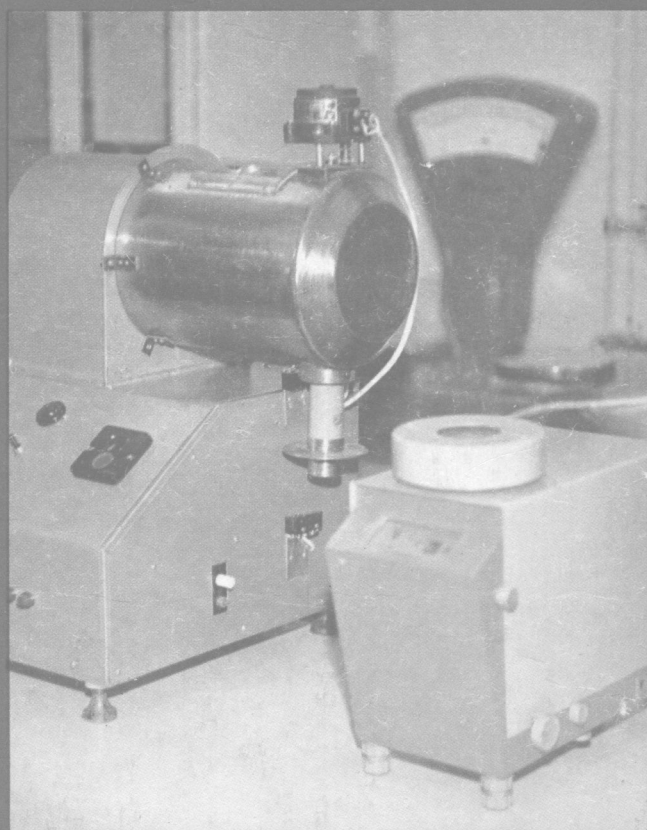


смесительные машины

в хлебо-
пекарной
и
кондитерской
промышлен-
ности



ББК 36.81-5
С50
УДК 664.61.691

Авторы: А. Т. Лисовенко, И. Н. Литовченко, И. В. Зирнис,
А. Г. Котенко, В. В. Батыщев, И. А. Лисовенко

Рецензенты: инж. А. Н. Норенко, канд. техн. наук Ю. А. Да-
гаев

С50 Смесительные машины в хлебопекарной и конди-
терской промышленности / А. Т. Лисовенко, И. Н. Ли-
товченко, И. В. Зирнис и др.; Под ред. А. Т. Лисовен-
ко.— К.: Урожай, 1990.— 192 с.

ISBN 5-337-00544-8.

В справочном издании даны классификация, технические ха-
рактеристики и функциональные схемы специализированных оте-
чественных и зарубежных смесительных машин, применяемых в
хлебопекарном, макаронном и кондитерском производствах. Опи-
саны устройство и принцип работы, методика расчета параметров
рабочего процесса смесителей и их конструктивных элементов, а
также пути совершенствования смесительных машин.

Рассчитано на специалистов, занятых в хлебопекарном, макаронном и кондитерском производствах.

С $\frac{4001030000-007}{M204(04)-90}$ 135.90

ББК 36.81-5

ISBN 5-337-00544-8

© Лисовенко А. Т., Литовченко И. Н., Зирнис И. В.,
Котенко А. Г., Батыщев В. В., Лисовенко И. А.,
1990

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ (А. Т. Лисовенко)	5
Возникновение и развитие смесительных машин	5
Классификация смесительных машин	15
Физико-механические характеристики и свойства компонентов смеси	16
Определение равномерности смеси	20
Особенности процессов перемешивания различных компонентов пищевого сырья	22
Моделирование процессов смешивания	27
Математическая модель и энергетический анализ работы смесительной машины	30
Интенсификация процесса перемешивания при сопутствующем измельчении	36
МЕХАНИЧЕСКИЕ СМЕСИТЕЛИ	41
Лопастные смесители (А. Т. Лисовенко)	41
Шнековые смесители (И. В. Зирнис)	49
Дисковые смесители (И. А. Лисовенко)	62
Барабанные смесители (И. А. Лисовенко)	63
Вибрационные смесители (И. А. Лисовенко)	64
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ СМЕСИТЕЛИ (В. В. Батыщев)	68
Ультразвуковые смесители	69
Кавитационные смесители	76
Циркуляционные и комбинированные смесители	82
ЭЛЕКТРОВИХРЕВЫЕ СМЕСИТЕЛИ (А. Г. Котенко)	86
Особенности процессов перемешивания и диспергирования	87
ТЕСТОМЕСИЛЬНЫЕ МАШИНЫ (А. Т. Лисовенко)	93
Особенности процессов, происходящих при замесе хлебного теста	95
Интенсификация замеса хлебного теста	99
Функциональные схемы тестомесильных машин периодического действия	102
Устройство и принцип работы тестомесильных машин периодического действия	112
Функциональные схемы тестомесильных машин непрерывного действия	130

