известно, что водопоглощаемость, а следовательно и последующая экстракция зависят от размеров капилляров пористого тела /23/. Пористость является важной струк-

турной характеристикой материала. Очевидно, что агломераты, полученные после переработки тонкодисперсных материалов, и обладающие пористостью, большей, чем у исходных частиц, будут экстрагироваться практически также, как и материал до гранулирования. Это вызвало необходимость определения пористости тонкодисперсных видов чая. На

рисунке 2.4.2. представлены РЭМ фотографии чайной частицы при различной кратности увеличения, полученные при помощи сканирующего микроскопа.

На снимке "в" отчетливо заметны некоторые сгустки веществ, покрывающих, участок частицы. Нет сомнения, что это адсорбированные на ее поверхности экстрактивные вещества.

Изображения были обработаны известным методом /117/, на ЭВМ, что дает наиболее исчерпывающую характеристику порового пространства частицы. Наименьшее и наибольшее значения пористости частицы, определенные в различных ее частях составили 11,9-15,6 %, а это можно принять за пористость частиц чайной продукции /103/.

Полученные результаты позволяют разработать технологию переработки тонкодисперсных видов чая с учетом их начальной пористости, что обеспечит получение достаточно пористых гранул. Такая постановка задачи требует ограничения чисто механического взаимодействия составляющих гранулы частиц. В этом случае для получения достаточно прочных агломератов необходимо участие комплексообразующих веществ в контактах между частицами. К тому же, возникающие указанным образом мостиковые связи должны обладать достаточной прочностью как в сухом состоянии, так и при экстрагировании гранул, обеспечивая их механическую устойчивость и недиспергируемость при заваривании, а также не препятствовать растворению экстрактивных веществ.

а.

б.

в.

Рис.2.4.2. Растровые электронно-микроскопические изображения  
а,б - частица чая, в - отдельный участок частицы.

По нашему мнению решение поставленной задачи вполне осуществимо гранулированием исходных дисперсных частиц, увлажненных обогащающим и связующим веществом.

## 2.5. Влияние размеров, формы и влажности чайных частиц на их агрегирующие способности

Основной целью интенсивной технологии является наиболее полное использование чайного листа для получения чайного напитка, чего можно достичь максимальным разрушением клеточной структуры листовой массы измельчением ее до мелкодисперсного состояния. Практически полное раздавливание клеток (96-98%) наблюдается уже при размерах частиц измельченной массы 1,2-1,5 мм. Однако при измельчении чайного листа невозможно строго поддерживать дисперсный состав в указанных интервалах. Поэтому, можно принять данные интервалы верхним пределом размеров частиц измельченного чайного листа. При соблюдении таких условий мелкодисперсная масса содержит большое количество частиц гораздо меньших размеров. Вместе с тем, чрезмерное диспергирование тканей листа не дает возможности получить существующими методами, после высушивания материала кондиционный продукт по причине слабой седиментации частиц в воде при заваривании чая. Это вызывает определенные неудобства при потреблении чая ввиду продолжительной мутности настоя.

Смачиваемость чая различных геометрических размеров, а также их часть, находящаяся во взвешенном состоянии были определены методом пленочной флотации согласно

РДРТМ 26-14-10-78 /80/. На рисунке 2.5.1. показаны зависимости смачиваемости и седиментации частиц чая различных размеров от времени экстрагирования.

Согласно рисунку, наилучшей смачиваемостью и седиментацией отличается гранулированный чай. Вероятно это вызвано тем, что сферообразные гранулы обладают достаточной пористостью, быстро пропитываются водой к непродолжительное время находясь на поверхности жидкости. Все без исключения гранулы не опускаются сразу же на дно сосуда. Однако по истечении небольшого промежутка времени усиленно тонут. Сферообразная форма гранул позволяет проводить их одинаковое экстрагирование со всей поверхности, что, естественно, обеспечивает быстрый выход экстрактивных веществ. Частицы чая с размерами менее 0,08 мм хорошо смачиваются, однако гораздо хуже седиментируются, что и создает мутность настоя. С увеличением размера частиц их смачиваемость ухудшается, что вероятно вызвано парусностью пластинчатых форм. Однако хорошо пропитавшиеся частицы быстро опускаются на дно сосуда. Очевидно, что объединив мелкодисперсные частицы в прочные, пористые, не диспергирующиеся в воде агломераты, можно достичь быстрой пропитываемости и, следовательно, эффективного экстрагирования не сопровождающегося помутнением настоя.

Рис.2.5.1. Зависимость смачиваемости и седиментации чайных частиц от времени экстрагирования

P - доля частиц, пропитавшихся водой, %;

B - доля частиц, выпавших на дно сосуда, %;

$\tau$  - продолжительность экстрагирования, мин;

▲ - гранулированный чай, диаметр гранул 2,0-2,5 мм;

■ - чай с размером частиц менее 0,08 мм;

● - чайная крошка; \*- мелкий чай M-I.

Представленные на рисунке 2.5.1. данные указывают на усиление смачиваемости чая с уменьшением размеров частиц и при изменении формы от пластинчатой к сферообразной, что является существенным фактором, определяющим агломерацию, так как для более гидрофильных материалов существует закономерность повышения аутогезии /6,72/. Процесс смачивания играет существенную роль в основных способах гранулирования различных веществ, поэтому изучение его приобретает большое значение для оптимизации процессов гранулирования /20,83,84,100/.

Сокращение времени водопоглощения по мере уменьшения размеров частиц легко объяснимо согласно зависимости:

$$t = l^2 \cdot \eta \cdot 2 / (\sigma \cdot \cos\varphi \cdot R_m)$$

где: l- длина капилляра;  $R_m$  – радиус крупных пор.

Отсюда также ясно, что чем больше радиус пор агломератов и меньше их размеры, тем быстрее будет проходить водопоглощение, а следовательно и выход экстрактивных веществ при заваривании.

С ростом дисперсности частиц повышается реакционная способность материалов /145/. Возможность образования структуры в дисперсных системах определяется в основном соотношением между относительной силой тяжести частицы (относительно среды) и силой сцепления ее с соседними частицами. Поэтому, уменьшение размера или массы частиц и увеличение сил сцепления, которые могут возрастать с ростом дисперсности частиц за счет увеличения площади контактов, приводят к образованию пространственной структуры при условии преобладания сил сцепления над силами тяжести. Большое значение при этом приобретает наличие жидкостных прослоек между частицами. Чем выше дисперсуость и сильнее анизометрия частиц, тем при меньшей концентрации жидкости проявляются максимальные значения прочности структуры. Дисперсные системы обла-

дают важным технологическим свойством - формуемостью. При напряжениях, несколько превышающих предельные для каждой конкретной системы, материал принимает определенную форму, сохраняющуюся при внешних воздействиях, меньших, чем предельные. Как видно, физико-химические и структурно-механические свойства дисперсных материалов могут определять их агрегирующие способности.

Для установления агрегируемости мелкодисперсных чайных масс существенно важно было определить то количество влаги, которое способствовало бы наилучшему взаимодействию частиц дисперсной фазы. С этой целью листовую чайную массу подвергали интенсивному измельчению в лабораторной дезинтеграторной установке конструкции Таллиннского НПО "дезинтегратор". Влажность массы регулировалась завяливанием и подсушкой чайного листа перед диспергированием. Превалирующую часть в мелкодисперсной массе составляли частицы с наибольшим габаритным размером 0,5-0,7мм и коэффициентом сферичности 0,5-0,7. Тонкодисперсные виды чайной продукции (высевки, крошка), после предварительного увлажнения и тщательного перемешивания до определенных влажностей, перед проведением опытов выдерживались в герметичных бьюксах в течение 15 мин для равномерного пропитывания их жидкостью. Если же тонкодисперсные виды чая измельчать до размеров, соответствующих критерию агрегируемости, то ввиду усиливающейся скорости водопоглощения с увеличением удельной поверхности, возникают определенные трудности равномерного распределения жидкой фазы в дисперсионной среде во время перемешивания /234/. Поэтому, при отсутствии мелкодисперсных фракций, тонкодисперсные материалы измельчали после предварительного увлажнения. Современный уровень теоретических исследований об явлениях взаимодействия частиц и поведения порошков не позволяет с достаточной точностью предсказать их свойства в тех или иных условиях. Поэтому единственно надежным способом решения этой задачи остается экспериментальная оценка свойств мелкодисперсных масс. В отличие от промышленных пылей, состоящих из частиц, форма которых близка к сферической, чайные частицы обладают анизотропностью, что требует оговорки условий подготовки материалов к испытаниям и проведения измерений.

Для установления физико-химических и структурных свойств влажных мелкодисперсных масс как из листового чайного материала, так и из тонкодисперсных видов продукции, были определены показатели пластической прочности, прочности на разрыв и косвенные реологические характеристики - углы естественного откоса и обрушения. Результаты измерений обрабатывались методом математической статистики по  $t$ - критерию Стьюдента при доверительной вероятности  $P=0,95$ .

Пластическая прочность определялась методом пенетрации, сущность которой заключается в измерении глубины вдавливания конической насадки в предварительно уплотненный материал. Собственно пенетрацию проводили при нагрузке 150 гр. Для каждого значения влажности и дисперсного состава материала нагружение при уплотнении образцов меняли от 150 гр до 3,15 кг., что соответствовало давлению от 0,764 кПа до 16,043 кПа.

Определение пластической прочности позволяет оценить способность увлажненной массы деформироваться под действием внешних сил, принимать соответствующую форму и сохранять ее после прекращения внешнего воздействия /17/.

На рисунке 2.5.2 представлены зависимости величин пластической прочности от влажности мелкодисперсных масс и уплотняющей нагрузки. Как видно из рисунка, с увеличением предварительной уплотняющей нагрузки максимумы пластической прочности смещаются в области пониженных влажностей. Вероятно это вызвано тем, что при возрастании уплотняющего внешнего давления, жидкость, содержащаяся в массах, легче выдавливается на поверхность частиц, уменьшая сопротивляемость материала погружению конической насадки.

Уменьшение пластической прочности при влажностях меньших и больших, чем при максимумах сопротивляемости, объясняется слабой уплотняемостью чаеиц, что

вызвано проявлением эффекта расклинивающейся давления, возникающего с уменьшением и увеличением толщины межчастичных жидкостных прослоек относительно равновесного состояния результирующих сил межчастичного взаимодействия /71,72,145/.

Вероятно это вызвано различиями в прочностях связи влаги с материалом. При одинаковых нагружениях образцов различной природы, количество жидкости, переходящей в межчастичное пространство, не одинаково. Зеленый чайный лист несколько огрубевшей структуры довольно прочно связывает влагу /29/. А при увлажнении тонкодисперсных видов чая практически вся влага, поступившая извне, может относиться к свободной, заполняющей всего лишь пористые пространства частиц, что, несомненно, облегчает ее выдавливание при уплотнении. Кроме того, водоудерживающая способность масс отличается по причине различий в химическом составе исследуемых материалов, и состояния содержащихся в них гидрофильных веществ /94,116/.

Несмотря на косвенность метода определения пластической прочности, результаты измерений при оговоренных выше условиях показали максимальные значения указанной характеристики для увлажненных тонкодисперсных видов чайной продукции при влажностях 44-51%, а для мелкодисперсных масс чайного листа - при 56-62%, что может быть учтено при разработке технологии гранулированного чая.

Прочность на разрыв или слипаемость масс является важной структурной характеристикой дисперсных материалов. Слипаемость - это непосредственная характеристика аутогезии - силового взаимодействия между соприкасающимися частицами, препятствующего их разъединению. Аутогезия обусловлена силами различной природы - молекулярными, механического зацепления, капиллярными и другими. Величина каждой компоненты аутогезии и суммарная сила аутогезии зависят от природы материала частиц, его упруго-пластических свойств, размеров, формы, шероховатости частиц, наличия адсорбционных пленок, температуры, влажности, от степени сближения частиц или от силы поджима их друг к другу /72/. Вместе с тем, принято проводить измерения слипаемости при предварительном уплотнении образца под нагрузкой 50 кПа /6/, что отражено в СТП 3251-32-84(НИИОГАЗ), согласно которого проводились испытания /100/. Причем ввиду того, что в  $1 \text{ см}^3$  содержится около 8000 частиц с эквивалентным диаметром 0,5 мм, то физико-механические показатели массы определяются свойствами частиц, преобладающих в смеси /67/. Это дает возможность рассматривать мелкодисперсные материалы как сплошные среды /133/. Кроме того, на прочность структуры массы при наличии влаги большое влияние оказывает содержание растворимых компонентов материала частиц, от которого однозначно зависит образование мостиков между частицами. Возможные химические реакции могут способствовать образованию фазовых контактов, а при сушке превращать их в водонерастворимые твердые вещества /22,141,143/.

Мелкодисперсные влажные массы, подготавливаемые к исследованию добавлением жидкости, проявляют максимальные значения прочностей при гораздо меньших влажностях, чем массы, полученные диспергированием завяленного чайного листа.

Рис.2.5.2. Зависимость пластической прочности мелкодисперсных масс от нагрузки уплотнения и влажности

o - тонкодисперсные виды чайной продукции ;

●- мелкодисперсные массы из диспергированного зеленого чайного листа;

I - 1,5н; 2 - 12,5н; 3 - 23,5н; 4 - 31,5н.

P- пластическая прочность, кПа;

W- относительная влажность, массы, %.

На рисунке 2.5.3 приведены результаты определения разрывной прочности в зависимости от влажности, преобладающего размера и природы материала частиц.

Как видно из рисунка 2.5.3 с уменьшением преобладающего в смеси размера частиц максимальные значения слипаемости смещаются в сторону уменьшения влажности и превышают максимумы для более грубодисперсных масс. Следует отметить, что при впитывании влаги чайные частицы несколько разбухают и размягчаются, что может повышать площадь контакта и интенсивность взаимодействия их между собой. Показатели разрывной прочности для мелкодисперсных масс из листового материала превышают соответствующие величины тонкодисперсных видов чайной продукции. Вероятно это объясняется перечисленными выше причинами, существенным фактором из которых является химический состав.

Максимумы слипаемости для мелкодисперсных масс из листьев чая наблюдаются при влажностях 58-65%, а для увлажненных тонкодисперсных видов чайной продукции - при влажностях 55-58%.

Полученные величины слипаемости как для диспергированных чайных листьев, так и для увлажненных тонкодисперсных видов чайной продукции могут быть отнесены согласно классификации дисперсных масс по СТП 3251-32-84 к слабослипающимся.

Рис.2.5.3. Значения прочности на разрыв мелкодисперсных чайных масс различной влажности

- - чайная крошка (размер частиц 0,5-0,6 мм);
- - чайная высевка (размер частиц 1,0-1,2 мм);
- - мелкодисперсные массы чайного листа (размер частиц 0,5-0,6 мм);
- - мелкодисперсные массы чайного листа (размер частиц 1,0-1,2 мм).

Важно подчеркнуть, что в обоих случаях максимальные значения разрывной прочности с увеличением размера частиц проявляются при больших влажностях, хотя известно, что с уменьшением удельной поверхности порошка, количество жидкости, необходимое для создания на поверхности частиц тонкой активной пленки, уменьшается /72/. Однако частицы чая большего размера впитывают большее количество жидкости, чем. Кроме того, чем больше размер частиц, тем больше расстояния между ними, а для достижения максимальных значений разрывной прочности, требуется большее количество жидкости, обеспечивающей рост сил связи на растяжение между частицами /180/. Указанные соотношения имеют решающее значение при выборе методов гранулирования и разработке рациональных режимных параметров его проведения..

Если предусматривается гранулирование материала методом окатывания, то необходимо изучение его поведения под действием силы тяжести, без прикладываемых внешних формующих нагрузок. Такими показателями, комплексно характеризующими текучесть материала, являются углы обрушения и естественного откоса. При сильно переувлажненных материалах их определение практически невозможно по причине усиливающейся с ростом влажности способности к сводообразованию, самоагрегированию, а также истечению материала из измерительных емкостей без образования конуса, что не позволяет проводить измерения. Проведенные нами на приборах /99/ определения указанных характеристик, показали практически отсутствие различий их величин при одинаковых дисперсных составах и влажностях менее 45% тонкодисперсных видов чайной продукции и дисперсных масс, полученных из чайного листа. Вероятно, это объясняется тем, что частицы чайных масс при указанных влажностях на поверхности содержат недостаточное количество жидкости, чтобы проявление различий в химическом составе было замеченным. Следует отметить, что при влажностях масс более 70%

наблюдается значительное осложнение измерения ввиду перехода взаимодействия между частицами в режим гидростатического трения, что вызывает растекание материала /72/.

Результаты исследования представлены на рисунке 2.5.4..

Рис.2.5.4. Углы обрушения и естественного откоса мелкодисперсных чайных масс  $\alpha$ ,  $\alpha'$ - соответственно углы естественного откоса и обрушения, град. ;  
W- относительная влажность масс, %;  
 $\Delta$  - влажные тонкодисперсные вида чая;  
 $\blacktriangle$  - массы из диспергированного, листа.

Как видно из рисунка 2.5.4 максимальные значения углов обрушения и естественного откоса для обоих видов дисперсных масс наблюдаются при влажностях 64-66%, что указывает на эффективные взаимодействия частиц при отсутствии внешних нагрузок.

Все приведенные выше результаты исследований физико-механических и структурных свойств увлажненных тонкодисперсных видов продукции и дисперсных масс измельченного листа могут быть использованы при разработке технологии производства горошкообразных и зернистых видов чая. Они являются важными технологическими характеристиками материалов, учитываемыми в технологических расчетах / 4 /. К примеру, увеличение аутогезионной способности масс с ростом углов естественного откоса и обрушения по мере увлажнения материала до определенного предела показывает возрастание его противодействия разрушению под действием собственной тяжести, а также повышение сцепляемости частиц в индивидуальных контактах. При таких величинах влажностей наиболее активно начинают проявляться способности массы к самоагрегированию. Поэтому для придания направленности этому процессу возможно гранулировать материал методом окатывания. Однако, если для проведения процесса окатывания вполне достаточно поддерживать соответствующую влажность материала, то полученные гранулы требуемого дисперсного распределения не всегда могут удовлетворять цели технологии, так как после высушивания и удаления связывающих жидкостных прослоек между частицами не во всех случаях происходит образование прочных фазовых контактов через отвердевшие сгустки сухого вещества, находившегося в жидкой среде. Указанное выше обстоятельство прежде всего вызвано различием в химическом составе гранулируемых материалов.

Согласно проведенных нами предварительных опытов по окатыванию увлажненных мелкодисперсных масс из чайного листа и тонкодисперсных видов чая, отмечается указанный выше факт. Причем окатывание обоих масс, проводимое при совершенно идентичных параметрах, позволяет получить гранулированный влажный продукт сферической формы с необходимым распределением гранул по размерам. Однако при высушивании гранул из тонкодисперсных видов чая не наблюдается упрочнения их структуры ввиду практически отсутствия комплексообразования между частицами. Доведение концентрации связующего вещества до 10% сухих веществ за счет применения чайного экстракта, незначительно повышает их механическую прочность, хотя существенно понижает диспергируемость (до 20%) гранул в воде при заваривании. Мелкодисперсные массы из чайного листа (превалирующий размер частиц 0,5-0,7 мм) в процессах гранулирования и высушивания сферообразных агломератов, вероятно обеспечивают более активное взаимодействие составляющих их частиц, так как прочность гранул после удаления влаги значительно возрастает, а также не наблюдается диспергирование продукта при заваривании.

Однако при наличии частиц большего размера (превалирующий размер 2,0-2,5 мм) для проведения процесса их окатывания требуется несколько повышать влажность материала, а полученные гранулы отличаются преобладанием неправильных форм и большим разбросом в размерах. Высушивание таких агломератов осложняется, хотя

высушенные гранулы и не диспергируются в воде, обладают недостаточной механической прочностью, что не позволяет применять окатывание как метод гранулирования масс с указанным дисперсным составом.

