

Исследование ресурсосберегающего процесса нарезки хлеба.

Арет В.А., Иминов Р.В., Антуфьев В.Т., Громцев С.А

valdurtera@rambler.ru , batyapa@mail.ru , antufjew2010@yandex.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики.

Институт холода и биотехнологии

В статье, обобщающей экспериментальные исследования, поставлена и решена аналитическая задача механической обработки – нарезки хлебобулочных булочных изделий при наложении вибрации на ножи, позволяющая определить необходимые усилия резания, рациональные частоты и амплитуды движения ножей с точки зрения ресурсосбережения и трудозатрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонт хлеборезательных машин.

Ключевые слова: хлеборезательные машины, вибрационное резание, ресурсосбережение.

Study of the resource-saving process of the bread-cutting.

Aret V. A., Iminov R. V., Antufjev V.T. , Gromcev S.A.

valdurtera@rambler.ru , batyapa@mail.ru , antufjew2010@yande.ru

Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies ,
Mechanics and Optics.

Institute of Refrigeration and Biotechnology

In the article, in which the experimental studies are generalized, the authors pose and solve the analytical problem of mechanical processing – cutting into pieces bakery articles during the imposition of the vibration to the knives, that makes it possible to determine the necessary cutting forces, rational frequencies and motion amplitudes of knives from the point of view of the resource-saving, energy, labor expenses to the operation and repairing of the bread-cutting machines.

Keywords: bread-cutting machines, vibration cutting, economy of resources.

Маркетинговые исследования показывают, что неуклонно растет спрос на мелкоштучную хлебобулочную продукцию и нарезанный упакованный хлеб. К тому же эта продукция более рентабельна, и упускать

такую возможность означает для производителя потерю прибыли и ухудшение конкурентных позиций. О качестве процесса резания можно судить по количеству крошек, некондиционных частиц и брака к общей массе нарезанного продукта..

Для того чтобы интенсифицировать производство, добиться высокого качества и современного товарного вида нарезанного хлеба, снизить потери, предприятия используют хлеборезательные машины с НОУ-ХАУ. [1]. В частности, используют специальные смазывающие устройства, подогрев ножей, ультразвуковую амплитудную и частотной модуляцию движения ножей. Это обеспечивает снижение усилий резания и энергозатраты на привод, но существенно усложняющие конструкцию машин. На практике нередко имеет место невысокое качество поверхности среза, нестабильности толщины нарезаемых заготовок, параметрические отказы режущего инструмента в связи с его недостаточной устойчивостью. При этом нужно учитывать то, что резальные машины и устройства с тонкими пластинчатыми ножами используются в составе высокопроизводительных поточных линий, простой которых или выпуск нестандартной продукции, могут приводить к значительному ущербу. Высокая адгезионная способность тонких пластинчатых ножей не дает возможности перерабатывать пищевые полуфабрикаты непосредственно после предыдущей технологической операции и требует их выдержки и охлаждения [2]. Наблюдается налипание мякиша на ножи и заминание хлеба.

Наряду с широко распространенными рубящим и скользящим способами резания, вибрационное резание пищевых продуктов занимает все более важное место. Использование вибрирующих органов в машинах и аппаратах пищевой промышленности и общественного питания позволяет интенсифицировать процесс резания, сократить потери сырья, повысить качество разделяемых поверхностей и снизить усилия резания. В хлебопекарной промышленности вибрационные машины используются для нарезки тортов, сухарей. Патентный поиск таких машин для нарезки хлеба не дал удовлетворительных результатов. Поэтому разработка оригинальных и высокопроизводительных машин, которые допускали бы значительный разброс физических параметров мякиша и корки хлеба при нарезке актуальна.