Устройство и принцип работы тестомесильных машин непрерывно- го действия	135
Методика расчета тестомесильных машин	143
Совершенствование конструкций тестомесильных машин	151

СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МАКАРОННОГО

ТЕСТА (И. Н. Литовченко)	156
---	-----

Предварительное смешивание компонентов макаронного теста	158
Механическая проработка макаронного теста	160
Прессование макаронного теста	162
Вспомогательные устройства для приготовления макаронного теста	163
Устройство и принцип работы смесителей для приготовления ма- каронного теста	164

СБИВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ЭМУЛЬСАТОРЫ

(А. Т. Лисовенко)	168
-----------------------------	-----

Особенности процессов, происходящих при сбивании и пенообра- зовании	169
Функциональные схемы сбивальных машин и эмульсаторов	171
Кремосбивальные машины	175
Помадосбивальные машины	180
Эмульсаторы	184

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	189
---	-----

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

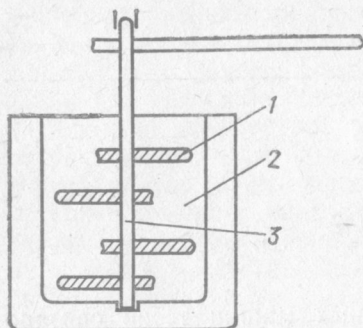
ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СМЕСИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Создание первых смесительных машин тесно связано с освоением хлебопекарного ремесла. Производство хлеба из измельченного зерна было известно более 4500 лет назад. Первыми смесительными машинами были тестомесильные машины с индивидуальным приводом, применявшиеся 2000 лет назад в римских пекарнях. Восстановленное эскизное изображение этой тестомесильной машины приведено на рис. 1.

В начале XIX века француз Ламберт на принципе использования сил гравитации разработал оригинальную тестомесильную машину. Это был разъемный горизонтальный цилиндр с поперечными перегородками, расположенный на двух центральных опорах. Замес осуществлялся при вращении закрытого цилиндра и свободном перемешивании засыпанных в него компонентов до образования теста нужной консистенции. Такие смесители называются барабанными. Характерно, что для привода барабанного смесителя требуется минимальное количество энергии и потери на нагрев смеси также незначительны. Возможно, поэтому подобные смесители нашли широкое применение в строительстве для приготовления различных смесей и растворов (цементного, известкового и др.).

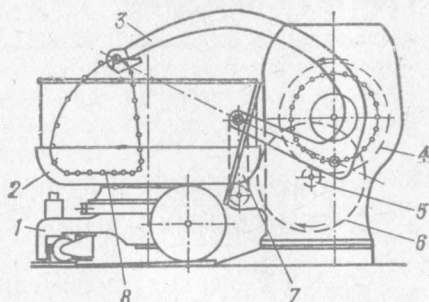
В конце XIX века в Англии были внедрены тестомесильные машины большой производительности с подкатными дежами в связи с созданием конвейерных печей большой мощности, обогреваемых трубками Перкинса. Затем в США, а в дальнейшем и в европейских государствах стали широко применяться тестомесильные машины Веннара.

Машина состоит из цилиндрической поворотной емкости, в которой совершает плоское качание месильный рычаг с двурогой лопастью на конце (рис. 2). В подкатных цилиндрических емкостях вместимостью от 130 до 1200 дм³ месильная лопасть (рабочий орган) совершает качание до 30 циклов в минуту при одновременной частоте вращения месильной емкости до 0,1 с⁻¹.