Следовательно, для создания условий более интенсивного взаимодействия масс как с более крупными преобладающими размерами частиц диспергированного чайного листа, так и увлажненным связующим веществом тонкодисперсных видов чайной продукции, следует применять методы формирования, основанные на внешних воздействиях, способствующих усилению поджима и механического сцепления частиц.

Как видно из приведенных выше данных, с ростом внешней нагрузки наибольшим прочностям уплотненной массы соответствуют меньшие значения влажности. Однако наивысшие показатели слипаемости, определенные даже при больших уплотняющих нагрузках, наблюдаются при несколько больших влажностях. Это дает возможность предположить, что в пределах влажностей между максимальными значениями уплотняемости и прочности на разрыв может наблюдаться как достаточная плотность сформированного под нагрузкой материала, так и необходимая пластичность, обеспечивающая некоторое изменение формы агрегатов при дополнительной их обработке без опасений диспергирования на составные частицы. Такой подход к разработке технологии горошкообразного чая позволяет применить гранулирование увлажненных масс в два этапа: на первом - продавливание через калиброванные отверстия, на втором - окатывание полученных жгутов в сферообразные гранулы.

Несколько большее уплотнение материала, обработанного таким способом, по сравнению только с окатыванием, позволяет увеличить активные площади взаимодействия исходных частиц, значительно усилив при этом их взаимозацепления, что обеспечивает повышение механической прочности высушенных агломератов и практически исключает их диспергирование на составные части при заваривании.

Следует отметить, что рациональное проведение процессов "превращения" мелкодисперсных масс в гранулированные с требуемыми конечными свойствами, во многом зависит как от специфических свойств исходных материалов, так и от технологии их переработки в комплексе с машинно-аппаратурным обеспечением. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо установление режимов работы применяемого оборудования, обеспечивающих максимальный выход целевого продукта.

### **Глава 3. Разработка технологических схем производства горошкообразного черного чая из сырья различной кондиции**

#### **3.1. Оценка гранулируемости и выбор методов переработки дисперсных чайных масс**

Для разработки наиболее рациональных режимных параметров работы оборудования в технологических процессах необходимо прежде всего определить требуемые характеристики целевого продукта, а также условия, обеспечивающие наилучшую переработку исходного материала.

Одной из важных, основополагающих гранулирование, характеристик материала является оценка его формуемости. Гранулируемость увлажненной массы можно оценить по показателю комкуемости дисперсного материала. /22/. Очевидно, что гранулы, полученные окатыванием мелкодисперсных масс из чайного листа и увлажненных тонкодисперсных видов чая различаются по прочности на раздавливание во влажном состоянии ввиду некоторых различий в химическом составе соответственно частиц, так и адгезионно-когезионных свойств дисперсных сред. Однако, можно понизить прочность влажных гранул, получаемых из мелкодисперсных масс диспергированного листа, путем

предварительного переувлажнения исходной массы, и довести до уровней прочности агрегатов, образованных при окатывании увлажненных тонкодисперсных видов чая.

Полученные гранулы независимо от одинаковой прочности во влажном состоянии, обладают различными прочностями после высушивания. При этом, прочность на раздавливание, гранул из диспергированного листа составляет  $0,17-0,19 \text{ кг/мм}^2$ , тогда как из тонкодисперсных видов чая  $0,01 -0,02 \text{ кг/мм}^2$ . Исходя из вышеизложенного, указанный, метод оценки гранулируемости не учитывает прочностных свойств агломератов в сухом состоянии и не может быть однозначно применен для оценки и выбора метода гранулирования чая.

Гранулируемость различных дисперсных материалов практичнее сопоставлять по коэффициенту гранулируемости / 83 /:

$$K = \delta / R_{уп},$$

где:  $\delta$  - прочность гранул на раздавливание;  $R_{уп}$  - давление уплотнения.

В данном случае, если принять, что при одинаковых режимах работы окатывающих устройств различные материалы подвергаются идентичным воздействиям, то есть принять  $R_{уп} = \text{const}$ , то по указанному соотношению легко можно оценить влияние внешних силовых факторов на прочность структуры целевого продукта.

Оценка гранулируемости по указанному соотношению дает возможность не только классифицировать материалы по способности гранулообразования, но и обоснованно рекомендовать для разных видов масс метод гранулирования с учетом прочностных свойств конечного продукта. Чем больше коэффициент  $K$ , тем при меньших напряжениях обеспечивается одна и та же степень уплотнения, а это означает, что может быть рекомендован метод окатывания. А при оценке прочности высушенных гранул и подстановке их в указанное соотношение, можно оценить степень упрочнения структуры материала в зависимости от приложенных внешних сил поджима и комплексобразования между отдельными структурными единицами агрегатов после высушивания. Полученные данные корректируют выбор метода переработки. Если материал обладает малой гранулируемостью, то для его уплотнения требуются большие напряжения, что осуществимо применением метода экструзии. Определение коэффициента с учетом прочности высушенных гранул, а также проверка продукта на недиспергируемость при заваривании, позволяет судить о необходимости применения связующего вещества.

Согласно проведенных нами исследований по упрочнению структуры агломератов, окатывание происходит наиболее эффективно при влажностях масс, соответствующих окрестностям максимальных значений углов естественного откоса и обрушения, как для увлажненных тонкодисперсных видов чая, так и для мелкодисперсных масс диспергированного листа. Следует отметить, что наиболее эффективное уплотнение материала при окатывании наблюдается при достижении им степени объема не менее  $0,52 / 130 /$ . При этом разрывная прочность влажных гранул определяется из соотношения /222,233/:

$$F_t / A = (1 - \Pi) \cdot F / (\Pi \cdot d^2)$$

где:  $F_t$  - сила, необходимая для разрыва агломерата с площадью поперечного сечения  $A$ ;

$\Pi$  - пористость;

$F$  - среднее значение результирующей всех сил взаимодействия частиц в контакте;

$d$  - эквивалентный размер (диаметр) частиц, из которых состоит агломерат.

Согласно представленной зависимости, при одинаковых значениях площади поперечного сечения сферообразных гранул, прочность на разрыв прямо пропорциональна силе взаимодействия частиц в агломератах и обратно пропорциональна размерам частиц.

Вместе с тем известно, что с ростом диаметра агрегатов их плотность уменьшается /109,231/. Следовательно уменьшается и удельная прочность. На основании вышеизложенного, следует отметить, что нахождение оптимальных размеров агломератов является необходимым, так как при гранулировании могут образоваться агрегаты широкого спектра размеров. При установленных требуемых геометрических размерах гранул, необходима оптимизация процесса окатывания, с целью определения технологических параметров работы оборудования, при которых возможен максимальный выход целевого продукта заданных характеристик.

Согласно определенных нами величин прочности высушенных гранул, полученных: методом окатывания, учитывая соотношения для коэффициента гранулируемости и разрывной прочности влажных агломератов, а также структурно-механические и физико-химические характеристики мелкодисперсных влажных чайных масс (см.гл.2.5.), можно заключить, что для влажных чайных масс, полученных диспергированием чайного листа до мелкодисперсного состояния, можно применить гранулирование методом окатывания без предварительного уплотнения; при несколько грубом измельчении листовой массы - экструдирование с последующим окатыванием экструдатов; а для тонкодисперсных видов чая - увлажнение связующим и обогащающим веществом, экструдирование и окатывание экструдатов с целью получения гранул зернистой и горошкообразной формы.

### 3.2. Определение рациональных размеров гранул с учетом их окислительной способности при ферментации

При достаточно тонком измельчении листовой чайной массы, практически до размеров частиц порядка 0,5-1,2 мм, то есть в случае получения влажной мелкодисперсной массы, воздухопроницаемость слоев материала значительно уменьшается (см.гл.2.2.) Самоагрегирование мелкодисперсной массы при незначительных внешних воздействиях способствует повышению воздухопроницаемости слоя. Поэтому, остается выяснить, при каких размерах агломератов горошкообразной формы протекание окислительных процессов будет наиболее интенсивнее и практически равномерным во всех слоях внутренней структуры гранул.

При этом исследованию подвергались гранулы диаметром 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 мм. Ферментацию проводили в слое толщиной 60 мм, при температуре окружающего воздуха 25-26°C.

Мелкодисперсные массы окатывали в гранулы непосредственно после диспергирования завяленного чайного листа. Исходное содержание суммы фенольных соединений в мелкодисперсных массах составляло около 16%. Равномерность протекания окислительных процессов во внутренней структуре гранул определяли визуально, по внешнему виду центральных срезов.

Отбор проб для анализа осуществляли в трех местах по высоте слоя ферментируемой кассы. Результаты исследования представлены в таблице 3.2.1.

В мировой практике производства чая нет единого мнения об оптимальных параметрах ведения процесса ферментации чая. Если применяемый температурный режим не должен превышать 32°C /11, 189,221/, то мнения об оптимальном количестве окисленных фенольных соединений расходятся и оно колеблется в пределах 25-45% /7,127, 156,162/. Однако, независимо от этого, по данным, представленным в таблице 3.2.1. можно судить о влиянии геометрических размеров горошкообразных гранул на равномерность и интенсивность протекания в них окислительных превращений фенольных соединений - основного процесса при производстве черного чая, существенно определяющего качество продукта. Как видно из таблицы 3.2.1., при размерах гранул в диаметре более 3,5 мм, протекание окислительных процессов значительно замедляется, а происходящее окисле-

ние в указанных периодах наблюдается лишь в поверхностных слоях гранул. Это характеризует неравномерность течения окислительных процессов, их анизотропность с ростом диаметра агломератов выше 3,5 мм, несмотря на возрастание при этом межагрегатной пористости в слое. Однако при размерах гранул менее 3,5 мм окислительные процессы протекают изотропно. Следовательно, размер гранул после окатывания должен быть ограничен 3,5 мм, что позволит получить наиболее качественный продукт и сократить до минимума продолжительность собственно ферментации гранул.

Таблица 3.2.1.

Влияние размера гранул на интенсивность протекания ферментации

№ пп	Диаметр гранул, мм	Продолжительность ферментации, час	Показатели		
			Сумма фенольных соединений, %	Глубина окисления, %	Равномерность окисления
1.	2,0	1,0	12,13	24,2	Равномерное
		1,5	10,78	32,6	-
		2,3	9,90	38,1	-
2..	2,5	1,0	12,18	23,9	Равномерное
		1,5	10,99	31,3	-
		2,0	9,95	37,8	-
3.	3,0	1,0	12,22	23,6	Равномерное
		1,5	11,06	30,9	-
		2,0	10,21	36,2	-
4.	3,5	1,0	12,62	21,1	Неравномер.
		1,5	11,46	28,4	Равномерное
		2,0	10,59	33,8	Равномерное
5.	4,0	1,0	12,99	18,8	Неравномер.
		1,5	12,02	24,9	Неравномер.
		2,0	11,25	29,7	Равномерное
6.	4,5	1,0	13,62	14,9	Неравномер.
		1,5	12,39	22,5	-
		2,0	11,31	29,3	-
7.	5,0	1,0	15,14	5,4	Неравномер.
		1,5	14,08	12,0	-
		2,0	13,22	17,4	-

### 3.3. Установление влияния геометрических размеров гранул на их прочностные характеристики при заваривании

Разработка технологии черного горошкообразного чая невозможна без изучения влияния размеров гранул на их недиспергируемость при заваривании - одного из важных показателей качества продукта.

В процессе высушивания гранулы уменьшаются в размерах и приобретают структурную прочность как за счет механического сцепления частиц мелкоизмельченного чайного листа, подвергающихся короблению и усадке при обезвоживании, так и по причине образования твердых мостиковых связей в контактных областях, определяющих, кроме указанного и недиспергируемость агломератов при заваривании. Очевидно, что адсорбированные на поверхности частиц экстрактивные вещества также способствуют после высушивания чая созданию механической прочности гранул. Вместе с тем, при заваривании они переходят в настой, что может заметно влиять на стойкость гранул. Однако, следует отметить, что практически все гранулы, полученные из мелкодисперсных масс измельченного чайного листа не диспергируются в воде при заваривании. Это можно объяснить образованием нерастворимых комплексов в местах контактов между частицами мелкодисперсных масс.

Кроме того, известно, что структурная прочность дисперсного тела существенно зависит от его пористости. Согласно модели пространственной структуры /130/, при пористости не более 26% сохраняется достаточная плотность дисперсного материала. При большем понижении пористости, прочность индивидуальных контактов, определяющая в совокупности прочность тела, увеличивается незначительно. Вместе с тем, согласно полученных нами данных (см.гл.2.4.) пористость частиц высушенного чайного листа составляет 11,9-15,6%. Следовательно, если пористость агломератов будет превышать пористость частиц, но не будет превышать 26%, возможно получить гранулы, быстро пропитываемые и экстрагируемые при заваривании (см.гл.2.5), а также обладающие достаточно высокой механической прочностью. Поэтому технология переработки мелкодисперсных масс должна обеспечивать получение агломератов с указанными структурными свойствами. Пористость гранул, полученных окатыванием мелкодисперсных масс чайного листа, после высушивания не превышает 26% (см.гл.3.5}. Причем механическая прочность высушенных гранул на раздавливание при их размерах от 2,0 до 3,0 мм составляет 0,2-0,3 кг/мм<sup>2</sup>. Кроме того, впитывание влаги чайными частицами при экстрагировании сопровождается их набуханием. Коэффициент набухания для чая составляет 0,2-0,3 / 98 /.

Перечисленные выше характеристики были использованы в виде базовых параметров для разработки математической модели, определяющей влияние выхода экстрактивных веществ на внутренние напряжения при заваривании гранулированного чая различных размеров.

Известна математическая модель, определяющая оптимальный размер измельченного перед экстрагированием растительного материала / 98 /. Однако в ней не ставится задача сохранения целостности экстрагируемого материала ввиду монолитности его структуры. Гранулированный же продукт, образованный из мелких частиц, обладает специфическими для дисперсного тела структурными свойствами. Поэтому, нами была составлена математическая модель, учитывающая указанные различия.

При построении математической модели допускали, что гранула представляет собой идеальное сферическое тело, имеющее изотропные физико-механические свойства, то есть равномерное распределение пор, плотности и сухих экстрактивных веществ во всех направлениях, время проникновения жидкости в гранулу считалось ничтожно малым по сравнению с временем выхода экстракта и поэтому не учитывалось.

Итоговое выражение для расчета напряжения разрушения в грануле при заваривании имеет вид:

$$E(t) = E(t - \Delta t) + \Delta t / R \cdot \sqrt{-2R(-F+1/\rho[\eta \cdot \int_0^R [\partial C(r_o,t)/\partial t] \cdot 4\pi \cdot (r_o)^2 dr_o / [k \cdot C(R,t) \cdot S]]]}$$

где: E - напряжение, возникающее в грануле;

$R$  - радиус гранулы;  $\rho$  - плотность гранулы;  
 $r_0$  - произвольная точка элементарного объема;  
 $F$  - удельное сопротивление разрушению;  $\eta$  - вязкость жидкости;  
 $C(R,t)$  - концентрация экстрактивных веществ на поверхности гранулы;  
 $[\partial C(r_0,t)/\partial t]$  - изменение массы экстрактивных веществ в элементарном объеме гранулы в единицу времени;  
 $K$  - коэффициент проницаемости среды.

Расчеты по модели производились на ЭВМ, обработкой соответствующей программы, составленной на языке "Фортран"/103/. Блок-схема программы представлена на рисунке 3.3.1..

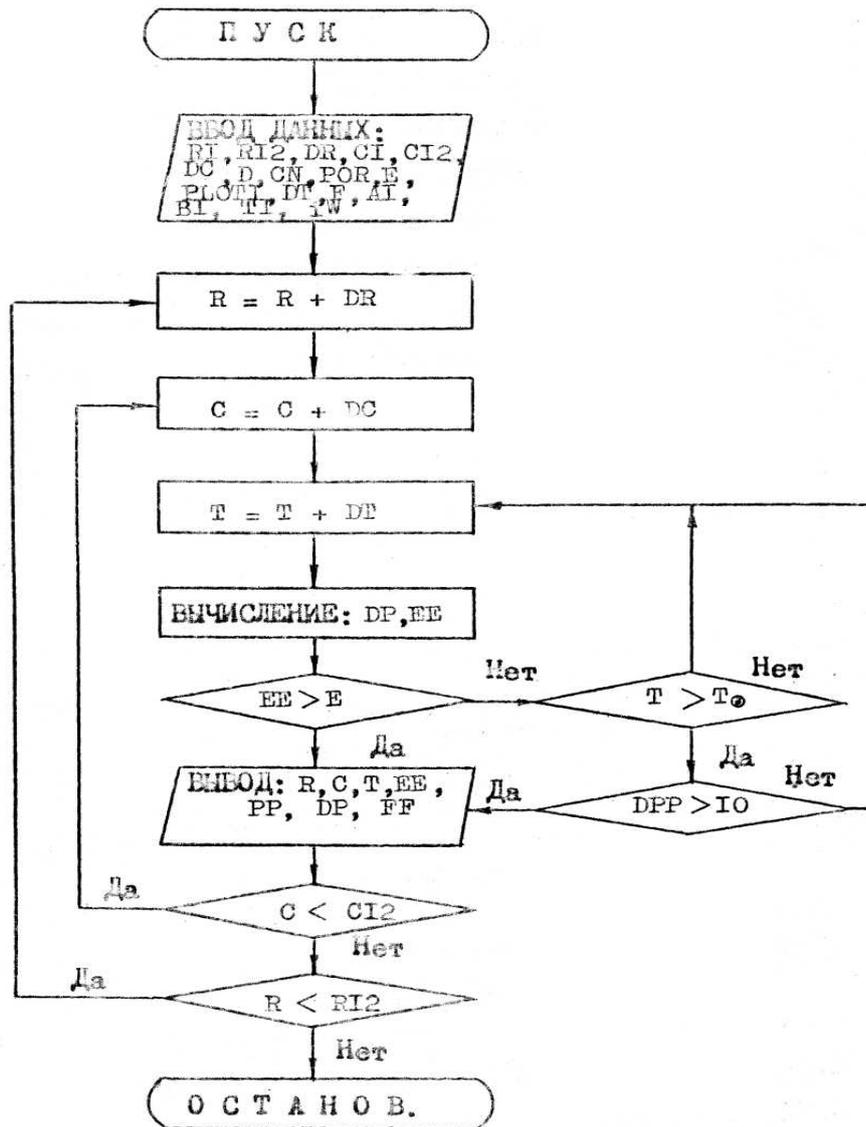


Рис.3.3.1. Блок-схема решения модели по соответствующей ей программе.

Примечание: величина  $T_0$  - продолжительность экстракции берется произвольно, обычно от 300 до 900 сек.

Полученные результаты показывают, что с ростом диаметра гранул резко возрастает осмотическое давление и, следовательно уменьшается их прочность при всех прочих равных условиях. Модель четко показывает, что даже при одинаковых удельных прочностях и скорости экстрагирования, гранулы меньших диаметров лучше сохраняют свои прочностные свойства. Вместе с тем, согласно моделей /212,236/ для сферических

гранул скорость выхода экстрактивных веществ возрастает с уменьшением их размеров. Теми же авторами установлено, что для чая одинакового химического состава это возрастание зависит только от размеров агломератов. Согласно полученных нами (см.гл.3.2.) размеров равномерно ферментирующихся гранул, составляющих не более 3,5 мм, их диаметр после высушивания не превышает 2,5 мм. Кроме того, влажные гранулы больших размеров, значительно хуже высушиваются.

Как показывают расчеты по разработанной модели, при размерах гранул не более 2,5 мм, они подвергаются наименьшему влиянию осмотического давления, обусловленного выходом экстрактивных веществ при заваривании.

На основе полученных результатов можно заключить, что независимо от применяемого способа агломерации, следует получать гранулы во влажном состоянии диаметром не более 3,5 мм.