Анализ литературных источников позволил обосновать возможность качественной нарезки «липких» и мягких сортов хлеба, доказана потребность в таком ресурсосберегающем технологическом процессе. В работе [3] предлагается использовать вибрационный способ резания, как совмещающий в себе скользящее резание и резонансное внедрение ножей в хлеб, что в несколько раз снижает потребляемую мощность машины и потери на крошку и брак. При этом особое внимание обращено на виброреологические эффекты, состоящие в изменении характеристик вязкоупругих систем под действием вибрации. Характерным признаком вибрационных машин является периодическое возвратно-поступательное

перемещение их рабочих органов с особыми амплитудно-частотными характеристиками. Эти перемещения происходят с достаточно высокой частотой и ограниченной амплитудой исключая налипание хлеба на ножи. Такой режим работы может поддерживаться только в машинах, содержащих вместо жестких звеньев упругие связи. Поэтому вибрационные машины являются устройствами с упругими звеньями. Особенностью таких устройств является зависимость закона движения их звеньев от величины действующей нагрузки, характеристики вибровозбудителя и источника энергии. На режим работы вибрационной машины оказывают влияние не только величина рабочих сопротивлений, но и реологические свойства нагрузки, определяющиеся сложной зависимостью между внутренними сопротивлениями в обрабатываемой среде и ее деформацией, а также скоростью и ускорением, при помощи которых эта деформация осуществляется. Для описания нагрузок, действующих на рабочий орган со стороны технологической нагрузки, используются теоретические основы вибрационной технологии с использованием инерционных упруговязкопластичных феноменологических моделей технологических сред. Использование методологии вибрационной реологии позволяет разработать методы проектирования вибрационных машин различного технологического назначения.

Руководствуясь принципами рационального конструирования, а также исходя из соображений снижения стоимости машины, автором подобрана установочная мощность приводного двигателя таким образом, чтобы она соответствовала лишь потребностям машины под нагрузкой, а не превышала их многократно. При этом с целью максимального использования резервов, основанных на резонансе взаимодействия колебательной системы, нагрузки и привода, рассчитана и установлена упругая прокладка для возврата ножевой решетки в рабочее положение. Предполагается повысить качество нарезки хлеба и снизить энергозатраты на осуществление процесса. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований целесообразность выполненной работы полностью подтвердилась.

Анализ показал, что существующие хлеборезки не в полной мере отвечают требованиям техники безопасности и производственной санитарии. Автор предложил оригинальную безопасную конструкцию машины. Стоимость поставляемых из-за рубежа технологических машин также не соответствует требованию "стоимость-экономичность".

