

А.Н.Даурский
Ю.А.Мачихин

РЕЗАНИЕ ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ



Анатолий Николаевич Даурский,
Юрий Александрович Мачихин

РЕЗАНИЕ ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ



Редактор Г. И. Круглова
Художник Г. З. Комаров
Художественный редактор В. А. Чуракова
Технический редактор Л. И. Кувыркина
Корректоры Е. А. Постникова, М. Л. Лебедева

ИБ № 774

Сдано в набор 04.07.79. Подписано в печать 04.12.79.
Т-19780. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2.
Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем
7,5 печ. л. Усл. печ. л. 12,60. Уч. изд. л. 13,32.
Тираж 1700 экз. Заказ 91. Цена 70 к.

Издательство «Пищевая промышленность»,
113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., д. 12

Владимирская типография «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

А.Н.Даурский
Ю.А.Мачихин

РЕЗАНИЕ ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА, МАШИНЫ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ

МОСКВА ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1980

ББК36
Д21
УДК 664:621.91

Даурский А. Н., Мачихин Ю. А.

Резание пищевых материалов: Теория процесса, машины, интенсификация. — М.: Пищевая пром-сть, 1980. — 240 с.

Резание сырья и полуфабрикатов — один из важнейших технологических процессов производства пищевых продуктов. В книге впервые обобщены вопросы, относящиеся к проблеме резания разнообразных по физическому состоянию пищевых материалов (мясо, рыба, кондитерские изделия, продукция общественного питания). Приведены результаты исследований влияния геометрии режущего инструмента, скоростей резания и подачи, сопротивления трения материалов по поверхности ножа на силу резания и качество поверхности среза.

Изложен современный взгляд на физическую сущность резания, даны основные закономерности резания пластинчатыми и дисковыми ножами, а также струной. Рассмотрены пути интенсификации процесса и направления развития техники и технологии резания. Дан анализ конструкций резательных машин и механизмов различного назначения.

Таблиц 34. Иллюстраций 83. Список литературы — 138 названий.

Рецензенты — канд. техн. наук В. Н. СЕРБА и канд. техн. наук В. М. БОРКУНОВ

Д $\frac{31701-025}{044(01)-80}$ 25—80 2901000000

© Издательство «Пищевая промышленность», 1980 г.

Резание как один из технологических процессов обработки пищевых материалов широко применяется в различных отраслях пищевой, мясной, рыбной, комбикормовой промышленности: разрезание пластов и жгутов кондитерских масс на отдельные корпуса; отделение куска от тестовой массы; резание туши или большого куска мяса на части; отделение головы и плавников рыбы; порционирование рыбы и мяса; резание овощей и фруктов; отделение гранул при выпрессовывании и т. п. Резание очень часто осуществляется в сфере общественного питания при разделении на части различных продуктов: хлеба, колбасы, рыбы, мяса, сыра, овощей.

Материалы, подвергаемые резанию, имеют разнообразные физико-механические свойства (хрупкая кондитерская масса, упруго-пластичное волокнистое мясо, вязко-пластичное мыло). Они могут быть однородными (тесто, кондитерская масса) или неоднородными (рыба, хлеб, табак), изотропными (мыло, тесто) или анизотропными (мясо, рыба), иметь в своем составе более прочные элементы по сравнению с основной массой (волокна, кости, орехи в кондитерской массе). Помимо этого разрезаемые материалы могут быть в естественном состоянии или предварительно подвергнуты дополнительной обработке (подпрессовка табака, формование и охлаждение мяса при порционировании). В зависимости от реологических свойств материала выбираются способ резания, вид режущего инструмента, скорости резания и подачи продукции. На качество среза и конечную форму продукта влияют тип ножа, характер заточки режущей кромки, соотношение скоростей резания и подачи.

Резание производят разными по виду ножами, лезвия которых имеют гладкую или фигурную режущую кромку, внедряющуюся в материал и создающую в местах контакта разрушающие напряжения.

Резание пищевых материалов производится на специальных резательных машинах и устройствах (конфеторезательные, однооперационные рыботоразделочные) или при помощи резательных механизмов, являющихся частью технологических машин (тестоделители, ирисоформирующие, многооперационные рыботоразделочные).