#### 3.4. Интенсивное измельчение чайного листа как метод интенсификации технологических процессов производства черного чая

В работах / 92,127 / показаны изменения в тканях чайного листа при измельчении массы в машинах шнекового типа, а в / 187,203 / также некоторые особенности изменения структуры листьев в зависимости от применяемых машин. При скручивании в роллере происходит сдавливание внутриклеточных пространств, что ограничивает проникновение кислорода воздуха в ткани листа, а активное окисление происходит преимущественно в тонком слое клеточного сока, покрывающем чайные частицы. Измельчение чайного листа в машине "Роторвейн", воздействующей на лист в том же ключе, что и отечественные шнековые измельчающие машины, сопровождается получением частиц со сдавленными краями, эпидермис которых незначительно повреждается, что способствует изоляции частиц и ограниченному проникновению кислорода во внутренние ткани. В противоположность этому, при более интенсивном измельчении на машинах С.Т.С. и Л.Т.Р. лишь ограниченные места ткани претерпевают сдавливание и, сообщаемые внутриклеточные воздушные пространства, остаются неповрежденными. Частицы чая, полученные этими способами, имеют типичные неправильной формы разорванные края, причем отмечается значительное повреждение эпидермиса, что обеспечивает газообмен внутри частицы. При таких способах измельчения получают частицы более мелких размеров, что сопровождается увеличением активной удельной поверхности, открытой для контакта с атмосферой. Теми же авторами отмечается, что переработка чайного листа методом измельчения в Л.Т.Р. также эффективна, как и в С.Т.С., а благодаря простоте и надежности способа Л.Т.Р. он может быть автоматизирован /187/. Применение в процессе скручивания-измельчения машин шнекового типа также дает положительный эффект /178/. Причем во всех случаях несколько повышенная влажность листа после завяливания незначительно влияет на интенсивность биохимических процессов, в большей степени определяющуюся размерами частиц /209,224/. Кроме того, отмечается повышение качества продукта, полученного тонким диспергированием листа при повышенных влажностях после завяливания /190,243/.

Следует отметить, что при переработке чайного листа огрубевшей и грубой структуры методом С.Т.С. качественные показатели чая несколько ухудшились по причине чрезмерного диспергирования одревесневших частей побегов /171/. В настоящее время уменьшение содержания грубых частей побегов в заготавливаемом листовом материале позволяет получить качественный чай тонким диспергированием всей массы. Практически полное раздавливание клеточной структуры отмечается при размерах диспергированных частиц порядка 1.2-1,5 мм. Поэтому, нет необходимости ограничивать нижний предел степени измельчения листа, так как с уменьшением размеров частиц интенсивность разрушения клеточной структуры увеличивается. При такой постановке задачи становится возможным использование устройств для измельчения, разработанных

в смежных отраслях промышленности, в сочетании с разработанным в чайной промышленности оборудованием.

Наиболее приемлемыми установками для измельчения чая оказались машины "Волчок" Б2-ФД-2Б производства Днепропетровского завода "Пищемаш" после некоторой модернизации и дезинтеграторная установка конструкции (СКТБ Таллиннского НПО "Дезинтегратор". Модернизированная машина Б2-ФД-2Б шнекового типа, в которой мятие и измельчение листовой массы осуществляется как при продвижении материала вращающимся шнеком, так и в измельчающих элементах в виде разрывающих и режущих трехкрыльчатых ножей, установленных в специальной камере у выходного торца машины в совокупности с калиброванными диафрагмами. Установка СКТБ "Дезинтегратор", называемая как УДА (универсальный, дезинтегратор-активатор), в отличие от обычных дезинтеграторов, является не только помольным агрегатом, подобным L.T.P. УДА - это компактная установка, оснащенная роторами, футерованными износостойкими материалами. Обработка различных масс в установке, быстро следующими один за другим ударами вальцов, укрепленных на вращающихся в противоположные стороны роторах, вызывает их измельчение и активацию придавая новые свойства. При этом лишь часть энергии, затрачиваемой при механическом воздействии на материал, превращается в тепловую, а остальная часть накапливается в нем, что способствует росту прочности агломератов, из таким образом полученных мелкодисперсных частиц /152/.

Эффективность применения указанных машин для измельчения чайной массы видна из полученных результатов, представленных в таблице 3.4.1. Опыты проводились по следующим схемам:

1. Завяленный до влажности 66-68% чайный лист двукратно измельчали в роторно-скручивающей машине (РСМ).

2. Завяленный чайный лист измельчали последовательно в РСМ и Б2-ФД-2Б машинах.

3. Завяленный чайный лист перерабатывали аналогично второму варианту, после чего измельченную массу сепарировали на установке Б2-ЧСЖ, крупную фракцию измельчали в УДА установке.

4. Завяленный чайный лист перерабатывали последовательно измельчением в РСМ, Б2-ФД-2Б и УДА установке.

5. Завяленный чайный лист перерабатывали последовательно в РСМ и УДА установке.

6. Завяленный чайный лист измельчали только в УДА установке.

Использование в технологических опытах РСМ для предварительной обработки листа объясняется ее способностью эффективно работать при разных режимах загрузки благодаря возможности саморегулирования объема рабочей камеры, а тем самым и давления на массу листа.

Как видно из представленных в таблице 3.4.1. результатов, наивысшая степень измельчения чайной массы, а также и количество раздавленных клеток отмечается при применении четвертой схемы. Однако в этом случае несколько затрудняется интенсивное протекание ферментативных процессов по причине самопроизвольного агрегирования и усиленного поглощения кислорода воздуха во внешних слоях (см. гл.2.2 и 3.2), что требует упорядочения агрегации одним из известных методов. При диспергировании материала по третьей схеме достигается довольно высокий уровень разрушения клеточной структуры, а полученные частицы не способны к самоагрегации, что обеспечивает равномерное протекание ферментации во всей массе.

Непосредственное измельчение завяленной массы в УДА установке обеспечивает получение частиц меньших размеров, чем при двукратной обработке материала в машине РСМ, но количество разрушенных клеток меньше, так как поверхность листьев раздавлена в ограниченных местах, что вызвано некоторым проскальзыванием части листьев между

измельчавшими элементами машины. Поэтому, перед измельчением в дезинтеграторе необходимо повысить объемный вес материала предварительной обработкой листа в других установках, переработка материала по второй схеме обеспечивает более интенсивное раздавливание клеточной структуры и измельчение материала, чем по первой, что показывает целесообразность применения модернизированной машины В2-ФД-2Б. После создания РСМ нового поколения с участием автора / 43 /, подобные результаты были получены при последовательном двукратном измельчении листа в машине РСМ. По причине удобства в обслуживании две РСМ были последовательно включены в

Таблица 3.4.1.  
Сравнительные показатели различных методов и схем диспергирования чайного листа

№ пп	Показатели	С х е м ы					
		1	2	3	4	5	6
I.	Степень измельчения:						
	- нежной фракции	11,5	21,8	21,8	54,8	18,6	12,8
	- огрубевшей фракций	9,4	16,8	30,3	40,2	16,9	10,3
2.	Количество разрушенных клеток, %:						
	- в мелкой фракции	70-73	90-93	90-93	95-98	85-88	68-70
	- в крупной фракции	65-68	78-82	85-88	90-96	72-75	62-65
3.	Средневзвешенный размер измельченных частиц чайной массы, мм	5,3- 6,4	2,8- 3,2	2,2- 2,6	0,8- 1,0	3,0- 3,5	4,6- 5,1

Таблица 3.4.2.  
Изменение содержания фенольных соединений в процессе ферментации чайного листа, обработанного разными способами

№ пп	Прод. Ферментации, мин	Лист скрученный в роллере		Лист обработанный по схеме 1		Лист обработанный по схеме 2	
		Сумма фенольных соединений	Содержание фенольных соединений от завяленного листа, %	Сумма фенольных соединений	Содержание фенольных соединений от завяленного листа, %	Сумма фенольных соединений	Содержание фенольных соединений от завяленного листа, %
1	Завяленный лист	17,23	100,0	17,23	100,0	17,23	100,0
2	30	15,85	91,99	15,18	88,10	14,81	85,95
3	60	14,76	85,66	13,48	78,24	12,94	76,10
4	90	13,76	79,86	12,09	70,17	11,53	66,92
5	120	12,88	74,75	11,18	64,89	10,57	61,35
6	150	12,13	70,40	10,49	60,88	-	-
7	180	11,49	66,69	-	-	-	-

8	210	10,96	63,61	-	-	-	-
9	240	10,58	61,40	-	-	-	-

поточную линию ЮИАК 101171.001. Выход гранулированного чая при этом составил 30-35%, остальную часть продукции составил мелкий интенсивно скрученный чай.

В таблице 3.4.2. представлены результаты исследования изменения содержания фенольных соединений после обработки завяленной чайной массы согласно схемам I и 3, а также при ее скручивании в роллере в течение 45 мин. Все три партии листовой массы ферментировали в одинаковых условиях при температуре 25-26°C и относительной влажности воздуха 95-96%. Через каждые 30 мин от начала скручивания-измельчения из всех трех партий отбирали средние пробы и определяли в них содержание фенольных соединений. Ферментацию продолжали до уменьшения содержания фенольных соединений примерно до 60% от завяленного листа.

### 3.5. Оптимизация процесса окатывания мелкодисперсных влажных чайных масс в барабанном грануляторе

В процессе окатывания в барабанном грануляторе чайная мелкодисперсная масса приобретает вид сферообразных гранул. Однако для получения агломератов требуемых размеров возникает необходимость установления оптимальных параметров работы барабанного гранулятора. Кинетика и, вытекающий из нее, механизм процесса определяются в существенной мере как конструктивными особенностями применяемых аппаратов, так к спецификой движения комкуемого материала в грануляторе /19,22,48,83/. Гранулирование окатыванием нашло широкое применение в различных отраслях промышленности /19,20,83,111/. Конструкции барабанных грануляторов и принцип их работы довольно хорошо изучены /115,126,217,235/, получены математические модели с учетом механизма роста и разрушения гранул, уравнения их баланса /213,215,216,232/.

Масса, формующаяся при вращении барабана, перемещается как в его поперечном сечении, так и в осевом направлении. Движение гранулятора может осуществляться либо в режиме обкатывания, либо в челночном режиме, в зависимости от фрикционных свойств материала и скорости вращения барабана. При комковании полидисперсных материалов во вращающемся барабане при малых оборотах образуются гранулы большего размера из несколько крупных частиц, а при высоких скоростях вращения - значительно меньшего размера и преимущественно из мелких частиц. Скорость роста гранул существенно зависит от влажности и дисперсного состава материала.

В основе гранулирования дисперсных материалов методом окатывания лежат явления агрегации частиц увлажненной массы в центробежно-гравитационном поле. Необходимым условием для осуществления эффективного комкования является гидрофильность поверхности частиц. Материал смачивается когда энергия взаимодействия жидкости с его поверхностью (адгезия) превышает энергию связи молекул жидкости между собой (когезию). Клеточный сок листьев хорошо смачивает поверхность частиц. Адгезионная и когезионная способности взаимодействия жидкостных прослоек определяются наличием в растворе и на поверхности частиц реакционно активных групп, что зависит от химического состава чайного листа, чем и определяется прочность влажных и высушенных агломератов.

Учитывая общие закономерности мокрой агрегации, при окатывании чайных мелкодисперсных масс, возникает необходимость установления рациональных технологических регламентов проведения процесса окатывания с учетом специфических свойств чая.

Для осуществления гранулирования окатыванием мелкодисперсных чайных масс был разработан барабанный гранулятор Б2-ЧЛГ/ 1 / 26 / (рис.3.5.1).

Рис.3.5.1. Схематическое изображение барабанного гранулятора Б2-ЧЛГ/1  
 1 - барабан; 2 - продольный вал; 3 - спицы крепления; 4 - загрузочный вибрационный жёлоб; 5 - форсунка-увлажнитель; 6,7 - соскабливающие механизмы; 8 - перемешивающие элементы; 9 - выгрузочное устройство; 10 - устройство, регулирующее угол наклона вала к горизонту; 11 - отверстия в валу для санобслуживания; 12 - цепная передача; 13 - редуктор; 14 - электродвигатель.

Определение функциональных зависимостей, характеризующих процесс, осуществлялось многофакторными экспериментально-статистическими методами [37]. В качестве критериев оптимизации были выбраны:  $Y_1$  - количество сгранулированной массы,  $Y_2$  - доля гранул с размерами менее 3,5 мм. Обработкой указанных результатов получены математические модели, адекватно описывающие изучаемый процесс.

В кодированных переменных они имеют вид:

$$Y_1 = 80,8 + 10,52 X_1 + 3,59 X_2 + 3,94 X_3 - 0,69 X_1 \cdot X_2 - 2,57 X_1^2 - 2,61 X_2^2 - 2,22 X_3^2$$

$$Y_2 = 85,2 - 1,15 X_1 + 2,42 X_3 + 1,68 X_1 \cdot X_2 + 0,78 X_1 \cdot X_3 - 1,33 X_2 \cdot X_3 - 2,82 X_1^2 - 1,82 X_3^2$$

или в исходных переменных

$$Y_1 = -624,48 + 16,342W + 6,688v + 1,544\tau - 0,0276Wv - 0,0092W\tau - 0,1028W^2 - 0,1044v^2 - 0,0099\tau^2$$

$$Y_2 = -293,37 + 12,726W - 3,7485v + 0,405\tau + 0,0672Wv + 0,0104W\tau - 0,0177v\tau - 0,1128W^2 - 0,0081\tau^2$$

Задача оптимизации процесса заключалась в нахождении таких параметров его ведения, при которых достигается максимально возможное гранулирование массы, с наивысшим выходом продукта приемлемых размеров. Математически это выражается в определении  $Y_1 = f(W, v, \tau) \rightarrow \max$  при следующих ограничениях:

$$Y_2 = f_2(W, v, \tau) \geq 85; \quad 56 \leq W \leq 74; \quad 10 \leq \tau \leq 60$$

Результаты решения поставленной задачи, определенные на по программе "FLEXIPLEX" [46], приведены в таблице 3.5.1. [103].

Таблица 3.5.1.

Результаты решения оптимизационной задачи

№ пп	Значение технологических параметров			Величина критериев оптимизации	
	влажность мелкодисперс-	Частота вращения барабана,	Продолжительность окатыва-	количество сгранулирован-	доля гранул требуемого

	ной массы, % W	об/мин v	ния, сек τ	ной массы, % Y <sub>1</sub>	размера, % Y <sub>2</sub>
1	63,6	22,0	48,8	80,72	85,04
2	65,1	23,6	46,6	84,15	85,20
3	65,2	22,1	50,1	84,01	85,18
4	65,5	19,8	51,5	83,30	85,58
5	65,8	25,2	35,3	86,40	85,20
6	66,5	24,1	47,2	86,42	85,78
7	67,2	21,9	41,2	83,00	84,99
8	67,7	23,2	44,7	88,17	84,81
9	66,4	27,8	30,4	81,10	84,99

Согласно полученных результатов, наилучшие показатели по выбранным критериям оптимизации достигаются при следующих режимах:

$$W=66,5-67,7\%; \quad v = 34,1-23,2 \text{ об / мин} \quad ; \quad \tau = 47,2-44,7 \text{ сек}$$

Следует отметить, что полученные в результате оптимизации окатывания требуемые величины влажности мелкодисперсной массы, определяемой остаточной влажностью после завяливания чайного листа, не противоречат условиям производства качественного чая при переработке заготавливаемого материала /156,190,196,242/.

Пористость влажных гранул, полученных методом окатывания, с пересчетом на 4% влажность чая, составляет в среднем 34-39%, что не обеспечивает максимально возможного упрочнения структуры, так как при пористости лишь менее 26% могут быть достигнуты предельные плотности материала /130/. Однако при указанных влажностях наблюдается достаточно высокая слипаемость частиц мелкодисперсной массы (см.гл.2.5.), что обеспечивает сохранность целостности гранул. После высушивания гранул, прошедших ферментацию, происходит усадка материала, вызывающая уменьшение размеров агломератов к их пористости практически до величин менее 26%, но больше, чем у отдельных частиц чая, полученного традиционными методами. Это наглядно видно из результатов обработки РЭМ изображения гранулы известным методом /117/на ЭВМ, представленных на рисунке 3.5.2.

Как видно из рисунка 3.5.2. во внутренней структуре гранулы фактически не заметны отдельные частицы и она представляет собой пористый монолит. Этим и объясняется достаточно высокая прочность гранул на раздавливание, составляющая 0,25-0,27 кг/мм<sup>2</sup>.

Рис.3.5.2. Растровое электронно-микроскопическое изображение гранулы и анализ ее структуры

### 3.6. Оптимизация процесса экструдирования измельченной чайной массы

Одним из способов усиления взаимодействия между дисперсными частицами влажных чайных масс может быть увеличение активных контактных площадей под действием внешних сил поджима. С этой целью в различных отраслях промышленности применяются специальные устройства - экструдеры /73,74,88,97,109/. Формирование новых свойств влажной массы в экструдерах заключается в продавливании ее через матрицы с калиброванными отверстиями. В результате, материал принимает форму цилиндрических жгутов с определенными реологическими свойствами.

Общие закономерности уплотнения и формования экструдатов, а также конструкции экструдерных установок довольно широко освещены в многочисленных работах /15,111,200/.

Необходимым условием осуществления эффективного экструдирования является наличие в формирующейся массе жидкой фазы, образующей гидродинамический слой между материалом и стенками отверстий в матрице экструдера, а также обеспечивающей как относительное перемешивание частиц при их уплотнении, так и появление сил поверхностного давления. Перевешивание материалов в экструдере сопровождается активным перераспределением жидкости между частицами материала с образованием на их поверхности сплошных пленок, сливающихся при уплотнении частиц с образованием в местах контакта жидкостных мостиков.

Для достижения требуемого технологического эффекта, то есть получения гранул сферообразной формы, необходимо окатать экструдаты. Такой процесс в гранулировании принято называть марумеризацией /111,200/, которую осуществляют в специальных устройствах или в барабанных грануляторах /21/. Поэтому процесс экструдирования должен обеспечить как достаточную прочность экструдатов, так и их мягкость, что необходимо для эффективного осуществления марумеризации. С учетом установленных нами требуемых размеров гранул (см. гл.3.2.) червячные экструдерные установки с продольным продавливанием оборудуют торцевыми матрицами с отверстиями, диаметром не более 3,5 мм.

Так как остаточная влажность чайного листа после завяливания практически соответствует окрестностям влажностей мелкодисперсных масс, при которых они проявляют достаточно высокие значения прочности на разрыв и свойства уплотняемости, регулирование протекания процесса экструзии можно осуществить определив необходимую пористость экструдатов. Очевидно что в этом случае она должна превышать значения, соответствующие предельно плотным упаковкам частиц, одновременно обеспечивая достаточную плотность, с целью устранения полного диспергирования экструдатов, которое при марумеризации происходит в локальных, наименее прочных областях. Поэтому пористость экструдатов должна быть более 26%, но менее 45% /130,222,233/, что соответствует степени заполнения объема от 55% до 74%. Оптимизация экструдирования позволяет установить влажность и размеры частиц чая, при которых будет максимальным выход экструдатов с требуемыми свойствами. При этом, отношение сформованной массы к исходному количеству материала может быть объективной оценкой эффективности экструдирования и представляет собой степень формованности.

Для решения поставленной задачи применяли метод полного факторного эксперимента /103/.

В результате обработки экспериментальных данных известными методами /37/, получены следующие уравнения в кодированных переменных, адекватно описывающие процесс:

$$Y_{\phi} = 0,7175 + 0,0175 X_1 - 0,0525 X_2$$

$$Y_g = 0,91 - 0,02X_1 + 0,04X_1 \cdot X_2$$

или исходных переменных:

$$Y_{\phi} = 1,225 + 0,0175 \delta - 0,00875 W$$

$$Y_g = 1,776 - 0,4332 \delta - 0,0133 W + 0,0067 \delta W$$

При этом, задача оптимизации состоит в нахождении  $Y_g(\delta, W) \rightarrow \max$  при условиях:

$$0,55 \leq Y_\varphi(\delta, W) \leq 0,74; \quad 1 \leq \delta \leq 3; \quad 56 \leq W \leq 68,$$

где  $Y_\varphi$  и  $Y_g$  - соответственно степень заполнения объема и степень формованности.