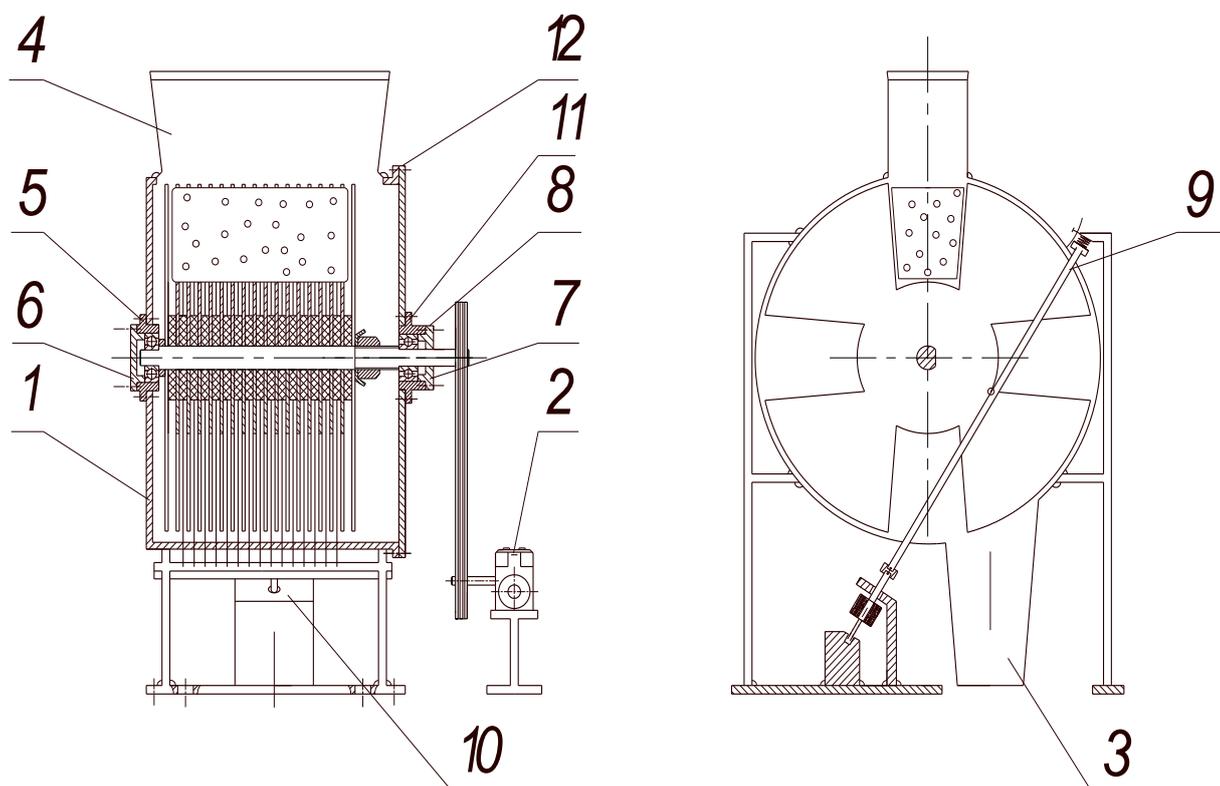


Рис 1. Схема вибрационно-роторной хлеборезательной машины

1 – станина; 2 - привод ротора с редуктором; 3- направляющий спуск; 4 - бункер подачи хлеба; 5 – подшипники; 6,7 – тензодатчики; 8 - ротор в сборе; 9-ножевая решетка; 10- вибратор с упругим элементом; 11- регулировочный узел; 12- концевой выключатель.

На рис.1 показана схема изготовленной опытно - промышленной машины для нарезки сортов хлеба любой жесткости и с вязкими, тяжелыми сортами хлеба, а также при резке хлеба с повышенной влажностью. Предложенная и изготовленная вибрационно-роторная хлеборезательная машина состоит из следующих основных частей: 1 – станина; 2 - привод ротора с редуктором; 3- направляющий спуск; 4 - бункер подачи хлеба; 5 – подшипники; 6,7 – тензодатчики; 8 - ротор в сборе; 9- ножевая решетка; 10- вибратор с упругим элементом; 11- регулировочный узел; 12- концевой выключатель.

Механизм подачи хлеба опытно-промышленной хлеборезки выполнен в виде роторного толкателя, насаженного на вал и имеет в передней части решетчатое ограждение, которое препятствует выпадению изделий из него. Ножевая решетка 9 имеет 16 пластинчатых самозатачивающихся ножей. Расстояние между ножами, жестко закрепленными в каркасе 14 мм, что позволяет нарезать хлеб ломтиками указанной ширины. Общая длина хлеба для нарезки составляет до 240 мм, что соответствует максимальным размерам изделий. После нарезки хлеба ножевой решеткой он поступает в направляющий спуск 3 самостоятельно под действием силы тяжести. Загрузка хлеба может производиться как сбоку через загрузочный стол или синхронно работающий конвейер, так и сверху, при надетом на кожух

бункере подачи хлеба 4. Выгрузка происходит через направляющий спуск 3, под который необходимо ставить поднос (корзину) для нарезанного хлеба или устройство упаковки .