Вопросами резания пищевых продуктов занимались А. И. Пелеев, М. Н. Клименко, А. Н. Позднышев, В. А. Захаров, В. Г. Проселков (резание мяса и мясных продуктов); С. Г. Гуревич, Н. И. Жилин, А. А. Романов, М. А. Якубов, В. М. Боркунов (резание рыбы); П. С. Сычевой, В. Н. Щеголев, Э. В. Островский (резание сахарной свеклы); А. Я. Кириллов, Н. В. Морозов, А. Д. Панин (резание овощей и фруктов); И. В. Молчанов (резание мыла); Н. А. Предтеченский (резание продуктов общественного питания); В. М. Хромеев, А. А. Сурашов (резание сухарных плит); О. Г. Лунин, М. В. Калачев, В. Н. Серб, Н. Н. Соловьев (резание кондитерских масс); Г. А. Каргина (резание колбасных изделий); В. А. Панин (резание табака) и другие исследователи.

Анализ литературы по теории и практике резания пищевых материалов показал, что до настоящего времени не разработана общая теория, объясняющая качественные и количественные закономерности процесса резания. Создание такой теории затруднено разнообразием реологического состояния пищевых материалов, поэтому в настоящее время преобладает эмпирический подход. В работах большое внимание уделено исследованию влияния геометрии режущего инструмента, скоростей резания и подачи, сопротивления трению материала по поверхности ножа на силу резания, а также на качество поверхности среза. В последних трудах значительное место отведено физико-механическим свойствам материалов и их влиянию на процесс резания. Рядом авторов предложены уравнения, содержащие физико-механические характеристики перерабатываемого материала. Не было систематизированного изложения в одной книге вопросов, относящихся к проблеме резания пищевых материалов. В связи с этим настоящая работа имеет целью хотя бы частично восполнить этот пробел.

В книге изложены современные взгляды на физическую сущность процесса резания пищевых материалов, обладающих разными физико-механическими свойствами.

ми, освещены основные закономерности резания пластинчатыми и дисковыми ножами, струной, а также рассмотрены вопросы виброрезания. Дан анализ конструкций резательных машин, устройств и механизмов различного назначения. Приведены методы расчета производительности резательных машин, усилий и работы резания, указаны современные направления развития техники и технологии резания. Особое внимание уделено качеству вновь образованной поверхности среза и повышению эффективности процесса резания.

При написании книги авторы использовали полученные ими результаты экспериментального и теоретического изучения процессов резания, а также большое количество опубликованного научного и патентного материала, посвященного вопросам резания, опыт отечественных заводов продовольственного машиностроения, отраслевых научно-исследовательских институтов и конструкторских организаций, опыт зарубежных ученых и фирм.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

СПОСОБЫ РЕЗАНИЯ

Резание — технологический процесс обработки путем разделения материала с нарушением его целости, осуществляемый режущим инструментом с целью придания материалу заданной формы, размеров и качества поверхности. Применительно к пищевым продуктам резание должно осуществляться без отходов.

При резании происходит отделение одной части материала от другой в результате разрушения граничного слоя. Разрушению в зоне контакта режущего инструмента с материалом предшествует упругая и пластическая деформация, величина которой зависит от строения материала, скорости его деформирования, физико-механических свойств. Под действием приложенной силы инструмент создает в материале упругую и пластическую деформацию (рис. 1). Разрушение происходит по линии наибольших напряжений и наступает тогда, когда напряжение становится равным временному сопротивлению (пределу прочности) материала. В зависимости от состояния материала и характера приложения силы разрушение происходит при растяжении или срезе. Работа резания расходуется на создание упругой и пластической деформации, а также на преодоление трения инструмента о разрезаемый материал.

Закономерности резания рассматриваются как результат взаимодействия системы: устройство — инструмент — материал. Любой вид резания характеризуется режимом резания, который определяется скоростью резания, глубиной резания и скоростью подачи. Эффективность резания зависит от рациональных режимов, учитывающих все влияющие факторы.

Неотъемлемой частью многих технологических агрегатов пищевой и мясной промышленности являются режущие устройства, при помощи которых обрабатывае-

мый материал разделяется на отдельные части. Анализ работы резательных машин и механизмов показал, что форма и размеры изделий, количество отходов продукта зависят от правильности выбора способа резания, геометрии режущего инструмента, скорости подачи и физического состояния разрезаемого материала. При обработке резанием пищевых материалов особое внимание обращается на эффективность процессов обработки и повышение качества обработанных поверхностей изделий.