1. Эскиз римской тестомесильной машины, приводимой в движение животным:

1 — месильная лопасть; 2 — рабочая камера; 3 — вал

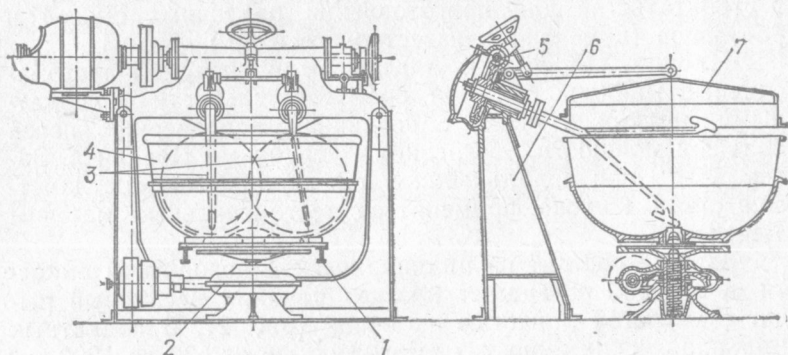


2. Тестомесильная машина ХТШ (Веннара);

1 — трехколесная каретка; 2 — дежа; 3 — месильный рычаг с двурогой лопастью; 4 — приводное колесо с шарниром; 5 — приводной вал; 6 — станина; 7 — поводок; 8 — траектория месильной лопасти

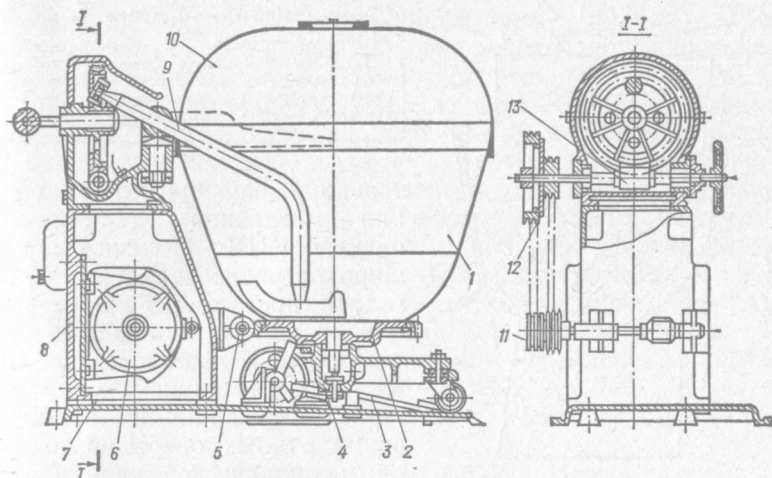
Наибольшее распространение в начале XX столетия получили тестомесильные машины, прототипом которых была тестомесильная машина Веннара. В нашей стране машины аналогичной конструкции производил завод «Смычка» в 20-х годах под маркой ГМП и ХМТ, а позднее ХТШ.

В 1930 г. Московский механический завод начал выпускать тестомесильные машины системы Г. П. Марсакова, предназначенные для кольцевых конвейеров (рис. 3). Машина имела сменные рабочие емкости, устанавливаемые на кольцевом дежевом конвейере. Две наклонные ра-



3. Тестомесильная машина Г. П. Марсакова:

1 — кольцевой конвейер; 2 — механизм вращения и подъема дежи с конвейера; 3 — рабочие лопасти; 4 — дежа; 5 — червячный привод; 6 — станина; 7 — крышка дежи

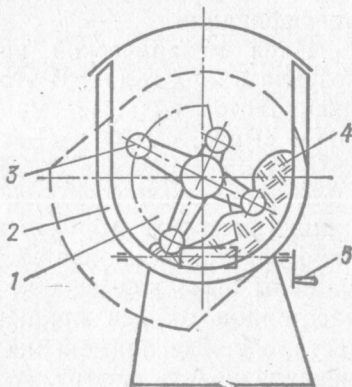


4. Тестомесильная машина «Стандарт»:

1 — дежа; 2 — зубчатый венец привода дежи; 3 — фиксатор дежи; 4 — каретка; 5 — червячный вал; 6 — электродвигатель; 7 — фундаментная плита; 8 — станина; 9 — мешильный рычаг; 10 — крышка дежи; 11 — клиноременная передача; 12 — фрикционная муфта; 13 — червячный редуктор