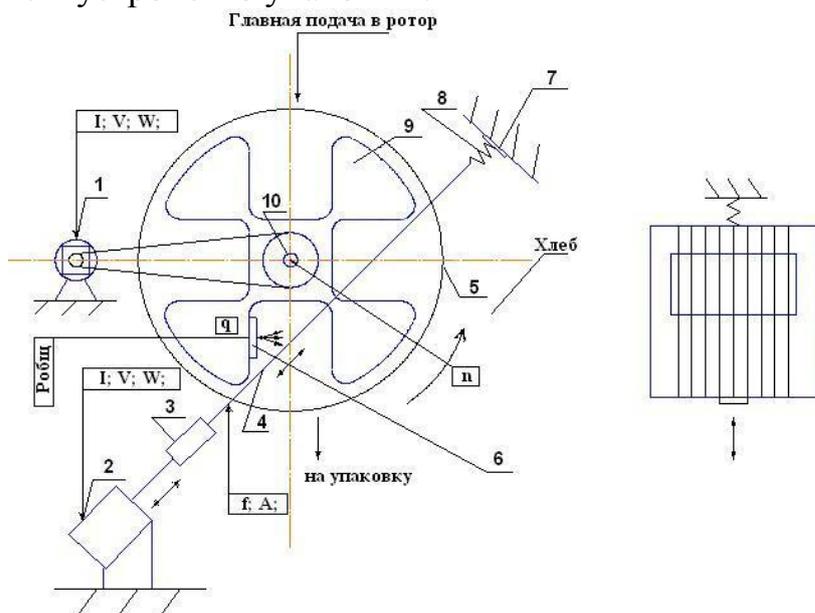


Рис.2. Схема снятия показателей вибрационно-роторной хлебозерательной машины

1 – мотор; 2 – вибродвигатель; 3 – упругая муфта; 4 – нож; 5 – кожух; 6 – тензодатчик общего усилия; 7 – тензодатчик общего усилия; 8 – пружина; 9 – ротор; 10 – шкив.

Хлебозерательная машина работает следующим образом (Рис 2). Вращение от мотора 1 через червячный редуктор и ременную передачу передается на шкив 10 вала роторного толкателя 9. Хлеб, закрепленный между пластинами роторного толкателя, совершает круговое вращательное движение до встречи с ножевой решеткой 4. Ножевая решетка от вибродвигателя 2 совершает возвратно-поступательное движение с автоматически регулируемой частотой 12 – 100 Гц и ее ход составляет около 1,0 мм. Во время встречи хлеба, закрепленного в роторном толкателе, с ножевой решеткой происходит нарезка хлеба ломтиками. Во время резания хлеб и ножевая решетка подвижны, при этом усилие роторного толкателя на хлеб, как показывают исследования (Рис 3), снижается в 3-4 раза при резонансных частотах движения ножей. Для этого тензодатчики 6 подают сигнал изменения усилий резания в электронный блок питания вибродвигателя (не показан).

При визуальном и метрологическом исследовании нарезанного хлеба обнаружено, что в процессе вибрационной обработки поверхностного слоя хлеба происходит его пластическое деформирование при виброударном воздействии ножей, которые строками движутся вдоль поверхности, соударяясь с ней при малых импульсах удара. При этом изменяется как геометрия самой поверхности, так и структура тонких поверхностных и приповерхностных слоев материала, в которых возникают слои упорядоченных наноструктур [4]. Эти наноструктуры в приповерхностных слоях обрабатываемого материала несут ответственность за физические свойства получаемой поверхности, а ее качество, в свою очередь, зависит от параметров вибрационной обработки. Исследования, проведенные после нарезки хлеба вибрационным

способом, показывают, что неровности на срезе имеют характерный размер 10-40 нм по сравнению с 120-140 нм в обычных ножевых машинах (Рис. 3).



Рис. 3. Образцы хлеба, нарезанного: а) - обычным способом; б) - с применением виброрезания.