Решение поставленной задачи осуществляли методом "скользящего допуска" на ЭВМ по программе "FLEXIPLEX " /I46/. Полученные результаты представлены в таблице 3.6.1.

Таблица 3.6.1.  
Результаты оптимизации экструдирования диспергированного чайного листа

№ пп	Средневзвешенный размер частиц до увлажнения, мм $\delta$	Влажность массы после обогащения, $W$	Степень заполнения объема $Y_\varphi$	Степень формованности, $Y_g$
1	1,09	60,9	0,71	0,94
2	1,00	62,9	0,69	0,93
3	1,35	66,4	0,66	0,91
4	1,64	62,1	0,71	0,92
5	2,14	65,9	0,68	0,92
6	1,86	67,0	0,67	0,92
7	2,45	61,5	0,73	0,91
8	1,37	61,9	0,71	0,93
9	3,00	66,9	0,69	0,93
10	3,01	67,0	0,69	0,93

Учитывая средневзвешенные размеры частиц диспергированного листа после измельчения в испытанных нами устройствах (см. табл.3.4.1.), а также по результатам оптимизации, можно принять размеры частиц перед экструдированием в пределах 1,86-3,00 мм., а влажность массы после завяливания 66-67%. При этом степень формованности составляет 92-93%, а пористость экструдатов в пересчете на 4% влажность чая - 31-33%.

Полученные результаты удовлетворяют исходным требованиям поставленной задачи. Следовательно, экструдаты обладают достаточной мягкостью, а вместе с тем составляющие их частицы при указанных влажностях достаточно интенсивно могут взаимодействовать между собой за счет капиллярных сил аутогезии. Достаточно высокая пористость экструдатов с поперечным диаметром не более 3,5 мм не препятствует довольно интенсивному протеканию окислительных процессов. Кроме того, в процессе экструдирования происходит измельчение материала, а средневзвешенный размер частиц, составлявших экструдаты практически в 1,5-2 раза меньше размера исходных частиц. Поэтому при марумеризации экструдатов происходит и окатывание мелкодисперсных масс, что значительно снижает количество несгранулированной мелкой фракции, возвращаемой на повторную переработку. Несгранулированные более крупные пластинчатые частиты не препятствуют протеканию ферментации в массе гранул, прошедших марумеризацию. Эффективность гранулообразования при окатывании экструдатов, кроме собственно реологических свойств составляющих их частиц, определяется условиями пе-

реработки. Поэтому нахождение наилучших условий марумеризации является важной задачей разрабатываемой технологии.

### 3.7. Исследование и моделирование процесса окатывания экструдатов

Окатывание экструдатов наиболее эффективно при их вращательном взаимодействии с появлением турбулентных завихренностей, обусловленных неустойчивостью течения / 95 /. При этом, давления, возникающие в каждом сечении спадающего слоя, вызванные взаимным соударением экструдатов, придают им собственные частоты вращения, а диссипация энергии происходит в объемах, сравнимых с линейными размерами завихренностей. Движение спадающего слоя подчиняется законам гидродинамики идеальной жидкости / 93 /. Спадающий слой образуется при поднятии материала выше линии угла естественного откоса / 126 /. Для экструдатов из диспергированной листовой чайной массы углы естественного откоса и обрушения соответственно составляют 45-55° и 55-65°.

При вращении барабана образуется так называемый поднимающийся слой, величина которого определяется центральным углом ВФ. Этот участок перед скатыванием фактически зависит в объеме барабана, поэтому его можно принять неподвижным при равенстве моментов сил взаимодействия экструдатов SM и сил веса PM относительно оси вращения гранулятора.

На основе практических экспериментов и математического описания процессов, нами была разработана математическая модель /102,103/. Так как барабанные грануляторы могут иметь различные геометрические размеры, т.е. радиус и длину, то все расчеты нами проводились на единицу их длины.

Решение модели осуществлялось на ЭВМ по программе, составленной на языке "Фортран". Блок-схема программы представлена на рис 3.7.1.

Рис. 3.1.7. Блок-схема программы по модели окатывания экструдатов

Количество материала S888 во вращающемся барабане определяется его насыпной и турбулентной плотностями и площадями поперечного сечения. Насыпная плотность экструдатов составляет 550-600 кг/м<sup>3</sup>, а турбулентная плотность РОПТ определяется по формуле:

$$\text{РОПТ} = \text{РОП} \cdot \text{BBD} / \text{ВВФР}$$

где: РОП - насыпная плотность;  
BBD - толщина переходного слоя;  
ВВФР - высота скатывающегося слоя.

Турбулентная вязкость рассчитывается по формуле / 79,93 /:

$$\text{ВЯЗТ} = \text{РОПТ}(\text{ВВФР})^2 (\omega R / \text{BBD})$$

где:  $\omega$  - частота вращения барабана; R - радиус барабана.  
Скорость продвижения материала вдоль оси вращения определяется по формуле:

$$V = V_{12} \cdot (H / \text{ВВФР}) \cdot 1,4$$

где:  $V_{12}$  - результирующая скорость продвижения материала на граничных поверхностях движущихся слоев;

Н - высота находящегося в барабане материала;  
 1,4 - коэффициент учета наклона материала при продвижении вдоль барабана к оси его вращения.

Энергия ЕЕ, идущая на окатывание, вычисляется по формуле:

$$EE = ВЯЗТ \cdot (\omega R / ВВФР) \cdot (BBD / ВВФР) S_1 \cdot Y_n$$

где:  $S_1$  - площадь пересыпающегося слоя;

$Y_n$  - количество слоев, в которых происходит диссипация энергии.

Производительность Q рассчитывается по формуле:

$$Q = S888 \cdot EE / E$$

где: E - энергия, необходимая для окатывания гранул в объеме  $1 \text{ м}^3$ . Ее порядок около 106, т.к. в  $1 \text{ м}^3$  содержится, примерно 106 гранул, диаметром не более 3,5 мм / 66 /.

Программа составлена так, что рациональные режимные параметры соответствуют максимальным производительностям барабанного гранулятора для каждого значения его радиуса.

Полученные результаты представлены в таблице 3.7.1.

Таблица 3.7.1.

#### Результаты решения по модели

№ пп	Радиус барабана, ( м )	Частота вращения, ( сек <sup>-1</sup> )	Скорость продвижения Массы, ( м/сек )	Количество материала на 1 м длины, ( кг )	Производи тельность, ( кг/сек )
1	0,2500	1,2	0,01712	11,29	0,01872
2	0,3000	3,0	0,06852	16,49	0,04067
3	0,3500	3,0	0,06852	22,97	0,08013
4	0,4150	3,0	0,06852	30,52	0,1439
5	0,4700	3,0	0,06853	39,15	0,2412
6	0,5250	3,0	0,06853	48,84	0,3829
7	0,5800	3,0	0,06854	59,61	0,5824

При длине барабанного гранулятора больше чем 1 м, производительность его при тех же параметрах работы соответственно будет возрастать. К примеру, при длине барабана 3,0 м радиусе 41,5 см, частоте вращения 28,65 об/мин (3,0 сек-1) и поддержании в граналяторе не более 30,52 кг массы, расчетная производительность составит около 1554 кг/час (0,4317 кг/сек). Практическая проверка полученных результатов подтвердила правильность теоретических расчетов. Так, барабанный гранулятор, радиусом 41,5 см и длиной 3,0 м при указанных режимах работы имеет производительность около 1500кг/час. Эффективность марумеризации экструдатов значительно повышается при перфорации 2/3 поверхности гранулятора со стороны выгрузочного торца, что позволяет выделять сгранулированные частицы просеиванием и обеспечивает марумеризацию оставшихся экструдатов, доводя, тем самым, до минимума их чрезмерное измельчение. Производительность гранулятора при этом возрастает в среднем на 30-35 кг/час.

#### 3.8. Технологическая схема переработки чайного листа на черный гранулированный чай

На основе полученных экспериментальных данных предложена технологическая схема переработки чайного листа в гранулированные виды чая (рис.3.8.1).

При этом, для предварительного мятая-измельчения применяется роторно-скручивающая машина РСМ, для интенсивного измельчения и измельчения-экструдирования - модернизированная машина "Волчок" В2-ФД-2Б; для измельчения крупной фракции - УДА установка марки ДЕЗИ 43 МЛЗ; для окатывания экструдатов - барабанный гранулятор Б2-ЧЛГ/1, 2/3 поверхности которого со стороны выгрузочного торца перфорированы. При применении РСМ нового поколения / 43 / машину В2-ФД-2Б можно исключить и включить в линию последовательно две такие РСМ. В этом случае выход гранулированного чая составит 35-40% от общего продукта, а остальную часть составляет мелкий сильно скрученный чай с размерами частиц 2-2,5 мм (линия ЮИАК 101171.001.).

Продолжительность обработки чайного листа на линии не более 30 - 35 минут, в течение которого не достигается требуемая при производстве черного чая глубина окисления фенольных соединений. Кратковременность обработки листа на линии дает возможность проведения собственно ферментации гранул в контролируемых условиях. Для установления влияния продолжительности ферментации на качественные показатели настоя чая, каждые 15 мин. брали образцы ферментируемых гранул и высушивали в фен-аппарате при температуре 100°C.

Результаты, представленные на рисунке 3.8.2. показывают, что практически к 90-ой минуте ферментации чай характеризуется максимально возможными органолептическими показателями, а цвет настоя - 80-85%, крепость 75-80 %, яркость 90-95% от максимальных значений. Крепость и яркость настоя - комплексные показатели настоя при определении теафлавинов и теарубигинов / 121 /. Следует отметить, что при измельчении чайная масса нагревается вплоть до 40°C, что хотя и способствует ускорению окислительных процессов, может отрицательно сказаться на качестве чая. Однако, следующая каждый раз за измельчением, интенсивная аэрация массы во время сортирования или ворошения при окатывании быстро понижает температуру чая, обеспечивая нормальные условия протекания ферментации.

На рисунке 3.8.3. представлена динамика накопления теафлавинов и теарубигинов, глубины окисления фенольных соединений, а также цвета настоя по ФЭК-56М во время ферментации гранул при температуре воздуха 24-26°C. Показатели определялись после фиксации образцов жидким азотом и высушивания в фен-аппарате при 100°C до остаточной влажности не более 4%.

Как видно из рисунка, количество теафлавинов достигает пика к 75-ой минуте ферментации, чему соответствует глубина окисления фенольных соединений около 35%, а показатели теарубигинов достаточно высоки, что подтверждает объективность оценки качества чая по содержанию этих двух окрашенных веществ / 189,196,218,220,223 /.

Рис. 3.8.1. Технологическая схема производства гранулированного черного чая переработкой тайного листа

Рис.3.8.2. Показатели настоя гранулированного черного чая в зависимости от продолжительности ферментации  
1- крепость, 2 - интенсивность цвета, 3 - аромат к вкусу, 4 - яркость

Рис. 3.8.3. Накопление теафлавинов, теарубигинов и развитие цвета настоя во время ферментации гранулированного чая

С учетом результатов, представленных на рисунках 3.8.2. и 3.8.3., увеличение продолжительности ферментации более 90 минут хотя и способствует повышению интенсивности цвета настоя и количества теарубигинов, определяющих его крепость, отмечается уменьшение содержания теафлавинов. Поэтому ферментацию следует проводить в течение 75-90 минут, а так как общая продолжительность ферментации с момента первого механического воздействия на лист составляет в среднем 105-120 минут, то практически нет опасений на значительные потери фенольных соединений за счет связывания их белковыми веществами. Интенсивное образование теарубигинов свидетельствует о деструкции белковых веществ и активном взаимодействии аминокислот с фенольными соединениями [242]. Вместе с тем, возможно проведение укороченной ферментации в течение 60-75 минут с последующей термообработкой высушенного материала [7,156].

Полученные нами рациональные режимы проведения отдельных технологических процессов испытывались на Шемокмедской чайной фабрике Махарадзевском чайном комбинате фирмы "Бахмаро". Контрольную переработку проводили на линии Б2-4Р2Х. Результаты сравнительных опытов представлены в таблице 3.8.1.

Следует отметить, что переработка чайного листа по вновь разработанной технологии позволяет экономить расход сырья на единицу продукции на 2,0-2,5%.

Данные таблицы 3.8.1. показывают эффективность разработанной технологии. Опытная продукция превосходит контрольную по выходу высших и первых сортов на 10,6%, по средневзвешенному баллу и среднесдаточной цене 1 кг чая соответственно на 0,16 балла и 0,16 долл США.

Таблица 3.8.1.

Качественные показатели готовой продукции черного чая при опытной и контрольной переработке

Показатели	Единица измер.	Контроль	Опыт
В 1	%	6,2	-
В 2	%	21,7	24,3
1 сорт	%	31,8	51,4
Высевка 1 сорта	%	8,6	3,2
2 / 1	%	13,2	10,3
Высевка 2 / 1	%	6,6	4,8
2 / 2	%	2,1	1,0
Высевка 2 / 2	%	0,8	0,8
2 / 3	%	18	-
Высевка 2 / 3	%	0,7	1,3
3 сорт	%	1,0	-
Высевка 3 сорта	%	0,4	-
Крошка	%	1,2	2,0

Отходы	%	3,9	0,9
Всего	%	100	100
Выход высших и первых сортов	%	68,3	78,9
Средневзвешенная оценка продукции	балл	3,20	3,38
Среднереализационная цена 1 кг продукции	долл.США	4,20	4,36

### 3.9. Технологическая схема производства черного гранулированного чая из тонкодисперсных мелких видов чая

Для получения гранулированного чая из тонкодисперсных частиц чайной продукции необходимо их увлажнение жидкостями, являющимися обогащающими или нейтральными для чая, до такой степени, чтобы они обеспечивали создание прочных фазовых контактов между частицами в процессе высушивания гранул, полученных с применением внешних сил поджима, упрочняющих внутреннюю структуру агломератов.

Увлажнение сухого чая при перерешивании сопровождается довольно интенсивным впитыванием влаги, при котором частицы набухают, размягчаются и увеличиваются в размерах, что непосредственно зависит от количества подаваемой в смесь жидкости и исходного размера частиц. Формуемость увлажненной массы зависит от ее реологических свойств. При этом, влажность масс должна обеспечивать при внешнем силовом воздействии возникновение как механических, так и капиллярных составляющих аутогезии. Очевидно, что в этом случае, как и при переработке листовых дисперсных масс, для получения гранулированного чая требуемых свойств следует применять последовательно экструзию и марумеризацию экструдатов.

Наиболее эффективным оказалось использование чайного экстракта в роли обобщающего и связующего агента. Следует отметить, что формование материала экструзией наилучшим образом осуществляется при содержании не менее 2,0% сухих веществ в добавляемом экстракте, который можно получить экстрагированием низкосортной продукции черного чая по ТУ 10-04-05-29-88 в воде, с температурой 90-95°C, при соотношении массовых долей 1:8. Для большего упрочнения структуры гранул возможно введение в состав связующего и обогащающего агента некоторых добавок, интенсифицирующих фазовые взаимодействия, к примеру крахмальную патоку, богатую глюкозой и мальтозой, относящихся к одним из наиболее реакционно активных сахаров [51,68,86,144,198,229]. При концентрации патоки в обогащающей жидкости более 3,6-3,8% затрудняется высушивание гранул, поэтому наиболее целесообразна ее концентрация 2,0-3,0%. После обогащения горячей, с температурой 85-90°C связующей жидкостью, массы после впитывания ее при перемешивании размягчаются, за счет чего эффективно формируются под воздействием внешних сил в экструдерных установках. Оптимизация процесса экструдирования проводилась обработкой, адекватно описывающих процесс уравнений, полученных известными методами [37], на ЭВМ по программе "Flexiplex" [146].

Уравнения регрессии в кодированных переменных имеют вид:

$$Y_{\phi} = 0,745 + 0,015 X_1 - 0,045 X_2$$

$$Y_g = 0,905 - 0,015 X_1 + 0,055 X_1 \cdot X_2$$

а в исходных переменных:

$$Y_{\phi} = 0,91 + 0,0375 \delta - 0,0045 W$$

$$Y_g = 1,56125 - 0,65625 \delta - 0,01375 W + 0,01375 \delta W$$

Задача оптимизации, подобно изложенной ранее, сводится к нахождению  $Y_g(\delta, W) \rightarrow \max$ , при следующих условиях:

$$0,55 \leq Y_{\phi}(\delta, W) \leq 0,74; \quad 0,6 \leq \delta \leq 1,4; \quad 35 \leq W \leq 55,$$

где  $Y_{\phi}$  и  $Y_g$  - соответственно степень заполнения объема и степень формованности.

Результаты решения задачи представлены в таблице 3.9.1.

Таблица 3.9.1.

Результаты оптимизации экструдирования увлажненных связующим веществом тонкодисперсных видов чая

№ пп	Средневзвешенный размер частиц до увлажнения, мм $\delta$	Влажность массы после обогащения, $W$	Степень заполнения объема $Y_{\phi}$	Степень формованности, $Y_g$
1	0,82	41,0	0,76	0,92
2	0,60	38,8	0,76	0,95
3	0,76	52,5	0,70	0,89
4	0,78	40,0	0,76	0,93
5	1,15	51,0	0,72	0,91
6	0,68	52,6	0,70	0,88
7	0,62	48,0	0,72	0,90
8	0,83	41,0	0,75	0,92
9	0,66	39,5	0,75	0,94

Согласно полученных результатов можно принять  $\delta = 0,6-1,15$  мм;  $W = 40-50\%$ . При этом формуемость составляет 90-92% а пористость экструдатов в пересчете на 4% влажность чая - 24-30%.

Марумеризация экетрудатов наиболее эффективна при тех же параметрах работы барабанного гранулятора, что и при окатывании экструдатов из листовой массы, что связано с незначительными отличиями их реологических свойств. Получаемые при этом гранулы имеют преимущественно горошкообразную форму, а образующиеся вместе с ними зернистые агломераты не ухудшают внешнего вида продукции

Размеры частиц, полученные в процессе оптимизации, дают возможность составлять исходные смеси с учетом их дисперсного состава. При этом в рецептуры с целью обогащения можно включить до 20% зеленого чая, так как при их большем количестве качество гранул ухудшается (см.табл.3.9.2.).

На основе полученных результатаов, исходные смеси имеют состав, представленный в таблице 3.9.3.

Технологическая схема производства имеет вид, представленный на рисунке 3.9.1., а схема соответствующей ей технологической линии, внедренной на ряде чайных фабрик представлена на рисунке 3.9.2.

Исходные компоненты смесей подаются в купажный барабан 1, откуда после перемешивания направляются при помощи транспортера 2 в бункер-накопитель 3, после чего следуют в сепаратор 4, в котором происходит очистка от камней, металла и других посторонних примесей. После освобождения от некондиционных составляющих, чайная масса направляется в смесительную установку 5 где в процессе перемешивания увлажняется связующей и обогащающей жидкостью с температурой 85-90°C, поступающей из

экстракционной установки 15 через накопительную емкость 16 в установку 5 после дополнительной обогативания крахмальной патокой. Увлажненная смесь из установки 5 подается в экструдерную установку 6, откуда экструдаты ленточным транспортером 7 направляются в установку барабанного типа 9 для марумеризации. Выделяющаяся при окатывании экструдатов мелкая фракция в виде тонкодисперсных частиц чая транспортером 8 возвращается в экетрудер 6, а сформованная масса, просеиваясь через сетчатые поверхности барабана и выгружаясь с торцевой выходной его части, при помощи ленточного транспортера 10 подается в машину 11 для предварительной сушки, откуда транспортером 12 направляется в машину для окончательной сушки 13. Высушенные гранулы выгружаются на транспортер 14, где происходит их охлаждение.

Таблица 3.9.2.