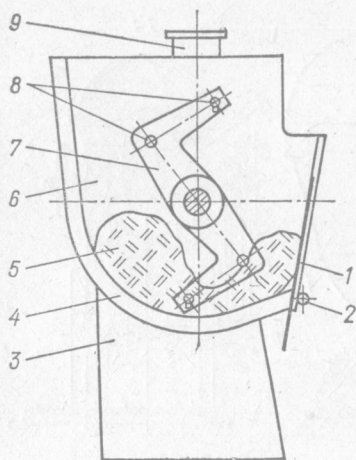
бочие лопасти осуществляли неинтенсивный замес в дежах вместимостью 1000 и 1850 дм³. При замесе дежа с помощью винтового подъемника снималась с кольцевого конвейера и затем приводилась во вращательное движение при одновременном вращении в разные стороны двух рабочих лопастей. Для разгрузки дежа снималась с конвейера и опрокидывалась с помощью специального подъемника.

Подобного типа тестомесильные машины «Стандарт» (рис. 4) с одной месильной лопастью и подкатной дежей сравнительно небольшой вместимости (330, 270, 140 дм³) выпускали во многих европейских государствах. Различные модификации их применяются и сейчас в нашей стране под марками ТМ-1, Т1-ХТА. Эти машины отличаются относи-



5. Тестомесильная машина фирмы «Рид»:

1 — месильная емкость; 2 — водяная рубашка; 3 — рабочие лопасти; 4 — тесто; 5 — привод опрокидывания корыта. (Пунктиром показано положение дежи при разгрузке)



6. Тестомесильная машина фирмы «Бекер Перкинс»:

1 — заслонка; 2 — привод заслонки; 3 — станнина; 4 — водяная рубашка; 5 — тесто; 6 — рабочая камера; 7 — обрезающая пластина; 8 — месильные валы; 9 — загрузочное окно

тельно низкой частотой качания месильной лопасти и низким КПД. Получили они широкое распространение благодаря простоте их конструкции и надежности в работе.

Работа большинства тестомесильных машин была построена по принципу копирования ручных операций пекаря: периодическое надавливание и смешение слоев теста,

затем холостой ход — возвращение месильного рычага в исходное положение и смешение (поворот дежи).

На холостом ходу месильный рычаг поднимается выше обреза дежи, что приводит к распылу муки на начальной стадии замеса. Повысить частоту качания таких смесителей невозможно из-за увеличения ударной нагрузки на рычаг и обильного распыла муки.

Следует отметить, что первые римские машины не копировали ручных операций тестомеса, а использовали более совершенный привод рабочего органа — вращательное движение, позволяющее, кроме того, значительно повышать интенсивность замеса. К этим техническим решениям возвратились более чем через 18 веков, когда начали исследовать процесс замеса хлебного теста с целью его интенсификации.

Идея механической интенсификации брожения теста созрела в 20-х годах. В это время в Англии и США появились тестомесильные машины периодического действия фирм «Рид», «Дей» и «Бекер—Перкинс» (рис. 5). Рабочая камера представляла собой корыто с цилиндрическим днищем, в котором находились месильные лопасти в виде цилиндрических, горизонтальных или наклонных валов либо фигурных лопастей. Конструктивной особенностью машины было размещение месильных лопастей на разном расстоянии от оси вращения, что улучшало проработку теста, а также применение поворотной дежи, позволяющей механизировать разгрузку ее от теста. Водяная рубашка

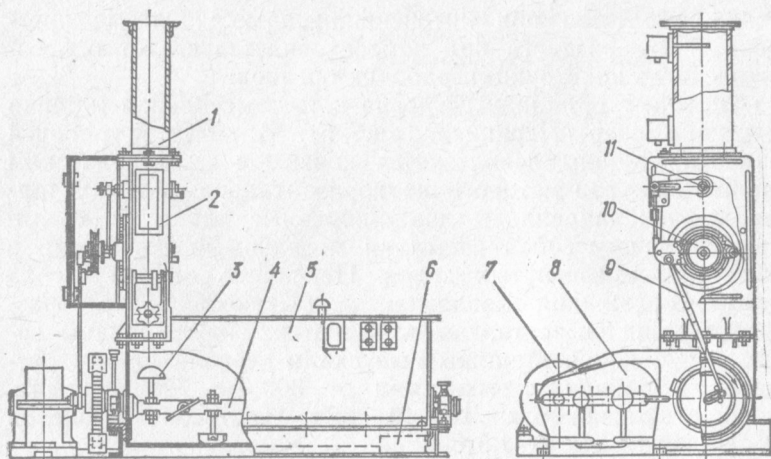
охлаждает тесто при интенсивном замесе. Однако чрезмерный нагрев теста при замесе свидетельствует о несовершенстве конструкции рабочих органов.