Для получения количественной информации о качестве нарезки и подборе режима вибрационной обработки необходимо применять методы нанотехнологических диагностик [4]. В настоящее время существенно развита теория авторезонансных технологических машин и разработаны технологии, позволяющие настраивать вибрационные машины в авторезонансные режимы. Авторезонанс гарантирует максимальную эффективность функционирования машины с учетом обратного действия на нее поверхностных и приповерхностных нанослоев обрабатываемой среды. По сравнению с используемыми в настоящее время технологиями резания авторезонанс в разы увеличивает технологическую эффективность машин и устройств. При этом существенным фактором является значительное снижение энергопотребления, которое, согласно теории и проведенным исследованиям [5,6], оказывается минимально возможным на данном классе устройств и металлоемкости машин. Таким образом, вибрации ножей в резонансном режиме пластически деформируют и упрочняют поверхностный слой срезанного хлеба, частично расплавляя гель мякиша в нанослое, увеличивают «микротвердость» и блеск поверхностной пленки, сглаживают неровности поверхности и создают улучшенный поверхностный слой с регулярным характером микрорельефа. Во время нарезки практически не образуется крошка и отсутствует налипание мякиша на ножи.

По результатам проведенных исследований процесса виброрезания для хлеба получены графики (рис.4) и эмпирические зависимости 1-3:

для хлеба Карельского:

$$y = 0,008x^6 - 0,306x^5 + 4,64x^4 - 35,16x^3 + 138x^2 - 261x + 207; \quad (1)$$

для хлеба Боярского:

$$y = 0,0211x^6 - 0,749x^5 + 10,4x^4 - 71,4x^3 + 252x^2 - 423x + 278; \quad (2)$$

для батона:

$$y = -0,0044x^6 + 0,119x^5 - 1,05x^4 + 2,17x^3 + 13,5x^2 - 63,1x + 75,3, \quad (3)$$

где $y = P_{уд}$; $x = f$ (см. рис. 4)