Зависимость качества гранулированного чая от добавки зеленого чая к исходной смеси

№ пп	Варианты (% от содержания в смеси)	Аромат, вкус, балл		Настой	
		Смесь измельченных чаев	Гранулированный чай	Смесь из измельченных чаев	Гранулированный чай
1	Черный чай 75% зеленые чай 25%	грубоватый аромат и вкус, 2,75	менее сильный аромат, терпкий вкус, 3,25	темноватый, несколько мутный, с красноватым оттенком	менее яркий, прозрачный, со слегка красноватым оттенком
2	Черный чай 80% зеленые чай 20%	грубоватый аромат, недостаточно полный вкус, 3,0	менее сильный аромат, приятный терпкий вкус, 3,5	темноватый, несколько мутный, слегка красноватый оттенок	менее яркий, прозрачный
3	Черный чай 85% зеленые чай 15%	грубоватый аромат, недостаточно полный вкус, 3,0	Недостаточно сильный аромат, приятный с терпкостью вкус, 3,5	темноватый, несколько мутный	менее яркий, прозрачный
4	Черный чай 90% зеленые чай 10%	грубоватый аромат, недостаточно полный вкус, 3,0	менее сильный аромат, приятный со слабой терпкостью вкус, 3,25	темноватый, несколько мутный	менее яркий, прозрачный
5	Черный чай 95% зеленые чай 5%	грубоватый аромат, недостаточно полный вкус, 3,0	менее сильный аромат, приятный со слабой терпкостью вкус, 3,25	темноватый, несколько мутный	менее яркий, прозрачный

Сушка гранул в два этапа обеспечивает создание прочных агломератов. При этом на первое этапе гранулы сушатся при температуре 90-95°C; на втором - при температуре 110-120°C. Общая продолжительность высушивания 45-50 минут, а остаточная влажность чая не выше 4%. Следует подчеркнуть, что по нашему мнению

наиболее эффективно высушивание гранул в псевдооживленном слое, так как при этом значительно сокращается продолжительность процесса и однородно прогревается вся масса чая без опасения пригорания поверхности гранул, которое возможно при повышенных температурах в неподвижном слое /44,104/.

Качество готового продукта оценивается вместе с известными в чайной промышленности показателями, также и прочностными характеристиками. Гранулы по размерам производятся в соответствии с полученными нами результатами (см.гл.3.3.). Поэтому экструдерные установки оборудуют выходными матрицами с диаметром отверстий не более 3,5 мм.

Таблица 3.9.3.

Технологические показатели смесей тонкодисперсных видов чая, составленных с учетом требуемого дисперсного состава

№ пп	Со вид компонент-отношения и тов (% от содержания в смеси)	Экстрактивные вещества, %	Сумма фенольных соединений, % с.в.	Сумма катехинов, мг/г	Кофеин, %	Характеристика настоя
1	Высевка черного чая I с - 20% Высевка черного чая 2с 2 кат -20% Высевка зеленого чая 3 с - 10%	29,7 ±0,23	8,1± 0,07	26,9± 0,76	1,77± 0,07	мутноватый
2	Высевка черного чая 2с Iкат - 20% Высевка зеленого чая 2 с - 10% Крошка зеленого чая - 10% Крошка черного чая - 60%	30,2 ± 0,19	8,4± 0,08	28,1± 0,52	1,78 ± 0,05	мутноватый

Рис. 3.9.1. Принципиальная технологическая схема производства гранулированного чая

Рис. 3.9.2. Схема поточной линии для производства гранулированного чая из тонкодисперсных видов чайной продукции

Таблица 3.9.4.

Качественные показатели гранулированного чая из тонкодисперсных видов мелких видов чая

№ пп	Показатели гранул	Из смеси по рецептуре № 1 при увлажнении чайным экстрактом	Из смеси по рецептуре № 2 при увлажнении чайным экстрактом	Из смеси по рецептуре № 2 при увлажнении чайным экстрактом с добавкой

				патоки
1	Экстрактивные вещества, %	30,5±0,29	31,3±0,31	31,6±0,23
2	Сумма фенольных соединений, %	8,37±0,08	8,58±0,11	8,49±0,09
3	Сумма катехинов, мг/г с.в.	27,7±0,81	28,7±0,73	27,8±0,62
4	Кофеин, %	1,83±0,08	1,84±0,06	1,85±0,06
5	Характеристика настоя	менее яркий, прозрачный	менее яркий, прозрачный	менее яркий, прозрачный
6	Прочность на раздавливание, кг/мм <sup>2</sup>	0,17±0,01	0,18±0,01	0,20±0,01
7	Диспергируемость в воде, % от исходной массы	6±0,51	5±0,43	2±0,20
8	Аромат и вкус, балл	менее сильный аромат, приятный со слабой терпкостью вкус, 3,5	менее сильный аромат, приятный с терпкостью вкус, 3,5	менее сильный аромат, приятный с терпкостью вкус, 3,5

Представленные в таблице 3.9.4. качественные характеристики гранулированного чая в зависимости от исходного состава смесей, а также связующего и обогащающего вещества показывают, что добавление крахмальной патоки в связующее вещество способствует повышению структурной прочности гранул и уменьшению их диспергируемости при заваривании, а также не оказывает отрицательного влияния на органолептические свойства продукта.

Гранулы, получаемые из исходных материалов, составленных согласно приведенных ниже рецептов, по качественным показателям соответствуют черному чаю первого сорта.

## **Глава 4. Превращение основных химических веществ при производстве черного гранулированного чая**

### 4.1. Изменение содержания фенольных соединений

Фенольные соединения являются основным комплексом веществ, определяющих качество как исходного чайного материала, так и готового продукта. Их окислительные превращения являются необходимыми для формирования характерных свойств черного чая. Тонкодисперсное измельчение чайного листа в процессе производства черного гранулированного чая обеспечивает максимальное извлечение клеточного сока на поверхность частиц. Непосредственно следующее за ним формование структуры гранул объясняется использованием сока, еще не успевшего впитаться в частицы, в роли жидкостной прослойки, обеспечивающей слипание под действием капиллярных составляющих сил аутогезии. После гранулирования чайный сок полностью адсорбируется частицами, а во влажных гранулах, благодаря их значительной пористости, достаточно интенсивно протекает ферментативное окисление фенольных соединений.

Таблица 4.1.1.

## Изменение содержания фенольных соединений при производстве гранулированного черного чая из листовой массы

№ пп	Стадия переработки	Общая сумма фенольн. соединений	Сумма катехинов мг /г	Отдельные катехины, мг/г				
				(-)-ЭГК	(±)-ГК	(-)-ЭК и (±) К	(-)-ЭГКГ	(-)-ЭКГ
1	Зеленый чайный лист	17,4	94,3	21,2	13,4	7,7	40,6	11,4
2	Завяленный лист	16,7	82,5	19,4	12,2	7,2	33,5	10,2
3	Гранулы непосредственно после формования	14,0	66,1	14,5	11,1	6,4	25,6	8,5
4	Гранулы после ферментации	11,3	44,8	9,1	8,6	5,5	16,3	6,3
5	Гранулы после сушки и термообработки	10,2	36,6	7,3	6,7	5,1	13,1	4,4

Из данных, представленных в таблице 4.1.1. видно, что по окончании гранулирования фенольные соединения окисляются в среднем на 19% от содержания в зеленом листе, а катехины - на 26% преимущественно за счет (-)-эпигаллокатехина, (-) -эпигаллокате-хингаллата и (-)-эпикатехингаллата. Простые двугидроксильные катехины окисляются в меньшей мере. Во время ферментации собственно гранул катехины изменяются в той же закономерности.

Несмотря на то что черный гранулированный чай богат продуктами окисления ктехинов (см.рис.3.8.3.), он содержит довольно высокое количество катехинов, обладающих Р-витаминной активностью.

При производстве черного гранулированного чая из тонкодисперсных видов чайной продукции, содержание катехинов в гранулах незначительно отличается от их содержания в исходных смесях (см.табл.3.9.3. и 3.9.4.). Изменения суммы катехинов незначительны и практически соответствуют их содержанию в связующем и обогащающем агенте.

### 4.2. Изменение содержания пектиновых веществ

Пектиновые вещества - группа высокомолекулярных коллоидных веществ, встречающихся в большинстве растительных тканей.

Одревеснение клеточных оболочек во многом определяется наличием в них и в межклетниках протопектина /18,23,33,64,86,136,211,230/. Гидролиз протопектина ведет к разрушению межклеточного вещества к снижению тургора растительных материалов /5,12,135, 211/.

Во время завяливания чайного листа в результате гидролиза протопектина содержание гидропектина увеличивается. Завяленный лист теряет тургор, становится мягким и клейким. Именно повышением содержания гидропектина объясняется возрастание липкости чайного листа /7,34,46/.

Во время скручивания и ферментации содержание гидропектина уменьшается, а протопектина увеличивается. Однако, в процессе длительной сушки происходит гидролиз как гидропектина, так и протопектина /23,33/.

При скручивании и ферментации интенсивно протекают процессы деметилирования пектина, вызванные действием фермента пектинметилэстеразы, содержащейся в

чайном листе. Происходит омыление метоксильных групп пектина, осуществляющее перевод пектиновых веществ в низкоэтерифицированный пектин и пектиновую кислоту. Продукты ферментативного воздействия пектинметилэстеразы на пектины во время скручивания, измельчения и ферментации могут образовывать химические связи между свободными, неэтерифицированными метанолом, карбоксильными группами, как с соседними полигалактуронидными цепями и ассоциированными веществами, так и с поливалентными ионами металлов, образуя нерастворимые в воде вещества /64,140,211,237/. Очевидно, что наиболее прочные агрегированные структуры могут быть образованы в мелкодисперсных массах при возможно большем количестве реакционных групп, образующих химические мостики. Это практически осуществимо при протекании указанных взаимодействий в уже сформированных в агломераты частицах чайного листа. Поэтому, процесс гранулирования мелкодисперсных чайных масс целесообразно проводить как можно быстрее после завяливания и измельчения чайного листа, т.к. липкость и вязкость чайного сока, играющего роль связующего вещества уменьшается по мере ферментации чая /34/.

Гели, образованные низкометоксилированными пектинами, гораздо прочнее студней высокометоксилированных пектинов и также упрочняются с падением pH /147,211/. Поэтому в процессе ферментации чайных масс прочность гелей, образованных пектиновыми веществами, увеличивается. Однако, если пектины характеризуют клейкость сока чайного листа, то образованные ими гели могут определять эластичность мелкодисперсных масс. Вполне возможно, что увеличение содержания протопектинов, обладающих большей вязкостью, чем пектины /138/, способствует повышению эластичности и разрывной прочности влажного мелкодисперсного материала за счет активного взаимодействия разноименных ионов поверхностных слоев чайных частиц через сгустки коагулирующих веществ чайного сока, высвобождающих воду из контактных зон и постепенно заменяющих капиллярные взаимодействия истинно фазовыми, определяющими структурные упрочнения дисперсной системы /116,153/.

Следует отметить, что присутствие фенольных веществ в чайной массе может несколько ослаблять гидролиз пектина /49/. Вместе с тем окисление фенольных соединений под воздействием полифенолоксидазы не способствует переводу пектиновых веществ в нерастворимое состояние, хотя вязкость массы при этом повышается /64/. Следовательно, не следует ожидать расхода фенольных соединений на связывание с пектиновыми веществами.

Изменения содержания пектиновых веществ при производстве черного гранулированного чая методом окатывания измельченной до мелкодисперсного состояния листовой чайной массы или с применением экструдирования и марумеризации массы более грубого измельчения приведены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1.

Изменение содержания пектиновых веществ при производстве черного гранулированного чая из листовой массы (% на с. в.)

№ пп	Пектиновые вещества	Зеленый лист	Завяленный лист	После измельчения	После гранулирования и ферментации	После сушки
1	Гидропектин	3,18	3,77	3,86	3,51	3,37
2	Протопектин	6,83	6,11	5,58	5,65	5,52
3	С у м м а	10,01	9,88	9,44	9,16	8,89

В процессе измельчения (включая экструзию) отмечается увеличение содержания гидропектина за счет уменьшения протопектина. Как показывают данные таблицы 4.2.1.

после гранулирования и ферментации количество протопектина несколько увеличивается, а гидропектина уменьшается. Увеличение количества гидропектина в процессе экструзии доводит до минимума крошимость экструдатов на составные частицы при марумеризации. При высушивании происходит уменьшение как растворимых, так и нерастворимых пектиновых веществ, при этом фиксируются и даже могут образовываться контакты между отдельными звеньями биополимеров. К примеру, протеины в процессе температурного воздействия изменяют растворимость вязкость, электрофоретическую подвижность и другие физические свойства, что сопровождается разгибанием цепей белковых глобул с высвобождением amino-, гидроксид-, карбоксильных и сульфгидрильных реактивных групп /140,144,184/. Кроме того, в процессе сушки прекращается омыление метоксильных групп пектина по причине инактивации пектинметилэстеразы, а полученные в результате химических процессов пространственные сетки, состоящие из нераспадающихся ассоциатов макромолекул пектиновых веществ с другими веществами, создают прочный, нерастворимый в воде пористый каркас. Уменьшение содержания пектиновых веществ в процессе сушки вызвано их деструкцией при повышенных температурах /32/. После охлаждения гранул некоторые из вновь образованных пектиновыми веществами связей упрочняются и становятся нерастворимыми.

Идентичная динамика изменения пектиновых веществ наблюдается и при переработке тонкодисперсных видов чайной продукции на горошкообразный черный чай, хотя в данном случае ферментативные превращения практически исключены (таблица 4.2.2.).

Уменьшение содержания протопектина можно объяснить интенсивным мятием частиц увлажненного материала в экструдерной установке и при сушке гранул. Увеличение содержания гидропектина способствует повышению слипаемости частиц в

Таблица 4.2.2.

Изменение содержания пектиновых веществ при производстве черного горошкообразного чая из тонкодисперсных видов продукции (% на с.в.)

№ пп	Пектиновые вещества	Исходная смесь с обогащающим веществом	После экструдирования и марумеризации	После сушки
1	Гидропектин	2,02	2,36	2,25
2	Протопектин	5,54	5,03	4,96
3	Сумма	7,56	7,39	7,21

экструдатах, обеспечивая их минимальную крошимость на мелкие частицы при марумеризации. При наличии в обогащающем и связующем веществе крахмальной патоки создаются условия образования студневых композиций между высокометоксилированными пектинами как с сахарами, так и с амилодекстринами /39,47/, что способствует повышению формоустойчивости гранул.

Следует отметить, что если температура собственно гранул во время высушивания превышает 85°C, то возможны необратимые разрушения пространственных сеток, созданных пектиновыми веществами при гелеобразовании /39,140,237/, вследствие чего механическая прочность гранул может уменьшаться.

#### 4.3. Изменение содержания свободных и связанных аминокислот

Свободным аминокислотам отводится немаловажная роль в формировании качественных характеристик чайной продукции /26,132, 186,191,205,210,219/. Аминокислоты при производстве чая взаимодействуют с орто-хинонами, являющимися продуктами ферментативного окисления катехинов, что вызывает, в присутствии

фенольных соединений и полифенолоксидазы, количественные и качественные изменения аминокислот, сопровождающиеся накоплением окрашенных продуктов и ароматических летучих веществ широкого спектра запахов /9,119,186,191,219,226/. Аминокислоты способны образовывать альдегиды при взаимодействии с фенольными веществами и сахарами в условиях повышенных температур. Механизм протекания реакций аминокислот с сахарами, а также свойства продуктов взаимодействия довольно широко освещены в многочисленных работах /184,198,199,206,229/. Однако отмечается необходимость исследования указанных взаимодействий ввиду многообразия их проявлений и сложности изучения продуктов реакции /204/. Неферментативные взаимодействия между аминокислотами и сахарами, известные как реакции Майяра, имеют важное значение в пищевых процессах, т.к. в их результате, кроме ароматических веществ, образуются буроокрашенные нерастворимые продукты, обладающие антиоксидантными свойствами /181,198,206/.

Все перечисленные выше пути преобразования аминокислот осуществимы при производстве черного чая, особенно в условиях повышенных температур во время высушивания./31,118,165/.

Необходимость изучения изменения аминокислот при производстве гранулированного черного чая обусловлена не только качественно важными для чая, как продукта, результатами реакций, но и образующимися нерастворимыми в воде веществами, которые могут быть одними из составляющих прочных контактов мостиковых связей между частицами дисперсного чайного материала, составляющего агломерат.

Интерес представляли изменения как свободных, переходящих в настой аминокислот, так и связанных, содержащихся в белковых веществах чая /85/.

Аминокислоты определяли методом ионообменной хроматографии на аминокислотном анализаторе LC-2000 ("Biotronik", ФРГ). Подготовку проб образцов, а также определение в них аминокислот проводили по известной методике /85,103,125/.

Данные об изменении свободных аминокислот при производстве черного горошкообразного чая представлены в таблице 4.3.1. Как видно из таблицы 4.3.1 содержание свободных аминокислот в черном гранулированном чае как из листовой массы, так и из мелких видов чая уменьшается по сравнению с их исходным содержанием.

Таблица 4.3.1.  
Изменение содержания свободных аминокислот при производстве гранулированного черного чая (мг/г с.в.)

Аминокислоты	Зеленый лист	Гранулированный чай из листовой массы	Полуфабрикат мелкого черного чая (конотроль)	Обогащенная смесь тонкодисперсных видов чая	Гранулированный чай с добавкой патоки	Гранулированный чай без добавки патоки (контроль)
Аспарагиновая кислота	83,1	64,4	66,7	79,91	79,12	79,23
Треонин	19,5	14,8	15,2	24,63	23,18	23,83
Аспарагин +глутамин +серин		174,8	173,5	148,57	143,02	144,41
Глутаминовая кислота	113,9	92,3	99,5	119,62	116,68	117,25
Пролин	9,2	8,3	8,4	24,70	24,58	24,63

Глицин	6,5	4,4	4,4	5,39	4,65	4,81
Аланин	43,8	39,8	39,9	44,21	42,16	43,03
Цистеин	9,8	8,0	8,2	следы	-	-
Валин	26,7	37,3	39,1	30,34	30,00	30,16
Изолейцин	12,7	11,2	10,8	22,11	20,43	21,62
Лейцин	10,5	8,6	8,9	25,36	21,99	23,80
Тирозин	41,6	68,1	67,0	39,18	39,07	39,10
Фенил-аланин	59,5	94,7	97,6	32,54	29,18	30,28
Лизин	19,4	13,2	15,2	19,52	18,77	19,16
Гистидин	34,3	27,7	27,4	7,65	7,43	7,53
Теанин	312,9	248,8	242,2	289,92	288,50	288,61
Аргинин	50,8	59,3	56,9	11,96	10,07	11,53
Сумма	1108,1	975,7	980,9	925,61	898,83	908,98

Следует учесть, что в процессе завяливания в листовой массе количество свободных аминокислот увеличивается по причине гидролиза сложных белковых веществ, сопровождающегося накоплением простых белков, распадающихся до аминокислот /31/, за исключением амида теанина, т.к. он не является структурным звеном чайного протеина и выступает в качестве свободной аминокислоты /210/. С момента начала ферментации происходит уменьшение содержания свободных аминокислот в результате их взаимодействия с окисленными фенольными соединениями /1119,186,191,226/. Поэтому в случае листовой массы имеется гораздо большее уменьшение аминокислот в процессе переработки, чем при производстве гранулированного чая из тонкодисперсных видов чайной продукции где исключаются биохимические преобразования составляющих чай веществ, ввиду наличия белков в денатурированной состоянии. Как видно в мелкодисперсной листовой чайной массе создаются хорошие условия протекания указанных выше реакций. А при переработке тонкодисперсных видов чайной продукции наличие в составе связующего вещества крахмальной патоки, богатой глюкозой и мальтозой, интенсифицирует сахаро-аминные взаимодействия, что вызывает большее уменьшение суммы свободных аминокислот по сравнению с вариантом без применения крахмальной патоки.

Неоспорима роль белковых веществ в комплексообразовании с различными веществами и создании за счет собственной денатурации нерастворимых мостиковых связей, образующихся между частицами мелкодисперсной чайной массы, в том числе и в процессе обезвоживания продукта при высокой температуре /64,140,233/. Поэтому особый интерес представляло изучение преобразований связанных аминокислот. Результаты анализов представлены в таблице 4.3.2.

Таблица 4.3.2.

Изменение содержания связанных аминокислот при производстве гранулированного черного чая (мг/г с.в.)