Условно различают два способа резания: статический (режущий инструмент перемещается нормально лезвию) и скользящий (режущий инструмент перемещается по двум взаимно перпендикулярным направлениям — нормально и параллельно лезвию). Первый из них некоторые исследователи [86] называют рубкой, а второй — резкой; в других источниках [33] указано, что резание без скольжения является частным случаем скользящего резания. М. В. Калачевым [40] предложено рассматривать следующие способы резания: рубящий, скользящий, вибрационный, водоструйный, лазерный и ультразвуковой. Последние два способа пока не нашли применения в пищевой промышленности, но работы в этом направлении ведутся.

Изучение процесса резания началось с первой половины XIX в. в связи с развитием металло- и деревообработки. Основоположником науки о резании металлов и дерева является И. А. Тиме. Ему принадлежит мировой приоритет научного обоснования процессов резания. Первые формулы для определения усилия резания были также предложены И. А. Тиме. Он стремился на основе эксперимента расчетным путем найти связь между сопротивлением резанию и показателями механических свойств материала.

Первыми работами по изучению резания материалов органического происхождения явились исследования В. П. Горячкина [19], который указывал: «Как в техни-

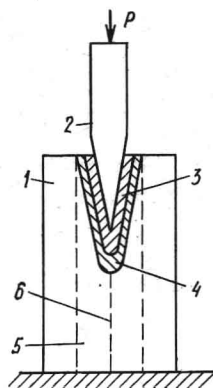


Рис. 1. Схема резания материала:

1 — разрезаемый материал; 2 — режущий инструмент; 3 — зона пластической деформации; 4 — зона упругой деформации; 5 — границная зона; 6 — линия разрушения.

ке, так и в обиходе резание инстинктивно производится при помощи двоякого рода движения: одного, основного, сравнительно медленного надвигания по направлению разреза, другого, вспомогательного, очень быстрого, вбок, вдоль разреза. Разрез скользящим движением сопровождается затратой энергии на трение при движении вбок и на первый взгляд даже не выгоден, но инстинктивно такой способ применяется почти всегда, за редким исключением». Таким образом, В. П. Горячкин разделил спо-

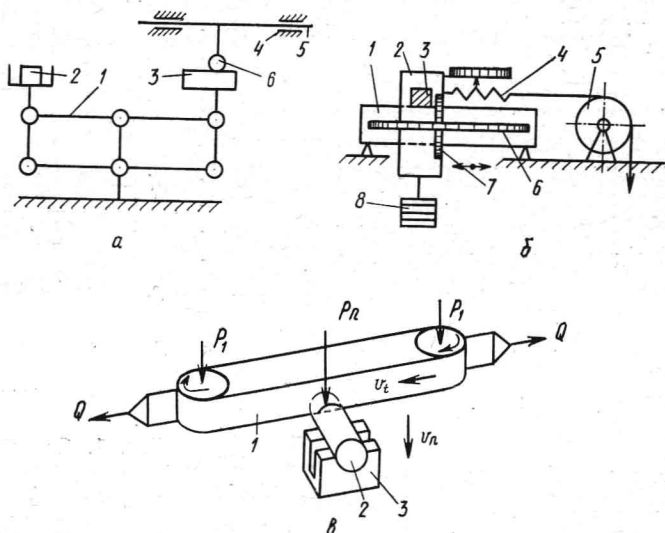


Рис. 2. Приборы для определения параметров резания:

а — В. П. Горячкина: 1 — чашечные весы; 2 — сменные грузы; 3 — нож; 4 — тиски; 5 — направляющая; 6 — образец; *б* — В. А. Желиговского: 1 — нож; 2 — каретка; 3 — образец; 4 — динамометр; 5 — барабан; 6, 7 — шкалы; 8 — груз; *в* — Н. Б. Резника: 1 — ленточный нож; 2 — образец; 3 — держатель с мездой.

собы резания на резание без скольжения и резание со скольжением. Им введено понятие коэффициента скольжения как отношения скорости скольжения лезвия относительно разрезаемого материала к скорости подачи. Установлена зависимость усилий резания от коэффициента скольжения применительно к резанию стеблей. Опыты проводили на приборе, схема которого представлена на рис. 2, *а*.

Дальнейшее развитие учения о резании материалов органического происхождения получило в трудах

В. А. Желиговского [33], который исследовал вопросы резания стеблей лезвием. При этом влияние фасок и боковых поверхностей ножа не учитывалось. Установлены условия резания со скольжением, а именно: во-первых, направление скорости лезвия должно составлять с нормалью к нему угол, превосходящий величину угла трения лезвия по разрезаемому материалу; во-вторых, разрезаемый материал должен обладать упругими или пластическими свойствами.