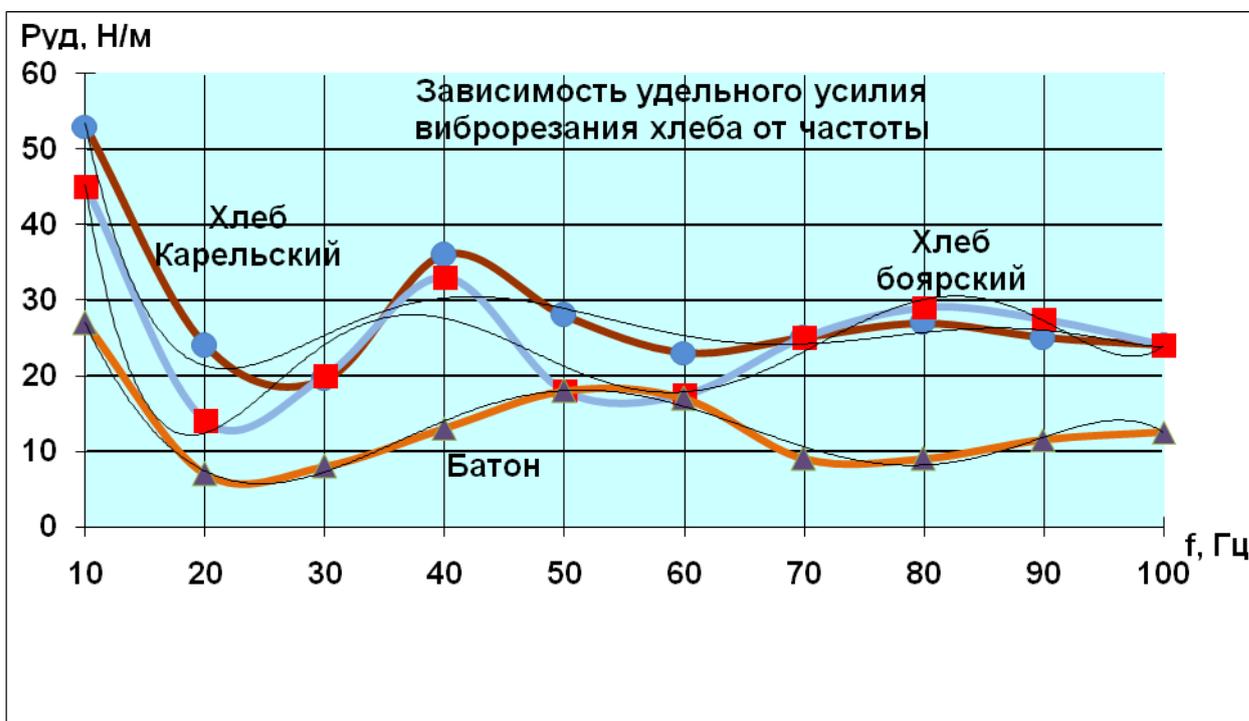


Рис.4. Зависимость удельных усилий виброрезания от частоты колебаний режущего органа при $A=1\text{ мм}$; $V_{п}=0.1\text{ м/с}$ для хлеба Карельского; хлеба Боярского; Батона.

Экспериментально подтверждено, что полученные математические зависимости процесса виброрезания хлеба позволяет с достаточной точностью описывать влияние изменения частоты, амплитуды вибрации, скорости подачи при виброрезании гелеобразных продуктов. Анализ результатов эксперимента показал, что применение вибрации режущего инструмента приводит к существенному уменьшению удельных усилий резания (в 3 – 5 раз), а характер изменения усилий соответствует нашему представлению о физической картине процесса виброрезания других упругих материалов. На основе анализа усилий, приложенных к режущему

инструменту, экспериментально подтверждено, что оптимальным углом наклона ножевой решетки к изделию является 50-60 градусов, амплитуда $A_{опт} = 0,5-0,7$ мм и частота движения ножей $f = 20-3$ Гц.

Выводы:

1. Экспериментально проверены на работоспособность многоножевой вибрационный узел и роторное подающее устройство машины.
2. Поставлена и решена аналитическая задача процесса вибрационного резания качественной нарезки «липких» и мягких сортов хлеба, позволяющая определять необходимые усилия резания, рациональные частоты и амплитуды движения ножей с точки зрения ресурсосбережения энергии, трудозатрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонт хлеборезательных машин.
3. Экспериментальная проверка показала удовлетворительное совпадение решений по полученным расчетным зависимостям, которые могут быть рекомендованы для инженерных расчетов; разработана принципиальная схема и методика исследования хлеборезательной машины.

Список литературы:

1. Авторское свидетельство СССР № 977287, кл. в 65 б 11/22, 1981 Устройство для подачи прямоугольных предметов, преимущественно хлеба, к хлеборезательной машине
2. Хромеенков В.М.. Оборудование хлебопекарного производства: - М.: ИРПО; ПрофОбрИздат, 2002. – 320с.
3. Заявка на изобретение «Хлеборезательная машина», МПК В 65 Б 11/22, №92008031/26, от 28.06.2010 г., авторы: Иминов Р. В., Громцев С. А., Антуфьев В. Т.
4. Баранов Ю.В., Сахвадзе Г.Ж, Столяров В.В.. Некоторые особенности эффекта Иоффе в наноструктурных материалах.\\ ВНТР, (vntr.ru) -2009-№2, - С. 7-18.
5. Иминов Р.В., Громцев С.А. Экспериментальные исследования нарезки хлебобулочных изделий в роторной вибрационной машине.// Хлебопродукты. 2008. № 2, стр. 48.
6. Иминов Р.В., Громцев С.А., Антуфьев В.Т. Разработка ресурсосберегающей технологии и машин для нарезки хлебобулочных изделий. «Известия СПбГУНиПТ» №3, 2008 г.