Аминокислоты	Зеленый лист	Гранулированный чай из листовой массы	Полуфабрикат мелкого черного чая (контроль)	Обогащенная смесь тонкодисперсных видов чая	Гранулированный чай с добавкой патоки	Гранулированный чай без добавки патоки (контроль)
Аспарагиновая	18,85	18,52	18,66	17,93	17,39	17,58

кислота						
Треонин	10,36	9,96	10,03	8,26	8,01	8,12
Аспарагин+глутамин+серин	10,25	9,73	9,81	8,03	7,76	7,90
Глутаминовая кислота	43,90	42,18	42,43	35,66	34,42	34,92
Пролин	10,20	9,74	9,93	8,47	8,12	8,33
Глицин	11,34	10,51	10,58	10,93	10,47	10,49
Аланин	11,76	10,34	10,92	10,25	9,36	10,02
Цистеин	1,07	0,50	0,86	0,62	0,31	0,54
Валин	12,06	11,77	11,89	10,57	10,13	10,21
Изолейцин	2,0?	1,18	1,44	1,89	1,21	1,36
Лейцин	8,23	7,67	7,91	8,67	8,16	8,32
Тирозин	16,85	15,39	15,76	16,42	15,53	15,71
Фенилаланин	8,21	7,78	7,86	6,53	6,44	6,39
Лизин	10,20	9,69	9,88	10,26	9,74	10,11
Гистидин	14,78	12,83	13,13	13,37	12,63	13,19
Теанин	6,71	5,91	6,04	5,41	5,13	5,32
Аргинин	11,99	10,66	11,17	10,24	9,84	10,03
Сумма	208,83	194,26	198,30	186,51	174,65	178,54

Известно что суммой аминокислот гидролизатов растительного материала не определяется точно количество общей суммы белковых веществ, также, как и количество предварительно введенных протеинов их гидролизатами, ввиду присоединения элементов воды различными гидрофильными группами и потерь аминокислот во время гидролиза /85,125/. Однако уменьшение суммы связанных аминокислот при переработке как листовой чайной массы, так и тонкодисперсных видов чайной продукции в гранулированный чай, согласно данных таблицы 4.3.2, указывает на участие аминокислот белков в комплексообразовании с редуцирующими веществами, за счет чего происходит уменьшение содержания белковых веществ. Вполне возможно, что происходит и деструкция белковых веществ с распадом их на аминокислоты. Вместе с тем, в продуктах переработки не наблюдается увеличение содержания свободных аминокислот, что подтверждает участие последних в различных реакциях, способствующих формированию специфических свойств чая. Ввод крахмальной патоки в состав связующего и обогащающего вещества заметно повышает прочность гранул на раздавливание на 0,03-0,04 кг/мм<sup>2</sup>, к тому же практически исключается их диспергируемость на составные частицы при заваривании. А это дает возможность утверждать о непосредственном участии сахароаминных взаимодействий в создании прочной структуры гранул.

#### 4.4. Изменение содержания растворимых углеводов

Растворимые углеводы играют определенную положительную роль в образовании качественных показателей чая. Вместе с тем, динамика их накопления в листьях обратно коррелирует с содержанием фенольных веществ в течение вегетации чайного растения /7, 162,186,218,227/. С огрубением чайного листа содержание растворимых сахаров в нем увеличивается /33,139,205/.

При производстве как черного, так и зеленого чая происходят характерные изменения содержания растворимых сахаров, что обусловлено их участием в различных реакциях, сопровождающихся образованием ароматических веществ /86,132,179,186,230/. Кроме того, в результате как ферментативного, так и неферментативного взаимодействия образуются окрашенные вещества сложного химического строения, обладающие антиоксидантными свойствами /51,198,199,204,206/. Температурные воздействия при

высушивании чая ведут к карамелизации сахаров, что влияет на аромат и оттенок готовой чайной продукции /7,183/.

Исследование изменения содержания растворимых углеводов при производстве черного гранулированного чая представляет особый интерес.

Анализ образцов, подготовленных для исследования по известной методике /137/, проводили методом жидкостной хроматографии высокого давления на приборе Optilab-5931 ("Tecator", Швеция) /151/. Результаты исследования представлены в таблице 4.4.1.

Как видно из таблицы 4.4.1. при переработке чайного листа на черный гранулированный чай содержание фруктозы и глюкозы увеличивается соответственно на 60,7% и на 28,1%, а остальных сахаров уменьшается. Вероятно увеличение содержания фруктозы и глюкозы происходит по причине ферментативного гидролиза дисахаридов, а уменьшение остальных растворимых сахаров - различными превращениями в процессе переработки /7,33,85,162/. Однако глюкоза и фруктоза также реакционно способны. Глюкоза - один из наиболее реакционно способных растворимых углеводов, а фруктоза обладает лишь 10% активности глюкозы и является одним из слабостероустойчивых сахаров /51,68,86,144,198,229/. Поэтому для усиления образования продуктов взаимодействия сахаров и веществ с аминокруппами (аминокислоты, пептиды, белки и др.) при переработке тонкодисперсных видов чайной продукции в черный гранулированный чай, в состав связующего и обогащающего вещества вводится небольшое количество крахмальной патоки, богатой глюкозой и мальтозой, имеющей также довольно высокую реакционную способность /47,68/. Наличие декстринов в патоке способствует предотвращению кристаллизации глюкозы, способной произойти даже при температуре выше 70°C. Это дает возможность предотвратить образование растворимых в воде прочных контактных зон между частицами в гранулах при высушивании и позволяет наиболее рационально использовать редуцирующие свойства глюкозы для создания

Таблица 4.4.1.  
Изменение содержания растворимых сахаров при производстве  
черного гранулированного чая

№ пп	Материал	Углеводы, % с. в.						Сумма
		ксилоза арабиноза	фрук- тоза	глю- коза	сахар- роза	маль- тоза	мели- биоза	
1	Зеленый чайный лист	0,205	0,306	0,295	1,850	0,631	1,684	4,971
2	Гранулиро- ванный чай из листовой массы	0,163	0,492	0,378	0,912	0,384	0,855	3,184
3	Мелкие виды чая после обо- гащения	0,198	0,552	0,661	0,634	0,583	0,427	3,005
4	Гранулиро- ванный чай из мелких видов чая	0,205	0,472	0,352	0,513	0,470	0,363	2,331

комплексных соединений с различными биополимерами чая /47,124/. Избыток наличия в связующем веществе растворимых сахаров осложняет высушивание продукта, что становится ощутимым при концентрации патоки в обогащающей жидкости более 3,8%.

Известно что реакции меланоидинообразования, в отличие от карамелизации сахаров, протекают и при невысоких температурах, а повышение температуры значитель-

но ускоряет взаимодействия /198/. Однако при высоких температурах образуются продукты с горьким вкусом и характерным неприятным запахом /47,131,198, 199/. Это ограничивает применение высоких температур при высушивании чая. Поэтому гранулы высушивают при температурах принятых для обычных видов чая.

Результаты исследования, представленные в таблице 4.4.I., показывают уменьшение содержания всех растворимых сахаров во время переработки тонкодисперсных видов чая на черный горошко-образный чай. При этом сумма ксилоза-арабиноза уменьшается на 18,6%, глюкоза - на 46,7%, сахароза - на 19%, мальтоза - на 19,3%, а общая сумма - на 23,6%.

Уменьшение растворимых сахаров в процессе переработки как чайного листа, так и мелких видов чая на горошкообразный черный чай подтверждает их участие в различных взаимодействиях.

#### 4.5. Изменение содержания хлорофилла и сопутствующих ему пигментов

Изменение оттенка чайного листа от зеленого до коричнево-черного, происходящее при производстве черного чая, обусловлено химическими превращениями различных веществ, в том числе и зеленых пигментов - хлорофиллов, подвергающихся деградации /183,218/.

Продукты распада хлорофилла - феофитины и феофорбиды в значительной мере определяют черноту или коричневатость готового чая /197,207,248/. Особенно значительны изменения хлорофиллов и каротиноидов при ферментации и сушке /172,186/. В связи с этим был предложен хлорофилловый показатель для контроля процесса скручивания /12/ и установлена зависимость степени разрушения хлорофилла от количества раздавленных клеток /106/. Присутствие хлорофилла в готовом черном чае отрицательно сказывается на его органолептических показателях /30,162,218/. Преобразования хлорофиллов и каротиноидов при производстве черного чая существенно влияют на формирование качественного чайного продукта /186,228,245,247,246/. И если дериваты хлорофиллов обуславливают внешний вид, то производные каротиноидов представляют собой летучие и нелетучие ароматические вещества, участвующие в образовании аромата черного чая /225,228/.

При производстве черного гранулированного чая пигментный комплекс чайного листа подвергается значительным изменениям, что видно по данным таблицы 4.5.1.

Вероятно это вызвано измельчением листовой массы до мелкодисперсного состояния, способствующим созданию хороших условий для интенсивного тепломассо-обмена, а при переработке тонкодисперсных видов чайной продукции несколько повышенной температурой. При этом происходит значительное уменьшение содержания зеленых пигментов. Одновременно с расходом хлорофиллов, происходит накопление продуктов реакции - феофитинов, обладающих темной окраской, что очевидно вносит весомый вклад в придание чаю черных оттенков. В процессе переработки сумма хлоро-филлов и феофитинов уменьшается, что возможно вызвано образованием и других продуктов деградации хлорофиллов - коричневых феофорбидов и оливково-зеленых хлорофиллидов /238,246,247/. Подвергаются изменениям и каротиноиды. Их количество уменьшается почти на 70% от исходного содержания в зеленых листьях и более чем на 55% от содержания в тонкодисперсных видах чая.

Следует отметить, что рассмотренные выше зеленые и желтые пигменты не определяют интенсивность настоя чайного напитка, а всего лишь могут влиять на оттенок самого чая, так как являются водонерастворимыми /85,92/.

Таблица 4.5.1.

Изменение содержания зеленых и желтых пигментов  
при производстве черного гранулированного чая (мг/г с.в.)

№ пп	Пигменты	Зеленый чайный лист	Гранулированный чай из листовой массы	Обогащенная смесь из тонкодисперсных видов чая	Гранулированный чай из тонкодисперсных видов чая
1	Хлорофилл "а"	3,297	1,354	1,52	1,18
2	Хлорофилл "б"	1,551	0,649	0,69	0,42
3	Сумма хлорофиллов	4,848	2,003	2,21	1,60
4	Феофитин "а"	0,021	1,968	2,13	2,35
5	Феофитин "б"	-	0,759	0,82	0,98
6	Сумма феофитинов	0,021	2,727	2,95	3,33
7	Смма, хлорофиллов и феофитинов	4,869	4,730	5,16	4,93
8	Каротин	0,204	0,058	0,03	-
9	Лютеин	0,317	0,131	0,24	0,12
10	Виолксантин	0,108	0,022	следы	-
11	Неоксантин	0,088	0,018	-	-
12	Сумма каротиноидов	0,717	0,229	0,27	0,12

## Глава 5. Качественные показатели гранулированных видов чая

Гранулированный чай, полученный по разработанной технологии при переработке чайного листа содержит больше экстрактивных веществ, фенольных соединений и катехинов, а также теафлавинов и теарубигинов, чем чай соответствующего сорта контрольной продукции (см.табл.5.1).

Высшему сорту соответствовали гранулы однородной сферообразной формы, диаметром не более 1,5 мм, а первому сорту - гранулы, диаметром более 1,5 мм, но менее 3,0 мм с некоторой примесью зернистых гранул, не превышающих в сечении цилиндра 3,0 мм, а по длине 5 мм. Однако несгранулированная часть, по некоторым показателям, несколько уступает соответствующим чаям контрольной переработки. По нашему мнению эту часть продукции после измельчения до необходимой степени можно использовать как исходные материалы для производства гранулированного черного чая по разработанной нами технологии (см. гл.3.9.), что позволит их преобразовать в чайный продукт соответствующий 1 сорту черного чая (табл.3.9.4).

Следует отметить, что гранулированный чай, полученный переработкой как зеленого чайного листа, так и тонкодисперсных видов продукции, по разработанным нами технологиям, не диспергируется на составные части и интенсивно отдает экстрактивные вещества при заваривании. Механическая прочность агломератов из листовой массы составляет 0,25-0,30 кг/мм<sup>2</sup>, а из тонкодисперсных видов чая - 0,17-0,19 кг/мм<sup>2</sup>. Анализ внутренней структуры гранул методом сканирующей микроскопии и обработка РЭМ изображений представлены соответственно на рисунках 5.1. и 5.2. Пористость гранул в среднем колеблется в пределах 19-24%.

Перечисленные выше характеристики отвечают достаточно плотной упаковке частиц в агломератах при пористостях, обеспечивающих хорошую омываемость гранул при заваривании.

Как видно из представленных результатов, разработанные нами технологии позволяют получить готовый продукт с высокими органолептическими и физико-механическими показателями, способствуют использованию резервов и повышению

объемов производства, что является важным шагом в удовлетворении все возрастающего в мире спроса на удобный в потреблении качественный черный чай.

Таблица 5.1.

Показатели химического состава опытной и контрольной продукции при переработке чайного листа

Вид продукции	ОПЫТ						КОНТРОЛЬ					
	Экстракт вещества, %	Сумма фенольных соединений, %	Сумма катехинов, мг/г	Теафлавины, %	Теарубигины, %	Кофеин, %	Экстракт вещества, %	Сумма фенольных соединений, %	Сумма катехинов, мг/г	Теафлавины, %	Теарубигины, %	Кофеин, %
Высший сорт 2 категории	34,8± 0,33	10,9± 0,13	38,7± 1,11	0,50± 0,03	10,41± 0,10	2,20± 0,07	34,1± 0,51	10,5± 0,11	34,8± 1,05	0,43± 0,03	9,92± 0,10	2,18± 0,07
Первый сорт	33,2± 0,20	9,8± 0,11	35,3± 1,09	0,46± 0,02	9,53± 0,11	2,13± 0,05	32,0± 0,30	8,8± 0,10	32,1± 1,07	0,40± 0,01	9,21± 0,09	2,05± 0,05
Первый сорт (высевка)	33,0± 0,31	9,3± 0,12	32,7± 1,02	0,44± 0,02	9,56± 0,10	2,09± 0,04	32,7± 0,29	8,5± 0,11	29,2± 0,98	0,41± 0,02	9,03± 0,09	2,08± 0,05
Второй сорт 1 категории	31,3± 0,25	7,8± 0,11	27,6± 0,97	0,39± 0,01	9,10± 0,10	1,69± 0,02	31,2± 0,27	7,6± 0,11	28,1± 0,92	0,37± 0,01	8,92± 0,08	1,73± 0,03
Второй сорт 2 категории	29,3± 0,23	7,2± 0,10	22,1± 0,88	0,36± 0,01	8,07± 0,08	1,43± 0,02	29,6± 0,26	7,3± 0,10	23,8± 0,90	0,34± 0,01	7,84± 0,09	1,49± 0,02
Крошка	29,6± 0,24	7,5± 0,12	20,8± 0,76	0,30± 0,01	6,13± 0,07	1,48± 0,02	29,8± 0,26	7,6± 0,10	22,1± 0,81	0,26± 0,01	6,09± 0,07	1,54± 0,02

- а. гранулы, полученные переработкой чайного листа
  
- б. гранулы, полученные переработкой тонкодисперсных видов чая

Рис.5.1. РЭМ изображения внутренней структуры гранулированных видов черного чая

Рис.5.2. Обработка РЭМ изображений

## Выводы

1. Технологически целесообразно измельчение чайного листа до мелкодисперсного состояния и последующее гранулирование с целью повышения качества и увеличения выхода продукции, что обосновано на основе анализа физико-механических, биохимических и технологических свойств чайного листа и различных методов его переработки.
2. Максимальные значения углов естественного откоса и обрушения для обоих видов дисперсных чайных масс отмечаются при влажностях 64-66%, максимумы слипа-емости и пластической прочности для мелкодисперсных масс чайного листа - соответственно при влажностях 58-65% и 56-62%, а для увлажненных тонкодисперсных видов чайной продукции -соответственно при влажностях 55-58% и 44-51%. По опытным результатам структурно-реологических, когезионных свойств и уплотняемости мелкодисперсных масс диспергированного чайного листа и увлаж-

ненных тонкодисперсных видов продукции. обоснован подбор соответствующих методов их гранулирования.

3. Согласно разработанной математической модели с ростом диаметра гранул уменьшается их прочность и формоустойчивость при заваривании, а гранулы диаметром менее 2,5 мм подвергаются наименьшему влиянию осмотического давления, обусловленного выходом экстрактивных веществ, не диспергируются и интенсивно отдают экстрактивные вещества. С учетом окислительной способности гранул в процессе ферментации их диаметр до высушивания ограничен 3,5 мм.

4. Оптимальные значения режимных параметров отдельных технологических процессов составляют: - влажность 66-67%, размеры частиц перед обработкой 1,86-3,00 мм для экструдирования измельченного чайного листа; - влажность 66,5-67,7%, частота вращения гранулятора 23,2-24,1 об/мин, продолжительность гранулирования 44,7-47,2 сек для окатывания измельченного до мелкодисперсного состояния чайного листа; - влажность 40-50%, размеры частиц до увлажнения 0,6-1,15 мм для экструдирования увлажненных тонкодисперсных видов чайной продукции.

5. Согласно разработанной математической модели определены оптимальные размеры и режимы работы барабанного гранулятора для окатывания экструдатов барабанный гранулятор радиусом 41,5 см и длиной 3,0 м при частоте вращения 28,65 об/мин имеет производительность около 1500 кг/час. На основе моделирования и оптимизации процессов окатывания мелкодисперсных чайных масс к экструдатов создана установка барабанного типа Б2-ЧЛГ/1.

6. Представлены технологии производства черного гранулированного чая переработкой чайного листа и тонкодисперсных видов продукции (Технологическая инструкция производства мелкого зернистого черного чая из тонкодисперсных видов продукции ТИ 10-04-25-09-90; Технологическая инструкция производства гранулированного черного чая переработкой чайного листа - ТИ 10-04-25-02-89). Созданы соответствующие поточные линии для производства гранулированного чая из тонкодисперсных видов чайной продукции и непосредственно из зеленого чайного листа.

7. Представленные качественные и количественные изменения основных химических веществ чайного листа и тонкодисперсных видов чайной продукции при производстве черного гранулированного чая, а также структурно-механические показатели гранул указывают на эффективность переработки и высокие потребительские свойства конечной продукции.

8. "Превращение" тонкодисперсных видов чайной продукции в гранулированный чай позволяет повысить балловую оценку на 0,5 балла, среднереализационную цену 1 кг продукта на 1,37 долл. США, т.е. до норм, соответствующих показателям первого сорта черного байхового чая. Переработка чайного листа в гранулированный черный чай обеспечивает увеличение выхода продукции на 3%, повышение средневзвешенной балловой оценки и среднереализационной цены 1 кг продукции соответственно - на 0,18 балла и 0,16 долл. США.

9. Годовой экономический эффект от внедрения обеих указанных разработок составляет 608,2 тыс. долл. США.