В. А. Желиговским получена зависимость результирующей силы сопротивления резанию от степени скольжения лезвия относительно разрезаемого материала, определена удельная работа резания, т. е. работа, затрачиваемая на разрезание единицы площади материала (рис. 2, б).

Уменьшение усилия резания при скольжении В. А. Желиговский объяснил двумя причинами: «пилообразностью» лезвия, что вызывает захват материала неровностями и процесс резания происходит без уплотнения материала, и геометрической картиной резания — при скользящем резании площадь разреза меньше, чем при резании без скольжения при одинаковом перемещении лезвия.

В. А. Желиговский указал, что при резании лезвием разрушение материала в месте его разрезания происходит под действием вершины двугранного угла, образованного фасками ножа, и фаски, т. е. заточенные боковые грани ножа, проникая за лезвием в образуемый им прорез в материале, могут оказывать на процесс резания лезвием свое дополнительное влияние в зависимости от угла заточки ножа и коэффициента трения его по материалу; тем не менее, законы резания лезвием определяются не действием фасок, а непосредственным воздействием линии лезвия на материал. Это положение справедливо и подтверждается многими исследованиями, но следует заметить, что влияние лезвия на параметры процесса резания (усилие резания, удельная работа резания) зависит от свойств разрезаемого материала, способа резания и других факторов.

При резании без скольжения влияние лезвия на параметры резания уменьшается, определяющими становятся угол заточки, толщина ножа, его форма.

При резании со скольжением, как отмечает В. А. Же-

лиговский, частицы материала в зоне непосредственного соприкосновения с лезвием в процессе сжатия захватываются неровностями лезвия и смещаются в направлении скольжения. Благодаря этому между смещаемыми и соседними частицами возникают касательные напряжения вместо нормальных. Вследствие этого характер разрушения материала изменяется: вместо сжатия наступает другой вид разрушения — разрыв или сдвиг частиц. Последнее происходит при значительно меньших разрушающих напряжениях.

Теорию резания лезвием разработал Н. Е. Резник [89], который различные виды резания и свойства материалов рассматривал как частные случаи общего процесса. Для опытного изучения пилящего воздействия лезвия при скользящем резании был применен специальный прибор (рис. 2, в).

И. И. Капустин [42] различал два способа резания: неподвижным и подвижным ножом. Резание подвижным ножом, когда его скорость направлена вдоль лезвия, он назвал «пилящим резанием» и считал его наиболее высококачественным и производительным. Резание овощей и плодов рассмотрено М. Я. Дикисом и А. Н. Мальским, которые в основном уделили внимание схемам резания и расходу энергии на резание растительного сырья. Ими отмечено, что при наличии двух взаимно перпендикулярных силовых воздействий сопротивления продукта резанию преодолеваются легче, чем при одностороннем воздействии.

Н. А. Предтеченским [86] проанализированы основные способы резания: рубка (резание гильотинным ножом) и резание. «При резке в отличие от рубки требуется незначительное уплотнение, так как при одновременном движении клина вдоль лезвия имеющиеся на нем мельчайшие, часто незаметные невооруженным глазом зубцы перерезают, или, как принято говорить, перепиливают, волокна и стенки клеточек обрабатываемого продукта независимо от их расположения и структуры».

Большой вклад в теорию резания и ее практическое приложение внесли А. И. Пелеев и его ученики [46, 47, 81, 82, 83, 84, 85, 87]. В их работах отмечено, что мясопродукты измельчают различными способами: вклиниванием, выдавливанием, сдвигом и резанием, причем вы-

бор того или иного способа зависит от структуры, физического состояния, механических свойств, качества поверхности раздела и вида, который должен иметь продукт после измельчения. Резание мясопродуктов производится лезвием ножа, заусенцы которого способствуют лучшему разрушению соединительной ткани, так как они, как мельчайшие зубцы, производят дополнительное разрушение материала. Для резания применяют ножи, совершающие возвратно-поступательное или чаще вращательное движение. Скорость лезвий находится в пределах от 1 до 100 м/с, а скорость подачи составляет $1/10$ — $1/60$ от скорости лезвия. Отмечено, что соотношение этих скоростей существенно влияет на качество среза, нормальное усилие и расход энергии.