По этому принципу устроена и тестомесильная машина фирмы «Бекер—Перкинс» (рис. 6). В качестве рабочей емкости машины используется корыто с цилиндрическим днищем, внутри которого на горизонтальном валу у торцевых стен закреплены две Z-образные пластины, соединенные между собой четырьмя месильными лопастями в виде слегка изогнутых валов. Передняя боковая стенка дежи — подвижная заслонка, открывающаяся при разгрузке дежи от теста, остальные стенки оборудованы водной рубашкой. Машины выпускали нескольких типоразмеров с рабочими емкостями от 300 до 725 кг теста, мощностью привода 16—40 кВт, частотой вращения месильного вала 1—1,5 с⁻¹.

Пионером в изучении интенсивности замеса пшеничного теста является Британский хлебопекарный исследовательский институт в г. Чорлейвуде, который совместно с проф. Элтоном в 30-х годах провел исследования по интенсификации замеса теста, что в дальнейшем послужило основанием для разработки технологии интенсивного замеса с сокращенным циклом брожения. Суть способа заключается в том, что увеличение в 4—5 раз интенсивности замеса ускоряет процесс брожения теста и сокращает его на 1,5—2 ч. Разработка базировалась на детальном изучении механизма замеса и обосновании его рациональных параметров. При таком замесе на 2—4 % повышается водопоглощение и на 5—10 % увеличивается объем, снижается черствение хлеба, мякиш становится более светлым и эластичным. Исследования [10, 11] подтвердили, что интенсивный замес теста связан с изменением его структуры и механизма брожения.

С целью повышения интенсивности перемешивания в начале XX века использовали тестомесильные машины с двумя горизонтальными Z-образными лопастями и месильной емкостью, поворачиваемой для разгрузки вокруг оси месильного вала. Такие смесители стали широко применяться в кондитерской, строительной и других промышленности.

Со временем были созданы тестомесильные машины непрерывного действия, рабочий орган которых выполнял одновременно перемешивание и транспортирование смеси вдоль рабочей камеры смесителя. Для транспортирования сухих смесей и жидкостей издавна применяли элементы шнеков. Выполненные в виде наклонных лопаток, распо-



7. Тестомесильная машина X-12:

1 — мучной патрубок; 2 — роторный дозатор муки; 3 — месильная лопасть; 4 — месильный вал; 5 — корпус машины; 6 — станина; 7 — электродвигатель; 8 — редуктор; 9 — приводная штанга; 10 — храповой механизм привода роторного дозатора муки; 11 — привод ворошителя

ложенных по винтовой образующей, шнеки и их элементы являются универсальными рабочими органами, осуществляющими процесс перемешивания, транспортирования и прессования. Первые тестомесильные машины непрерывного действия появились в 30-х годах, серийное изготовление их началось в 50-е годы.

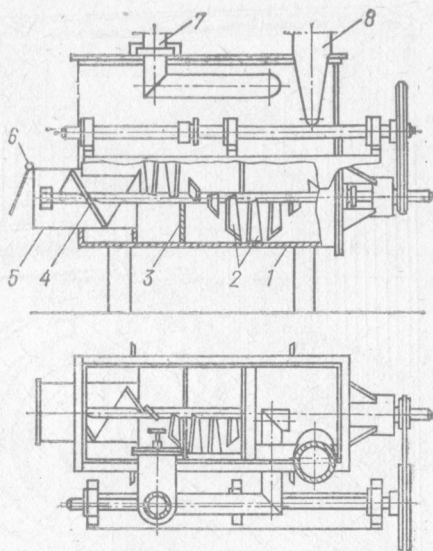
Тестомесильная машина X-12 (рис. 7) представляет собой полуцилиндрическое корыто с горизонтальным валом, на котором закреплены месильные лопасти, имеющие наклон по винтовой образующей. Такие смесители называются лопастными. При частоте вращения месильного вала $0,8 \text{ с}^{-1}$ замес удовлетворительный. Повышение частоты ухудшает замес, и вся масса теста вращается вместе с валом и лопастями. Повысить интенсивность замеса можно, уменьшив площадь рабочей лопасти, т. е. её сопротивление перемещению.