## Литература

1. Азаров Б.М., Шавишвили Г.Л. Исследование процесса гранулирования чая и вторичных сырьевых ресурсов чайной промышленности //Субтропические культуры. 1984. № 6. с.48-58.
2. Аксельруд Г.А. Массообмен в системе твердое тело - жидкость. -Львов.: Издательство Львовского университета. 1970. -183с.
3. Аксельруд Г.А. Теория диффузионного извлечения веществ из пористых тел. - Львов.: Издательство Львовского политехнического института. 1959. -234с.
4. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. -М.: Химия. 1982. -256с.
5. Атабекова А.И., Устинова Е.И. Цитология растений. -М.: Агропромиздат. 1987. - 246с.
6. Ахтеров В.М., Урьев Н.Б. Кинетика образования агрегатов частиц в высококонцентрированных дисперсных системах.//Коллоидный журнал. 1987. Т.Х IX. № 2. С.232-238.
7. Бокучава М.А. Биохимия чая и чайного производства. -М.: издательство АН СССР. 1958. -586с.
8. Бокучава М.А., Гулуа К.П. и др. О продолжительности скручивания и ферментации при новой и старой технологии. //Биохимия чайного производства. 1962. сб.9. С.109-118.
9. Бокучава М.А., Попов В.Р. Значение аминокислот в образовании аромата чая при взаимодействии их с дубильными веществами в условиях, повышенной температуры. // Докл. АН СССР. 1954. Т.99.№ 1.С.145-148.
10. Бокучава М.А., Попов В.Р., Каверинская Т.В. Колориметрический метод определения количества свободных аминокислот в чае. //Чай. ГрузНИИТИ. 1986. № 3(73). С.14-17.
11. Бокучава М.А. Температурный режим ферментации чая. //Биохимия чайного производства. 1935. сб.1. С.23-40.
12. Бокучава М.А. Хлорофилловый показатель как метод контроля чайного производства //Биохимия чайного производства. 1935. сб.1. С.62-73.
13. Бузун Г.А.,Джемухадзе К.М., Милешко Л.Ф. Некоторые свойства полифенолоксидазы чая. //Биохимия. 1970. Т.35. Вып.5. С.1002-1006.
14. Бузун Г.А. Изменение активности окислительных ферментов чайного листа под влиянием географического фактора. // Биохимия чайного производства. 1959. сб.7. С.159-162.
15. Вагин А.А., Волошин П.С, Демберский В.Б., Ненашев В.Н. Грануляторы. //Обзор. -М.:ЦИНТИТЭИхимнефтемаш. 1970. -37с.
16. Вадочкория В.И., Какалашвили А.И. Устройство для непрерывного дробления и мятия чайного листа АС СССР №307786. 1971.
17. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., Методы исследования физических свойств почв. -М.: Агрпромииздат. 1986. -416с.

18. Васильев А.Е., Воронин Н.С., Еленевский А.Г. Ботаника. Морфология и анатомия растений.-М.: Просвещение. 1988. -480с.
19. Вечерский П.А. Исследование динамики адгезионного гранулирования окатыванием пищевых и других сыпучих веществ. Автореф.докт.дисс. -Киев. 1981. -61с.
20. Вилесов Н.Г., Скрипко В.Я., Ломазов В.Д., Танченко И.М. Процессы гранулирования в промышленности. -Киев.: Техника. 1976. -192с.
21. Винников Л.И., Романова М.К., Рашковская Н.Е. Гранулирование порошкообразных химических продуктов. //Обзорная информация. Л.:НИИТЭХИМ. 1977. Вып.19(129). -33с.
22. Витюгин В.М. Исследование процесса гранулирования окатыванием с учетом войств комкуемых дисперсий. Автореф.докт.дисс. -Томск. 1975. -45с.
23. Воронцов В.Е. Биохимия чая. -М.: Пищепромиздат. 1946. -291с.
24. Технологическая инструкция по производству черного и зеленого байхового чая для чайных фабрик первичной переработки - ТИ 10-04-05-28-88. -Махарадзе-Анасеули.: Госагропром СССР. 1988. -72с.
25. Габуня Т.К. Окислительная способность чайного листа в зависимости от степени его нежности. //Чай. ГрузНИИНТИ. 1981.№ 1(45). С.15-18.
26. Габуня Т.К., Ревишвили Т.О., Центерадзе А.Г. Беришвили Т.М.,Майсурадзе З.А., Гургенидзе Ш.А. Устройство для грануляции чая. А.С.СССР № I409197. 1988.
27. Габуня Т.К. Сурмава Т.А. О состоянии воды в чайном листе. //Субтропические культуры. 1988. № 2. С.72-75.
28. Габуня Т.К., Центерадзе А.Г. Способ переработки мелких фракций чайного листа. А.С.СССР № П94364. 1985.
- 29.Гавриленко В.Ф., Ладынина М.Е. , Хандобина Л.Н. Большой практикум по физиологии растений. -М.: Высшая школа, 1975. -391с.
30. Галдавадзе И. И. Сортировка и дегустация чая. -М.: Пищевая промышленность. 1972. -92с.
31. Георгадзе С.Г. Исследование белков и аминокислот грузинского чайного листа и их превращение в процессе производства черного чая по новой технологии. Автореф. канд.дисс. -Сухуми. 1969. -34с.
32. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. -М.: Пищевая промышленность. 1976. -248с.
33. Гогия В.Т. Биохимия субтропических растений. -М.: Колос.1984. -288с.
34. Гогия В.Т. Пектиновые вещества чайного листа. //Биохимия чайного производства. 1960. сб.6. С.184-196.
35. Гогия В.Т. Хранение чая. -М.: Пищепромиздат. 1964. -91с.
36. ГОСТ 18898-73. Методы определения плотности и пористости. 1986.
37. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. -М.: Пищевая промышленность. 1979. -200с.
38. Грег С, Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость: Пер. с англ. - М.: Мир. 1970. -408с.
39. Губенкова Е.Н., Сомов В.Д., Шеенсон В.А., Сомова А.И. Физико-химические свойства пектина, растворов и студней на его основе. //Пищевая промышленность. 1988. № 5. С.13-16.

40. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений: Пер. с англ. -М.: Мир. 1986. Т.1-2. -704с.
41. Гулуа К.П., Кутателадзе Л.Ш., Габуня Т.К., Центерадзе А.Г., Ревешвили Т.О. Установка для получения гранулированного чая. А. С.СССР № 1175422.1985.
42. Гулуа К.П., Кутателадзе Л.Ш., Ревешвили Т.О., Центерадзе А.Г., Габуня Т.К., Иобишвили Г.Г. Способ производства гранулированного чая. А.С.СССР № 1253574. 1986.
43. Гулуа К.П., Мамеишвили М.Г., Чоладзе И.Д., Беридзе Т.К., Запертов С.В., Ревешвили Т.О., Андгуладзе З.М., Майсурадзе З.А. Установка для обработки чайного листа. А.С.СССР № 1777769.1992.
44. Гулуа К.П., Ревешвили Т.О., Майсурадзе З.А. Технологические основы производства зернистых видов чая. //Пищевая промышленность. 1989. № 3. С.44-45.
45. Гулуа К.П., Ревешвили Т.О., Майсурадзе З.А. и др. Способ получения гранулированного чая. А.С.СССР № 1595428.1990.
46. Гулуа К.П., Центерадзе А.Г. Центробежный комколломатель и вопрос о поточном скручивании при производстве зеленого чая. //Бюллетень ВНИИЧП. 1964. №1(16).С.37-41.
47. Гулюк Н.Г., Жушман А.И., Ладур Т.А., Штыркова Е.А. Крахмал и крахмалопродукты. -М.: Агропромиздат. 1985. -240с.
48. Гусев Ю.И., Карасев И.Н. и др. Конструирование и расчет машин химических производств. -М.: Машиностроение. 1985. -408с.
49. Датунашвили Е.Н., Сейдер А.И. Влияние дубильных веществ на ферментативный гидролиз виноградного пектина. //Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. 1968. №11. С.33-35.
50. Девдариани Д.Г., Чантурия Ю.Б., Георгадзе А.Г., Бандурко Е.И. и др. Способ производства чая. А.С.СССР № 1303120. 1987.
51. Девис Р., Берч Г., Паркер К. Пищевые продукты с промежуточной влажностью: Пер. с англ. -М.: Пищевая промышленность. 1980. -208с.
52. Дерней И. Производство быстрорастворимых продуктов: Пер. с венг. -М.: Легкая и пищевая промышленность. 1983. -184с.
53. Джемухадзе К.М. О биохимическом контроле чайного производства. //Биохимия чайного производства. 1962. сб.9. С.144-147.
54. Джемухадзе К.М. Сезонные изменения биохимических свойств чайного сырья. // Биохимия чайного производства. 1960. сб.8. С.40-46.
55. Джемухадзе К.М. Некоторые аспекты улучшения качества отечественного чая. // Субтропические культуры. 1978. № 2-3 (154-155). С.214-216.
56. Джемухадзе К.М., Хочолава Р.И. Результаты производственного испытания способа производства чая путем быстрого и глубокого замораживания. //Субтропические культуры. 1978. № 2. С.27-31.
57. Джиджейшвили В.Г. Машина для резки растительной массы, например чая. А.С.СССР № 65012. 1938.
58. Джинджолия Р.Р., Гулуа К.П., Чиковани Н.Ш. Практикум по химии чая: На груз.яз. -Тбилиси.: Ганатлеба. 1983.- 159с.
59. Джинджолия Р.Р., Кобахидзе Ш.К. Полифенольные соединения чайного листа и готового чая. -Тбилиси.: Мецниереба. 1987. -164с.

60. Джинджолия Р.Р., Ревшвиши Т.О. Технология поточного производства черного чая: На груз.яз. -Тбилиси.: Мецниереба. 1984. -130с.
61. Джинджолия Р.Р., Хоперия Р.М., Ревшвили Т.О. Практическое руководство по технологии производства мелкого черного чая. -Сухуми.: Алашара. 1960. -38с.
62. Джомарджидзе Г.С. Новые технологические схемы и машины в чайной промышленности. -М.: Пищевая промышленность. 1966. -251с.
63. Джомарджидзе Г.С. Производство мелких видов чая. //Обзорная информация. -Тбилиси.: ГрузНИИТИ. 1979. -12с.
64. Джослин М.А. Химия протопектина. /Новое в зарубежной пищевой промышленности.: Пер. с англ. -М.: Пищевая промышленность. 1968. Т.2. С.350-456.
65. Дзnelадзе З.Ю. Практическое руководство по технологии производства жидкого концентрата чая. -Батуми.: Сабчота Аджара. 1981. -50с.
66. Дзnelадзе З.Ю. Справочник по производству новых видов чайной продукции. -Махарадзе-Анасеули.: ВНПОЧиСК. 1986. -83с.
67. Дидух Б.И. Упругопластическое деформирование грунтов. -М.: Издательство Университета Дружбы Народов. 1987. -166с.
68. Дудкин М.С. Химические методы повышения качества кормов и комбикормов. -М.: Агропромиздат. 1986.-350с.
69. Егоров И.А. Изменение химического состава черного чая во время хранения. //Биохимия чайного производства. 1937. сб.3. С.79-94.
70. Запрометов М.Н. Количественное определение катехинов при их разделении хроматографией на бумаге. //Физиология растений. 1908. № 3. С.6-9.
71. Зимон А.Д. Адгезия пищевых масс. -М.; Агропромиздат. 1985.-272с.
- 72.Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. -М.: Металлургия. 1978. -388с.
73. Кавецкий Г.Д. Оборудование для производства пластмасс. М.: Химия. 1986. -224с.
74. Калунянц К.А., Голгер Л.И., Балашов В.Е. Оборудование микробиологических производств. -М.: Агропромиздат. 1987. -398с.
75. Какалашвили А.Н., Бибилеишвили В.И. и др. Устройство для дробления и мятия чайного листа. А.С.СССР № 1098538. 1984.
76. Какалашвили А.Н., Жвания Г.Г. Устройство для скручивания чайного листа. А.С.СССР № 515507. 1976.
77. Какалшдвили А.Н., Жвания Г.Г., Цикарашвили Т.Д. Устройство для измельчения чайной массы. А. С.СССР № 511059. 1976.
78. Какалашвили А.Н. О выборе схем по переводу роллеров ЧРО в машины непрерывного действия. //Чай. ГрузНИИТИ. 1975. № 3(25). С.15-23.
79. Карминер А.А., Яхно О.М. Гидродинамика в инженерной практике. -Киев.: Техника. 1987. -175с.
80. Каузов П.А., Скрыбина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. -Л-д.: Химия. 1983. -280с.
81. Кигель Е.А. Производство чая на Цейлоне: Пер. с англ. -Тбилиси. 1958. -163с.
82. Киладзе З.Ш. Технологическая характеристика чайного листа механизированного сбора. //Бюллетень ВНИИЧП. 1977. № 30. С.3-11.

83. Классен П.В., Гршаев И.Г. Основы техники гранулирования. -М.: Химия. 1982. -272с.
84. Кочетков В.Н. Гранулирование минеральных удобрений. -М.: Химия. 1975. - 224с.
85. Кретович В.Л. Биохимия растений. -М.: Высшая школа. 1986. -503с.
86. Кретович В.Л., Токарева Р.Р. Взаимодействие аминокислот и сахаров при повышенных температурах. //Биохимия. 1948. Т.13. вып.6. С.508-515.
87. Кувабара Е., Сайдзэ Р. Исследование в области изготовления тонкодисперсных черных чаёв: Пер. с яп. //Нихон сёкухин когё гаккайси. 1963. Т.10. № 5. С.174-178.
88. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. -М.: Агропромиздат. 1987. -303с.
89. Курсанов А.Д. Превращение различных форм дубильных веществ при переработке чайного листа. //Биохимия чайного производства. 1946. сб.5. С.101-110.
90. Курсанов А.Л. Ферментация чая. //Биохимия чайного производства. 1946. сб.5. С.7-14.
91. Лагвилава В.Р., Бузун Г.А. Зеленые и желтые пигменты чайного сырья и их изменение при производстве черного чая. //Субтропические культуры. 1985. № 3. С.86-92.
92. Лагвилава В.Р. Производство черного чая с применением интенсивного скручивания-измельчения чайного листа. Канд.дисс. -Махарадзе-Анасеули. 1986. - 180с.
93. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. -М.: Наука. 1986. -734с.
94. Лебедев С.И. Физиология растений. -М.: Агропромиздат. 1989. -544с.
95. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. -М.: Наука. 1987. -840с.
96. Лонцин М., Мерсон Р. Основные процессы пищевых производств: Пер. с англ. - М.: Легкая и пищевая промышленность. 1983. -384с.
97. Лунин О.Г., Драгилев А.И., Черноиванник А.Я. Технологическое оборудование предприятий кондитерской промышленности. -М.: Пищевая промышленность. 1984. -384с.
98. Лысянский В.М., Гребенюк С.М. Экстрагирование в пищевой промышленности. -М.: Агропромиздат. 1987. -188с.
99. Майсурадзе З. А., Андрианов Е.И., Кузнецов Ю.П., Ахметханов Р.С. Определение величин углов естественного откоса и обрушения мелкодисперсной чайной массы различной влажности. //Чай. ГрузНИИТИ. 1987. № 6(82). С. 17-22.
100. Майсурадзе З.А., Бабак Б.Г. Роль слипаемости при агрегировании мелкодисперсной чайной массы. //Чай. ГрузНИИТИ. 1988. № 2(84). С.11-16.
101. Майсурадзе З. А., Кузнецов Ю.П., Ахметханов Р.С., Ревшвили Т.О. Математическая модель определения размеров горошко-образного чая. //Субтропические культуры. 1988. № 5. С.76-83.
102. Майсурадзе З. А., Ревшвили Т.О., Кузнецов Ю.П. Прогнозирование режимов работы устройства для гранулирования чая.//Пищевая промышленность.1990. №4.С.29-31.
103. Майсурадзе З.А. Технология гранулированного черного чая. Канд. дисс. - Сухуми. 1990. -215с.

104. Майсурадзе З.А., Цецхладзе Ш.Л., Ревишвили Т.О. Интенсификация процесса сушки гранулированных видов чая. //Субтропические культуры. 1988. 6. с.57-62.
105. Манская С.М. Биологическое состояние чайного листа при завяливании. //Биохимия чайного производства. 1935. сб.1. С.18-30.
106. Манская С.М. Биохимконтроль процесса скручивания чайного листа. //Биохимия чайного производства. 1935. сб.1. С.54-59.
107. Мачаладзе М.И., Мгалоблишвили Т.С., Джемухадзе К.М. К вопросу биохимической характеристики чайного сырья. //Бюл-летень ВНИИЧП. 1971. №1 (26). С.44-49.
108. Мачихин Ю.А., Зурабишвили Г.Г. Таблетирование пищевых материалов. -М.: Пищевая промышленность. 1978. -135с.
109. Назаров В.М., Меяконян Р.Г., Калыгин В.Г. Техника уплотнения стекольных шихт. -М.: Легпромбытиздат. 1985. -128с.
110. Накабаяси Н. Исследование механизма образования аромата черного чая: Пер.с яп. // Нихон ногей кагаку кайси. 1958. № 12. С.941-945.
111. О гранулировании. //Фудзи Паудал КО. ЛТД. -Токио. 1987. -19с.
112. Опарин А.И. Биохимическая теория чайного производства. //Биохимия чайного производства. 1935. сб.1. С.6-17.
113. Опарин А.И., Шуберт Т.А. О дыхательных окислительных системах чайного листа. // Биохимия чайного производства. 1950. сб.б. С.82-89.
114. Отчет ГИСХ по теме 43/77. 1979. № Госрегистрации 0282. 5016750.
115. Першин В.Ф. Расчет параметров движения сыпучих материалов во вращающихся гладких барабанах. //Химическое и нефтяное машиностроение. 1986. № 12. С. 15-16.
116. Платонов А.П., Першин М.Н. Композиционные материалы на основе грунтов. -М.: Химия. 1987. -144с.
117. Плаченев Т.Г., Колесенцев С.Д. Порометрия. – Л-д.: Химия.1988.-176с.
118. Попов В.Р., Бокучава М.А., Георгадзе С.Г. Аминокислоты и амиды чайного растения и их изменение при производстве черного чая. //Прикладная биохимия и микробиология. 1970. Т.У1. вып. 5. С.592-597.
119. Попов В.Р. Окисление аминокислот в присутствии дубильных веществ и полифенол-оксидазы чая. //Биохимия. 1956. Т.21. вып.1. С.380-384.
120. Попов В.Р., Шлипакова Л.Я. Определение продуктов окисления катехинов в настое черного чая. //Биохимия и прогрессивная технология чайного производства. -М.: Наука. 1966. С.133-139.
121. Применение растровой электронной микроскопии в почвоведении мелиорации и сельском хозяйстве. -Москва-Новочеркасск. 1978. -61с.
122. Протождяконов И.О., Люблинская И.Е., Рыжков А.Е. Гидродинамика и массообмен в дисперсных системах жидкость-твердое тело. -Л-д.: Химия. 1987. -336с.
123. Пруидзе Г.Н. Окислительно-восстановительные ферменты чайного растения и их роль в биотехнологии. -Тбилиси.: Мецниереба. 1987. -188с.
124. Радлей Д.А. Связь технических свойств крахмала с его химическим строением: Пер. с англ. /Новое в зарубежной пищевой промышленности, -М.: Пищевая промышленность. 1966. С.436-446.