Классификация способов резания дана А. А. Ивашко [39], который в качестве основного признака взял угол наклона линии жала лезвия к направлению резания: нормальное, наклонное и касательное.

Н. Н. Чепрасовым [120] исследован гидравлический способ резания рыб.

При обработке пищевых материалов широко распространены как нормальное, так и скользящее резание. Нормальное резание (рубка) применяется при разделении конфетных охлажденных бесконечных жгутов на отдельные корпуса гильотинными ножами, тестовой массы в процессе ее деления при формовании. Скользящее резание осуществляется при резании хлеба и сухарных плит, мясопродуктов и рыбы, халвы и грильяжа.

При нормальном резании режущий инструмент вначале значительно локально уплотняет материал, а затем разрушает его, при этом образуются новые поверхности среза. Способ пригоден в тех случаях, когда к качеству поверхности среза не предъявляется высоких требований, так как поверхность получается шероховатой и часто наблюдается появление отходов. Таким образом, способ нормального резания пищевых материалов следует применять только в случаях, если предусмотрена их дальнейшая технологическая обработка (например, глазирование конфетных корпусов, округление и закатка тестовых кусков и т. п.).

При скользящем резании режущая кромка инструмента создает местное уплотнение материала, при этом образуется более гладкая поверхность среза. Это резание широко применяется для пищевых материалов.

ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Основными характеристиками, определяющими резание пищевых материалов, служат: силовые параметры резания (удельная работа резания, удельное сопротивление резания, условное напряжение резания и др.); наивыгоднейшие скорости резания и подачи, определяющие производительность процесса резания; качество обработанной поверхности; влияние разрезаемого материала на затупление режущего инструмента и ряд других. Эти характеристики проявляются по-разному в зависимости от физико-механических свойств материала.

Авторами работ по резанию изучались следующие вопросы: процесс разрушения материала под действием режущего инструмента, сопротивление резанию, работа резания, скорость резания, производительность режущего инструмента, геометрическая характеристика режущего инструмента (угол заточки, толщина ножа), износоустойчивость режущего инструмента, влияние структурно-механических свойств материала на выбор способа резания и параметров резания, расчет мощности и коэффициенты трения пары разрезаемый материал — поверхность инструмента и др.

Рассмотрим главные из перечисленных показателей процесса резания.

Под скоростью резания понимают скорость точки лезвия режущего инструмента по отношению к точке на поверхности среза материала в направлении рабочего движения. При вращательном движении режущего инструмента (дисковые ножи) за скорость резания принимается скорость точек лезвия, наиболее удаленных от оси вращения.

Скорость резания (в м/с)

$$v_p = \sqrt{v_n^2 + v_c^2}, \quad (1-1)$$

где v_n — скорость подачи или проекция скорости внедрения режущего инструмента в разрезаемый материал на ось, перпендикулярную лезвию, м/с; v_c — скорость скольжения или проекция скорости резания на ось, параллельную лезвию, м/с.

В. А. Желиговский, рассматривая резание стеблей режущим инструментом уборочной машины, определил зависимость между усилием P (в Н) и скоростью резания

$$P = \frac{m\Delta v}{\Delta t}, \quad (1-2)$$

где m — масса стебля, кг; Δv — приращение скорости резания, м/с; Δt — время, с.

Эта зависимость получена из условия, что стебель не имеет опоры при резании и приращение скорости стебля равно скорости режущего инструмента.

При анализе работы мылорезательных автоматов установлено [69], что причиной образования неправильного, косо́го среза при резании мыла в бесприводных и приводных автоматах с плоскими ножами является несоответствие скорости подачи продукта и скорости перемещения ножей в процессе резания. Даны рекомендации по улучшению качества среза.

В. М. Хромеенков [119] экспериментально определил, что увеличение коэффициента скольжения путем повышения скорости резания приводит к повышению удельной работы резания, скорость подачи при этом оказывает меньшее влияние на величину удельной работы резания. Им же установлено, что при повышении соотношения скоростей резания и подачи улучшается качество среза сухарных плит (исследовалось скользящее резание). К подобному заключению пришел В. В. Щербатенко [126], который исследовал влияние окружной скорости дисковых ножей и скорости подачи на качество среза сухарных плит.

До сих пор не представляется возможным ответить на такие вопросы: как происходит разрушение материала в зоне резания, какие изменения вносит в распределение деформаций и напряжений скользящее движение ножа и т. д. Трудности изучения скользящего резания обусловлены неоднородностью пищевых материалов, а разрушение происходит при высокой скорости ножа в локализованных микрообъемах. Результаты исследования нормального (рубящего) резания не могут быть непосредственно перенесены на процесс разрушения материала при скользящем резании [119].