Максимальная производительность стандартной тестомесильной машины X-12 1000 кг/ч при длительности замеса около 3 мин, однако из-за невысокого качества замеса ее сняли с серийного производства.

С целью интенсификации замеса иногда удлиняют рабочую камеру машины X-12 или же после обычного замеса тесто прорабатывают на шнеконасосе, что способствует интенсификации последующего процесса брожения. Наиболее удачным следует признать вариант модернизации,

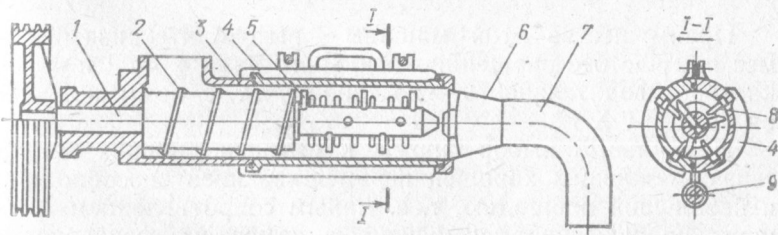
8. Тестомесильная машина
А. М. Хренова:

1 — корпус камеры смешения; 2 — рабочие лопасти; 3 — перегородка; 4 — шнек; 5 — корпус камеры пластикации; 6 — выпускной клапан; 7 и 8 — патрубки для подачи жидких компонентов



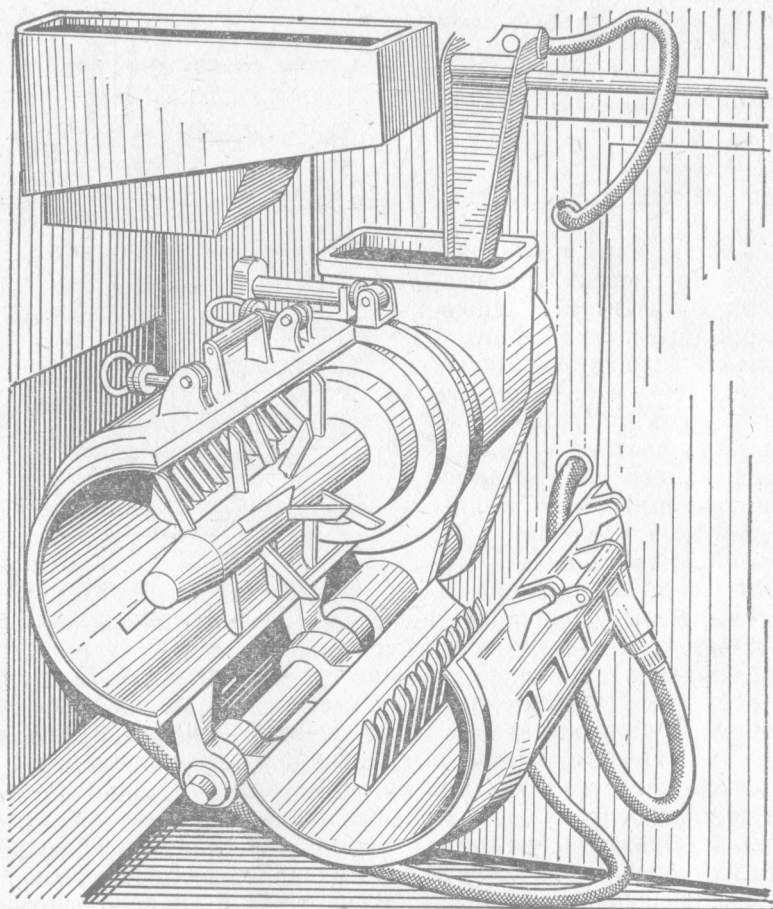
предложенный и внедренный на одесских хлебозаводах институтом Пищепромавтоматика. Уменьшение площади рабочих лопастей и увеличение их числа позволили повысить частоту вращения месильного вала и мощность приводного двигателя до 7 кВт. При этом производительность тестомесильной машины почти при тех же размерах рабочей камеры увеличилась в два раза, улучшилось качество замеса.

Оригинальную конструкцию предложил А. М. Хренов (рис. 8). Двухкамерная тестомесильная машина имеет общую длину камер 960 мм, т. е. на 240 мм короче, чем у Х-12. Первая камера выполнена в виде полуцилиндрической емкости, в которой на месильном валу закреплены узкие трапецеидальные лопасти, расположенные по винтовой образующей; вторая — цилиндрический корпус меньшего диаметра, на валу которого закреплен шнек, выполняющий функции пластификатора теста и транспортирующего устройства. Наклонные трапецеидальные лопасти обладают также транспортирующим эффектом.