125. Разумов В.А. Справочник лаборанта-химика по анализу кормов. -М.: Россельхоз-издат. 198С. -304с.
126. Рахлин З.Н. Исследование работы и расчет барабанных грануляторов. Автореф. канд. дисс. -М. 1974. -15с.
127. Ревитшвили Т.О. Исследование методов интенсификации технологических процессов производства черного чая. Канд.дисс. -Сухуми. 1979. -137с.
128. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика.Избранные труды. -М.: Наука. 1979. -381с.
129. Ревитшвили Т.О. Технологии производства мелкого и мелкодисперсного чая и переработки вторичного сырья. Автореф. докт. дис. – Кутаиси.2006.-84с.
130. Ребиндер П.А., Щукин Е.Д., Марголис Л.Я. О механической прочности пористых дисперсных тел. //ДАН СССР. 1964. Т.154. № 3. С.695-701.
131. Сапронов А.Р., Колчева Р.А. Красящие вещества и их влияние на качество сахара. -М.: Пищевая промышленность. 1975. -348с.
132. Скобелева Н.И., Попов В.Р. Взаимодействие дубильных веществ, аминокислот и сахаров в условиях повышенных температур. //Биохимия чайного производства. 1962. сб.9. С. 185-188.
133. Седов Л.И. Механика сплошной среды. -М.: Физматгиз. 1962. Т.1. -492с.
134. Семёнов Е.В. Методы расчетов процессов обработки дисперсных систем в мясной и молочной промышленности. -М.: Легкая и пищевая промышленность. 1983. -232с.
135. Скрипников Ю.Г. Технология переработки плодов и ягод. -М.:Агропромиздат. 1988. -287с.
136. Стерлинг С. Структура клеточных стенок в пищевых продуктах и содержание в них полисахаридов: Пер. с англ. /Новое в зарубежной пищевой промышленности. -М.: Пищевая промышленность. 1966. С.412-436.
137. Сурманидзе Д. А. Методика определения растворимых сахаров чайного листа. /Тезисы докладов научно-технической конференции. -Махарадзе-Анасеули. 1985. С. 36-37.
138. Сурманидзе Д.А. Технология переработки чайного листа с применением методов биоконверсии. Автореф.канд.дисс. -Сухуми. 1989. -24с.
139. Сурманидзе Д.А., Щербухин В.,Д., Ревитшвили Т.О. Растворимые углеводы грузинского чайного листа разного возраста. //Сообщения АН ГССР. 1987. Т.128. № 1. С.121-124.
140. Толстогузов В.Б. Новые формы белковой пищи. -М.: Агропромиздат. 1987. -303с.
141. Урьев Н.Б., Талейсник М.А. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс. -М.: Пищевая промышленность. 1976. -240с.
142. Урьев Н.Б. Физико-химическая механика в технологии дисперсных систем. -М.: Знание. 1975. -64с.
143. Урьев Н.Б., Финашин В.Н., Котлярский Э.В. Черномаз В.Е. Структурообразование в высоконаполненных дисперсных системах на основе органических вяжущих. // Коллоид-ный журнал. 1987. Т.ХІХ. № І. С.72-79.
144. Флауменбаум Б.Л., Танчев С.С., Гришин М.А. Основы консервирования пищевых продуктов. -М.: Агропромиздат. 1986. -494с.

145. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. -М.: Химия. 1989. -464с.
146. Хашельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Пер. с англ. -М.: Мир. 1975. -534с.
147. Хамм Р. Водопоглощающая сила пищевых продуктов: Пер. с англ. /Новое в зарубежной пищевой промышленности. -М.: Пищевая промышленность. 1966. С.398-412.
148. Харебава Г.И., Авалиани Л.И. и др. Влияние резки крупной фракции скрученного листа на качество черного байхового чая. //Бюллетень ВНИИЧП. 1966. № 1(20). С.29-42.
149. Хведелидзе В.Г., Губелидзе Т.Г., Кобахидзе М.Г. Результаты исследований структурно-механических свойств чайной пыли и крошки. //Чай. ГруНИИНТИ. 1982. № 2(50). С. 12-17.
150. Хведелидзе В.Г. Исследование процесса прессования плиточного чая. Автореф. канд. дисс. -М. 1972. -25с.
151. Хеншен А., Хупе К.-П., Лотшпайх Ф., Вельтер В. Высокоэффективная жидкостная хроматография в биохимии: Пер. с англ. -М.: Мир. 1988. -688с.
152. Хинт И.А. УДА-технология: проблемы и перспективы. -Таллинн: Валгус. 1981. -36с. 153. Мельницкий Р.А. Физическая и коллоидная химия. -М.: Высшая школа. 1988. -400с
164. Хоперия Р.М., Гогава М.В., Цинцадзе Г.Н., Джинджолия Р.Р., Папова Ш.С. Машина для выработки мелких видов чая. А. С.СССР № 441913. 1974.
105. Хоперия Р.М. Производство черного мелкого чая из сырья различной структуры. //Пищевая и перерабатывающая про мышленность. 1985. № 11. С.27-29.
156. Хоперия Р.М. Технология производства чая. -М.: ВО Агропромиздат. 1988. -160с.
157. Хоперия Р.М., Цинцадзе Г.Н., Джинджолия Р.Р. и др. Линия ЛБМ-1 для переработки чайного листа. А.С.СССР № 507301. 1976.
158. Хоперия Р.М., Цинцадзе Г.Н., Джинджолия Р.Р. и др. Машина для измельчения завяленной чайного листа. А.С.СССР № 535070. 1976.
159. Хоперия Р.М., Шенгелия Э.И. Исследование физико-химических показателей сырья с высоким содержанием огрубевших и грубых побегов. //Бюллетень ВНИИЧП. 1984. № 38. С.47-53.
160. Хочолава И.А., Дараселия З.Г. Комбинированное производство с параллельной выработкой черного и зеленого чая с применением отдельной переработки листа. //Чай. ГрузНИИНТИ.1966. № 2(8). С.66-81.
161. Хочолава И.А., Каджая Ш.С., Гугушвили Т. А. и др. Устройство для измельчения пищевых продуктов. А.С.СССР № 291702. 1971.
162. Хочолава И.А. Технология чая. -М.: Пищевая промышленность. 1977. -304с.
163. Центерадзе А.Г., Гулуа К.П., Габуня Т.К. и др. Устройс-тво для обработки чайного листа. А.С.СССР № 1109115. 1984.
164. Цоциашвили И.И., Бакай И.А., Гогия В.Т. и др. Способ переработки чайного листа. А.С.СССР № 115423. 1985.
165. Цоциашвили И.И., Кикория Э.М. Количественные изменения аминокислот и водорастворимых углеводов в натуральном и обогащенном сахарозой черном чае. //Субтропические культуры. 1985. № 3. С.64-68.

166. Цопиашвили И.И. Спектрофотометрический метод определения танино-кateхинового о комплекса и кофеина в чае. //Чай. ГруаНИИНТИ. 1975. № 3(25). С.33-43.
167. Цурцеладзе Д.Р., Блуашвили Т.Г., Валишвили Н.В. и др. Способ производства гранулированного чая. А.С.СССР № 1317702. 1987.
166. Чантурия О.Д., Кутателадзе Л.Ш., Ревшвили Т.О. Развитие сырьевой базы чайной промышленности и улучшение качества отечественного чая. //Обзорная информация. -И.: Агро НИИТЭИПП. вып.2. -29с.
169. Чанчибадзе З.А. Чайный лист машинного сбора и некоторые вопросы его оптимальной технологии. -Сухуми: Алашара. 1975. -80с.
170. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. - Л-д.: Химия. 1984. -168с.
171. Чоладзе К.Д., Габуня Т.К. Технологическая эффективность применения "Роторвейна" и "С.Т.С." при производстве черного чая из сырья хозяйственного сбора. // Бюлетень ВНИИЧП. 1984. № 35(1). С.24-29.
172. Чоладзе И.Д. Изменение количественного содержания зеленых и желтых пигментов во время ферментации и фиксации чайного листа. //Бюлетень ВНИИЧП. 1976. № 29. С.37-41.
173. Чхаидзе Р.Т., Назаров Н.И., Кобахидзе Ш.К. и др. Способ производства черного чая. А.С.СССР № 526339. 1976.
174. Шавишвили Г.М., Кутателадзе Л.Ш., Орагвелидзе Н.И. и др. Способ производства гранулированного чая из крошки и высевки. А.С.СССР № 1126272. 1984.
175. Шавишвили М.Н. К вопросу влияния отдельных частей флеша на качество чая. //Бюлетень ВНИИЧиСК. 1953. № 1. С.56-63.
176. Шольц К.Ф., Островский Д.Н. Ячейка для амперметрического определения кислорода. /Методы современной биохимии. -М.: Наука. 1975. С.52-53.
177. Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.И. и др. Практикум по агрохимии. -М.: Агропромиздат. 1987. -512с.
178. Abdul Gaffar N.M., Thevathasan A. Methods to increase the production of small leaf grades usig ekisting machinery. // Tea quarterly. 1981. V.50. N 1. P. 11-15.
179. Anan T., Takayanag H., Ikegaya K. Changes in the free sugar contants of green tea during heating or Storfge. // Study of Tea. 1984. V.59. N 66. P. 47-51.
180. Bahadur N., Mahapatra H., Mukherjee D.K.. A study on the mechanical strength of alumina pellets. // J. Technology. V.11. N 2-3. 1974. P.168-172.
181. Baltes W. Die Bedeutung der Maillard reaktion fur die Akomabildung in Lebenssmitteln. // J. Lebensmittel chemie und ge richtliche Chemie. 1980. v.34. N 2. P.39-47.
182. Baruah S., Hazarika M., Mahanta P.K., Horita H., Murai T. Effect of plucking intervals on the chemical constituents of C.T.C. black teas. // Agric. Biol.Chem. 1986. 50(4). P. 1039-1041.
183. Basu R.P., Ravindranath S.D. Factors affecting blackness of C.T.C. teas. // J. Nwo and Bud 1982. V.28. N 1.
184. Bender A.E. The effect of heat on protein rich foods. / Food Quality and Mutrition.- London.: Applied Science Publ. Ltd, 1977. P. 411-426.

185. Biswas Ajit K., Sarker A.R., Biswas ASIM K. Biological and chemical factors affecting the valuation of North East Indian teas. 111 Statistical evaluation of the biochemical constituents and their effects on color, brightness and strength of black teas. // *J.Sci. Food Agric.* 1973. v. 24 P. 1457-1477.
186. Choudhury M.M., Bajaj K.L. Role of chlorophylls, amino acids and sugars in tea. // *J. Two and Bud.* 1980. V. 27. P. 16-20.
187. Cloughley J.B., Ellis R.T., Harris N. Black tea manufacture. 11. Comparison of the liquoring properties, partial site distribution and total value of teas produced by different processing systems. // *Annals of applied biology.* 1981. V.99. P.367-374.
188. Cloughley J.B. Storage deterioration in Central African tea: methods of reducing the rate of theaflavin degradation. // *J.Sci. Food Agr.* 1981. V.32. N 12. P.1224-1228.
189. Cloughley J.B. The effect of fermentation temperature on the quality parameters and price evaluation of Central African black teas. // *J.Sci. Food. Agric.* 1980. V.31. N 9. P.911-919
190. Cloughley J.B., Ellis R.T.. The effect of pH modification during fermentation on the quality parameters of Central African black teas. // *J.Sci. Food Agric.* 1980. V.31. N 9. P.924-934.
191. Co H., Sanderson G.W. Biochemistry of tea fermentation: Conversion of amino-acids to black tea aroma constituents. // *J. Food Sci.* 1970. V.35. N 2. P.160 - 164.
192. C.T.C. facts, Teamaster features, Super Teamaster Steels worth PVT L.t.d. 1987.- 10 p.
193. C.T.C. machines.: Hambro machinery L.t.d. 1987. -5 P.
194. C.T.C. methods.: Steelsworth PVT L.t.d. 1987. -20 p.
195. Das A.K. How to improve the quality of Cochar and Tripura teas? // *J. Two and Bud.* 1983. V. 30.1/2. P. 45- 47.
196. Devise A.G. Objective indicators of tea quality, Theaflavins. // *J. Tea and Coffee.* 1983. V.155. N 2. P.34-37.
197. Dutta A. Blackness of tea. // *Assam review and tea news.* 1968. V.57. N 6. P.305-309.
198. Eriksson C. Ed. Maillard Reactions in Food. / Proceedings Int. Symp. Udevalla. Sweden.- Oxford.: Pergamon Press. 1981.- 500 p.
199. Feeney R.E., Whitaker J.R. The maillard reaction and its prevention. // *J. Food Protein deterioration.* 1982. N 23-28. P. 201-229.
200. Gebbett J.G. Granulering genom strängsprutning och kultormning. // *Modern Kemi.* 1973. N 9. P.26-28.
201. Goodarz - Nia J., Sutherland D.N. Flocculation effects of particle size and shape. // *Chem. Enghg. Sci.* 1975. V.30. N 4. P.407-412.
202. Gregory R.P.E., Bendall D.S. The purification and some properties of the polyphenol oxidase from tea. // *Bio chem. J.* 1966. V.101. N 3. P. 569-581.
203. Harris N., Ellis R.T. Black tea manufacture. I. Effects on Leaf structure of different processing systems // *Annals of applied biology.* 1981. V.99. P. 359-366.
204. Hayase F., Kim S.B., Kato H. Analyses of the chemical structures of melanoidins by <sup>13</sup>C MMR, <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N CP-MAS MMR spectrometry. // *Agr. Biol. Chem.* 1986. V.50. N 8. P.1951-1957.

205. Herrmann K. Wertgebende Bestandteile des Teeseine Übersicht. //Lebensmittelchemie Gerichtliche Chemie. 1983. V.37. N 2. S.30-35.
206. Lingnert H., Eriksson C.E. Axitioxidatve Maillard reaction products. I.Products from sugars and free aminoacids. // J.Food Processing and preservation.1980.V.4. N3. P.161-172.
207. Mahanta P.K., Hazarika M. Chlorophylls and degradation products in orthodox and C.T.C. black teas and their influence on shade of colour and sensory quality in relation to thearubigins. // J.Sci. Food Agric. 1985. V.36. N 11. P.II33-II39.
208. Mc Tear "Rotorvane" Continuous tea roller.: The Hooghly Docking & Engg.co L.t.d. 1987. -4 p.
209. Millin D.J. Swaine D.. Fermentation of tea in aqueous suspension. // J. Sci. Food Agric. 1981. V. 32 N 9. P. 905-919.
210. Neumann K., Montag zur Kenntnis einiger stickstoffsubstanzen der Tees. //Deutsche Lebensmittel-Rundschau. 1983. N 5. 160 - 164.
211. Pilnik W., Voragen A.G. Pektinstoffen: voorkomen, structuur, afbraak en hun rol in voeding-Smiddelen. // Voedingmiddelentechnologie. 1974. V.7. N. 30/31. P.97-105.
212. Price W.E., Spiro M. Kinetics and equilibria of tea infusion. Rates of extraction of theaflavins, caffeine and theobromine from several whole Teas and sieved fractions. // J.Sci.Food Agric. 1985. V.36. P.1309-1314.
213. Pulvermacher B., Ruckenstein E. Time evolution of the size spectrum in granulation. // J.Chem. Eng. 1975. V. 9. N 1. P.21-29.
214. Quality leaf from high output "Hambro" triturators.: Hambromachinery L.t.d. 1987. - 6 P.
215. Rarnabhadran T.E. On the general theory of solid granulation. // J.CHEM.Eng.Sci. 1975. V. 30. N 9. P. 1027-1033.
216. Ries H.B., Eirich G. Granulation constitutive // Inform. Chemie. 1974. N 132. P. 221-226.
217. Ries H.B. Granulaterzeugung in Mischgranulatoren und Granulaterzeugung in Mischgranulatoren und Granuliertellenr. // Aufbereit. Tech. 1975. N 12. S.639-646.
218. Roberts E.A.H. The chemical basis of quality in tea./ Proceedings of the 1st International Congress of Food Science and Technology. New - York.: Gordon and Breach Science Publishers, 1965. V.3. P.711-720.
219. Roberts G.R., Sanderson G.W. Changes undergone by free amino acids during the manufacture of black tea. // J.Sci. Food Agric. 1966. V. 17. N 4. P. 182-188.
220. Robertson A., Bendall D.S. Production and HPLC analysis of black tea theaflavins and thearubigins during in vitro oxidation. // Phytochem. 1983. V.22. N 4. P. 883-887.
221. Robertson A. Effects of physical and chemical conditions on the in vitro oxidation of tea leaf catechins //Phytochemistry. 1983.V.22.N 4. P.889-896.
222. Rumf H. The strength of granules and agglomerates./ Agglomeration.- Wiley and New-York. 1962. P.379-418.
223. Sanderson G.W., Berkowitz J.E., Co H., Graham H.N. Biochemistry of tea fermentation products of oxidation of tea flavanols in model tea fermentation systems.//J.Food Sci. 1972. V.37. N.3. P.399-404.

224. Sanderson G.W. Change in cell membrane permeability in tea flush on storage after plucking and its effect on fermentation in tea manufacture. // *J.Sci. Food Agric.* 1968. V.19. P. 637-639.
225. Sanderson G.W., Co h., Gonsalez J.G. Biochimistry of tea fermentation: the role of carotenases in black tea aroma formation. // *J. Food Sci.* 1971. V.36. N 2. P.231-236.
226. Sanderson G.W. On the reaction of aminoacids and tea quinines. // *J.Current Sci.* 1966. V.35. N 15. P. 392.
227. Sanderson G.W., Perera B.M.P. Carbohydrates in tea plant.1. The carbohydrates of tea shoot tips. // *J.Tea Quarterly.* 1965.. V.36. N 1. P.6-13/
228. Sanderson G.W. The chemistry of tea and tea manufacturing. / Structural and functional aspects of phytochemistry. 5. –New York and London.: Academic Press nInc. 1972. P. 247-316.
229. Seck., Gruzet j. Formation d'aldehydes volatils par degradation thermique de la phenylalanine et de la leucine en presence de glucose et de fructose. // *J.Sciences des aliments.* 1982. N 2. P. 187 – 194.
230. Selvendran R.R. Perera B.P. Chemical composition of tea leaf cell wall. // *J.Chemistry and Industry.* 1971. N 21. P.577-578.
231. Sen D.K., Mohan S., Varma S. Apparent density of ammonium sulphate nitrate: effect of particle size distribution. // *Technology.* 1972. V. 9. N 4. P. 319-321.
232. Shubert H. On interfacial processes in agglomeration. // *Chem.Ing.Tech.*1975. V. 47. N 3. P.86-94..
233. Shubert H. Tensile strength of agglomerates.//*Powder Technol.* 1975. N.11. P. 107-119.
234. Schwarz M., Holscher H. Befeuchtung und Granulierung mineralischer Staube im Pflugscharmischer. //*Aufbereitungs-Technik.* 1975. N 12. S. 652-655.
235. Soommer K., Hermann W. Auslegung von Granulierteller und Granulirtrommel. // *Chem.Ing.Tech.* 1978. V.50. N 7. S. 518 -524.
236. Spiro M., Jago D.S. Kinetics and equilibria of tea infusion. Part 3. Rotating-disk experiments interpreted by a steady-state model. // *J.Chem.Soc.Faraday Trans.* 1982. V.78. P.295-305.
237. Stainsby G. Proteinaceous Gelling systems and their complexes with polysaccharides. // *J.Food Chem.* 1980. V.6. P. 3-14.
238. Strain H.H., Svec W.A. Extraction, separation, estimation and isolation of the chlorophylls. / *The chlorophylls.* Ed by Veruon L.P. and Seely G.R/- New York and London.:Academic Prass. 1966. P.21-26.
239. Surervane.: Steelsworth PVT L.t.d. 1987.-4 p.
240. Takeo T. Tea leaf polyphenol oxidase activity during black tea manufacture. // *Agr.Biol.Chem.* 1966. V.30. N 6. P.529-535.
241. Ullah M.R. Bordoloi A.K., Gogoi N. Hastening of leaf senescence in the processing of green tea leaf to black tea. // *J. Food Agric.*1986. V.37. N 10. P. 1042-1044.
242. Ullah M.R., Gogoi N., Baruah D. The effect of withering on fermentation of tea leaf and development of liquor characters of black teas. // *J. Sci.Food Agric.*1984. V.35. P. 1142-1147.

243. Willah M.R., Roy P.C. Effect of withering on polyphenol oxidase level in the tea leaf. // J.Sci.Food Agric. 1982. V.33. P.492-495.
244. Werkhoven J. Tea processing. Food and Agriculture organisation on the United Nations. – Rome: FAO Agricultural Services Bulletin. 1974. N 26. -196 p.
245. Wickremasinghe R.L. Fact and speculation in the chemistry and biochemistry of black tea manufacture. // J. Tea Quarterly. 1967. V.38. N 2. P.205-209.
246. Wickremasinghe R.L., Kirtisinghe D., Perera K.P.W.C., Perera V.H. Effect of method of manufacture on the oxidation of polyphenols and Chlorophylls. //J. Tea Quarterly. 1965. V.36. N 4. P.167-171.
247. Wickremasinghe R.L., Perera K.P.W.C., Perera V.H. Kanapathipillai p. Analysis of polyphenols, aminoacids and chlorophyll levels in tea flush of different seasons. // J. Tea Quarterly. 1966. V.37. N 4. P.232-235
248. Wickremasinghe R.L., Perera V.H. The blackness of tea and the colour of tip. // J. Tea Quarterly. 1966. V.37. N 2. P.75 – 79.