Интересные данные получил В. Н. Серба [95] при исследовании зависимости деформации карамели при ее формовании от скорости внедрения ножей в исследуемую массу. При скорости до 0,65 м/мин по всему сечению образца наблюдалась деформация смятия, поверхность была матовой, без нарушения целостности. При

повышении скорости до 7,11 м/мин наблюдалась шероховатая поверхность среза «террасового строения», а при увеличении скорости свыше 7,11 м/мин — хрупкое разрушение массы.

Установлено, что характер деления карамельного жгута в основном зависит от температуры и влажности массы, а также от скорости врезания ножей. Автором введено понятие «критическая скорость врезания ножей в массу»: первая критическая скорость, при которой по всему сечению карамельного жгута наблюдается только пластическое течение, зависит от влажности и температуры массы; вторая критическая скорость, при которой по всему сечению карамельного жгута наблюдается только скалывание, зависит от параметров массы и диаметра жгута.

Выражения первой $v_{к_1}$ и второй $v_{к_2}$ критических скоростей при температуре массы 75°С имеют вид

$$v_{к_1} = 0,036W^3 - 0,2W^2 + 0,45W, \quad (1-3)$$

$$v_{к_2} = (0,02W^3 + 1,63W^2 - 1,42W)(0,72d + 0,02d^2), \quad (1-4)$$

где W — влажность карамельной массы, %; d — диаметр карамельного жгута, мм.

Формулы (1—3) и (1—4) применимы для расчета критических скоростей при толщине ножа до 4 мм с углом заточки режущей кромки до 90°.

Зависимость максимальной нагрузки $P_{\max}$ (Н/9,8) от скорости резания, температуры и влажности карамельной массы и формы режущей кромки ножа имеет вид

$$P_{\max} = \frac{0,7dk_1k_2k_3}{W} \sqrt{A_1v + A_2v^2 + A_3v^3}, \quad (1-5)$$

где k_1, k_2, k_3 — эмпирические коэффициенты, зависящие соответственно от толщины ножа, температуры карамельной массы и угла заточки ножа; A_1, A_2, A_3 — коэффициенты, зависящие от вида режущей кромки ножа (табл. 1); v — скорость резания, м/мин.

Для ножа с плоской режущей кромкой

$$k_1 = \sqrt{a\delta - b\delta^2},$$

для ножа с заостренной режущей кромкой

$$k_1 = a\delta - b_1\delta^2 - c\delta^3,$$

где δ — толщина ножа, мм; a, b, b_1, c — эмпирические коэффициенты (см. табл. 1).

Таблица 1

Значения коэффициентов в уравнении (1—5)

Коэффициенты	Форма режущей кромки ножа	
	плоская	заостренная
A_1	158,5	54,25
A_2	—8,7	1,1
A_3	0,008	—0,28
a	2	2,58
b	0,0001	—
b_1	—1,22	—
c	—	0,17
b_2	0,09	0,09
c_1	0,0035	0,0035

$$k_2 = 7,75 - b_2 t,$$

где t — температура карамельной массы, °С; b_2 — эмпирический коэффициент (см. табл. 1).

$$k_3 = 0,37 + c_1 \beta,$$

где β — угол заточки режущей кромки ножа, град; c_1 — эмпирический коэффициент (см. табл. 1).

Уравнение (1—5) применимо для скоростей резания ниже первой критической при температуре карамельной массы в пределах 75—80° С, толщине ножей до 4 мм с заостренной и плоской режущей кромкой, угле заточки ножа до 90°, диаметре карамельного жгута до 18 мм.

Установлено [46], что с увеличением скорости резания мясо под кромкой лезвия не успевает передать давление лезвия на весь его объем. Давление распространяется только на ближайшие частицы, так как хотя скорость распространения деформации и велика, но создается так называемый скоростной подпор мяса под лезвием. Время действия сил на элементарный объем при резании со скоростью выше 10 м/с мало по сравнению с периодом релаксации мяса. На экспериментальной установке (рис. 3) исследовано изменение силы резания при увеличении скорости ленты и подачи образца мяса. С увеличением скорости режущей ленты вертикальная и горизонтальная составляющие силы резания снижаются, что объяснено кинематическим заострением лезвия ленты.