9. Тестомесильная машина ФТК-1000 (Венгрия):

1 — месильный вал; 2 — шнек; 3 — цилиндрический разъемный корпус; 4 — водяная рубашка; 5 — рабочие лопасти; 6 — патрубок; 7 — выпускная труба; 8 — тормозные штифты; 9 — шарнирная опора разъема



10. Тестомесильная машина ФТК-1000 с раскрытой камерой

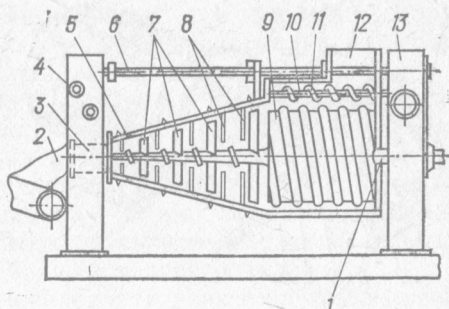
Преимущества этой машины — высокоинтенсивный замес при частоте вращения месильного вала $4,3 \text{ с}^{-1}$ и высокая производительность — до 4300 кг/ч , т. е. почти в 4 раза выше, чем у X-12.

Правильный выбор формы и размера рабочих лопастей, обладающих хорошей перемешивающей способностью и небольшой площадью, т. е. малым сопротивлением, значительно повышают интенсивность замеса и эффективность смешивания при сравнительно высокой частоте вращения месильного вала.

Эти конструктивные решения были воплощены при

11. Двухкамерная тестомесильная машина типа «Континуа» (ФРГ):

1 — приводной вал; 2 — выходящее тесто; 3 — выпускной пластицирующий патрубок; 4 и 13 — опоры станины; 5 — коническая камера замеса; 6 — вал с шарнирами для раскрытия корпуса; 7 — рабочие лопасти; 8 — тормозные лопатки; 9 — цилиндрический барабан с винтовой рабочей поверхностью; 10 — камера смешения; 11 — очистительный винт; 12 — приемный патрубок; 13 — станина

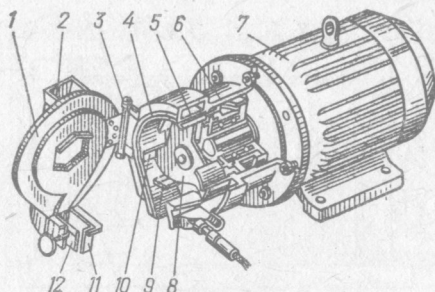


создании венгерской тестомесильной машины ФТК-1000 (рис. 9).

Машина малогабаритная и высокопроизводительная. В цилиндрическом разъемном корпусе расположена камера смешения со смесительным шнеком. Замес осуществляется во второй камере, где на валу под углом 120° закреплены месильные лопасти в виде штифтов, а на внутренней стенке разъемного корпуса — тормозные лопатки (рис. 10).

При частоте вращения месильного вала $3,1 \text{ с}^{-1}$ длительность замеса не превышает 1 мин, производительность 1000 кг/ч. В выходном патрубке машины установлен датчик, реагирующий на вязкость теста и соединенный с регулятором подачи муки в тестомесильную машину. Такая система обеспечивает постоянную стабильную влажность теста. Ввиду кратковременности замеса образование необходимой структуры теста происходит в течение 2—5 мин после его выхода из машины. При этом тесто становится упругопластичным, сухим наощупь.

Западногерманская фирма «Вернер и Пфляйдерер» в конце 60-х годов стала выпускать высокопроизводительные комбинированные двухкамерные тестомесильные машины «Континуа» производительностью 2000 и 3500 кг/ч (рис. 11). Они предназначены для замеса пшеничного и ржано-пшеничного теста на жидких заквасках. Такая машина имеет две рабочие камеры: первая — смесительная цилиндрической формы, в ней размещен барабан с винтовой рабочей поверхностью, с которой контактирует малый очистительный винт, предотвращающий залипание муки на барабане; вторая — камера замеса конической формы, в которой размещены месильный вал с лопастями и отдельным приводом. На внутренней поверхности конической камеры закреплены тормозные лопатки. Камера заканчивается цилиндрическим патрубком, через который



12. Тестомесильная машина
ХТП Н. Ф. Прокопенко:

1 — крышка; 2 — загрузочный патрубок; 3 — шарнир; 4 — корпус рабочей камеры; 5 — водяная рубашка; 6 — фланец; 7 — электродвигатель; 8 — трехлопастной ротор; 9 — рабочие лопасти; 10 — отражательная лопасть; 11 — выпускной патрубок; 12 — заслонка

замешанное тесто вы-
прессовывается из ма-
шины. Для удобства очи-

стки и ремонта корпус машины выполнен разъемным с индивидуальным электроприводом.

Преимущества тестомесильной машины «Континуа» — надежность в работе, высокоинтенсивная двухстадийная проработка теста, обеспечивающая высокое качество готового хлеба. В целом конструкция машины является удобной в обслуживании и санитарной обработке, но достаточно громоздкой.

Самая высокоинтенсивная тестомесильная машина ХТП (рис. 12) была предложена Н. Ф. Прокопенко в 1965 г. с длительностью замеса до 5 с. За это время достигается только гомогенизация компонентов, а жидкость не успевает впитаться вглубь частиц муки и образованная таким образом смесь получается легкотекучей, имеет консистенцию сметаны. После выхода из тестомесильной машины и отлежки тесто загустевает и приобретает нормальную консистенцию.

Рабочая камера выполнена в виде небольшого цилиндра высотой 50 мм. Внутри нее расположен трехлопастный ротор, который закреплен непосредственно на валу асинхронного электродвигателя, частота вращения его 24 с^{-1} . Загружаемые компоненты вводятся в центр цилиндра через загрузочный патрубок и под действием развиваемого центробежного эффекта прижимаются к боковой стенке, многократно прокатываясь лопастями.

Выпуск гомогенизированной массы производится через патрубок в боковой стенке цилиндра, оборудованный заслонкой, благодаря чему в рабочей камере удерживается слой гомогенизируемой массы. При такой интенсивной проработке обрабатываемая масса нагревается до $15\text{—}20^\circ\text{C}$. Часть тепла отбирается водяной рубашкой, размещенной на боковой поверхности цилиндрической рабочей камеры. Производительность машины до 1000 кг/ч . Поскольку в рабочей камере находится сравнительно небольшое количество теста ($0,3\text{—}0,5\text{ кг}$), то для поддержания

постоянного состава замешиваемых компонентов необходимо ровное и точное непрерывное дозирование их, которое современная техника не может обеспечить.

Несовершенным является и механизм замеса, требующий чрезмерное количество энергии на замес и тут же отбирающий ее через водяную рубашку. Эта машина не нашла широкого применения, однако ее преимущество — высокая интенсивность замеса — может быть использовано при конструировании высокоинтенсивных смесителей для других компонентов, не боящихся перегрева.

В 60-х годах начали внедряться новые тестомесильные машины интенсивного действия с применением средств автоматики (реле времени, термометры и др.), которые в основном выполняли функции измерения и отключения. Ни на одной машине не было предусмотрено регулирование основных параметров замеса (интенсивность, длительность и др.) с автоматическим поддержанием его рационального режима.

Необходимо отметить, что экспериментальным путем определить рациональные конструктивные размеры рабочих лопастей и параметры смесителя очень сложно. Задача значительно упрощается при построении математической модели и ее оптимизации с учетом механизма структурообразования смеси и интенсивности замеса, обеспечивающих высокое качество конечного продукта.

КЛАССИФИКАЦИЯ СМЕСИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Цель перемешивания — получение однородной массы, придание ей определенной структуры и предотвращение разделения смеси на составные компоненты. Энергия, расходуемая на перемешивание, передается обрабатываемой массе с помощью рабочего органа-смесителя. По принципу работы смесители делят на периодического и непрерывного действия. Смесители, в которых перемешивание осуществляется отдельными порциями в постоянных емкостях по заданной программе, называются порционными, или смесителями периодического действия.

Если процесс перемешивания осуществляется в прочной емкости при непрерывном поступлении в нее исходных компонентов и одновременном выпуске готовой смеси, смесители называются непрерывно действующими.

В зависимости от физического состояния перемешиваемой массы различают смесители для сыпучих, вязких и жидких компонентов, а также их композиций.