

Авторефер.
Л 48

Министерство высшего и среднего специального образования УССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

Р. Х. ЛОРТКИПАНИДЗЕ

**МЕХАНИЗАЦИЯ УКЛАДКИ В ЯЩИКИ
МАНДАРИНОВ И ТЕОРИЯ ИХ
ОРИЕНТИРОВАНИЯ**

(Специальность 05.175 — машины и аппараты
пищевой промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Одесса — 1972

Министерство высшего и среднего специального образования УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

Р. Х. ЛОРТКИПАНИДЗЕ

МЕХАНИЗАЦИЯ УКЛАДКИ В ЯЩИКИ
МАНДАРИНОВ И ТЕОРИЯ ИХ
ОРИЕНТИРОВАНИЯ

(Специальность 05.175 — машины и аппараты
пищевой промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Дереулет 1972

012088

Одесский технологический институт
пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

Одесса — 1972

ОНАХТ 29.06.12

Механизация укладки



v012088

Работа выполнена в Батумском филиале Грузинского научно-исследовательского института пищевой промышленности

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор М. Я. Дикис.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук В. И. Жидко,
доктор технических наук, профессор А. Ф. Фан-Юнг

Ведущее предприятие — Батумский цитрусовый Комбинат Государственного Комитета Совета Министров Грузинской ССР. «Грузконсервплодоовощ».

Автореферат разослан « 12 » апреля 1972 г.

Защита диссертации состоится « 12 » мая 1972 г.
на заседании ученого совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Письменный отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенный печатью учреждения, просим направить в совет института по адресу: г. Одесса, ГСП-510, ул Свердлова, 112.

Ученый секретарь совета Л. А. Запорожец

ВВЕДЕНИЕ

Из всех плодов и овощей цитрусовые по вкусовым и питательным качествам стоят на одном из первых мест. Прекрасные вкусовые достоинства, богатое содержание витаминов в них сделало эту культуру особенно рентабельной и широкораспространенной почти во всем мире. В Советском Союзе только климатические особенности черноморского побережья создают необходимые условия для развития цитрусовой культуры.

Из года в год растет урожайность цитрусовых плодов в Грузинской ССР. Достаточно сказать, что, если в 1968 году в Аджарской АССР (на которую приходится основная доля цитрусового производства) было заготовлено 30,0 тысяч тонн цитрусовых плодов, то уже в сезоне 1970—1971 годов эта цифра возросла до 81,3 тысячи тонн. По пятилетнему плану развития народного хозяйства на 1971—1975 годы намечено довести объем заготовок цитрусовых плодов по республике до 100 тысяч тонн.

Товарная обработка цитрусовых плодов осуществляется на механизированных паковочных заводах. За последние годы Грузинским НИИПП и «Грузплодоовощ» проделаны большие работы по внедрению механизации ряда процессов на паковочных заводах (выгрузка плодов из рабочих ящиков, калибровка плодов, автоматическое взвешивание готовой продукции и др.), однако наиболее трудоемкий процесс — укладка плодов в ящики, остается немеханизированным.

Реализация немеченного плана объема заготовок цитрусовых плодов потребует осуществления ряда мероприятий и резкого увеличения пропускной способности паковочных заводов. Одним из препятствий, стоящих на пути к достижению этой цели, является ручная укладка мандаринов в ящики.

В соответствии с изложенным в настоящей работе решается задача механизации укладки мандаринов в ящики с целью увеличения пропускной способности существующих паковочных заводов.

Материал диссертации изложен на 200 страницах в 7 разделах машинописного текста, содержит 30 рисунков и 28 таблиц. Использовано 70 литературных источников.

В первом разделе диссертации уясняются и определяются задачи исследования.

Механизация процесса укладки плодов в тару может быть решена созданием работоспособной машины. Способ машинной упаковки плодов и принципиальная схема машины для укладки в ящики мандаринов выбираются после изучения и анализа литературных материалов по механизации укладки плодов; далее, в соответствии с выбранной схемой укладчика, определяются задачи исследования.

Описание и анализ существующих конструкций машин для укладки в тару различных плодов приведены в обзорной части раздела.

Наиболее обширные сведения по механизации укладки плодов содержатся в иностранной патентной литературе. Здесь представлены три типа укладочных устройств. К первому типу относятся машины, производящие укладку плодов в ящики «насыпью». Они характеризуются использованием тары крупных размеров (больших по емкости, чем тара применяемая в нашей цитрусовой промышленности). Второй тип устройств — это машины, укладывающие в тару плоды прямыми рядами. При этом используется специальная тара с ячейками и обыкновенная. Эти машины работают по принципу полойной укладки плодов в тару; плоды, преимущественно шаровой формы (апельсины), группируются в комплект, далее последний захватывается вакуумными присосками и укладывается в ящик. К третьему типу устройств относятся полумеханизированные установки, характеризующиеся наличием ручной укладки и механизацией вспомогательных операций. По этому типу механизации укладки построены у нас все плодперерабатывающие заводы, в том числе и цитрусовые паковочные заводы.

Отечественная литература содержит очень мало сведений по механизации укладки в тару плодов. На пути создания машин, работающих по принципу наполнения «насыпью», достигнуты некоторые успехи. Институтом садоводства им. И. В. Мичурина совместно с ГСКБ по механизации работ в садах и виноградниках (г. Кишенев) разработана установка для укладки плодов навалом с уплотнением вибрацией. Вопрос же рядовой машинной укладки плодов в тару пока не решен.

Выбор способа укладки — «насыпью» или пряморядного, определяется конкретными условиями задачи (форма упаковываемых плодов, емкость тары). Упаковка плодов «насыпью» привлекает к себе внимание простотой, однако при укладке плодов, по форме отличающихся от шаровой (мандарины), он не позволяет, обычно, получить более плотные упаковки, чем при пряморядном способе, поэтому последнему отдается предпочтение.

Упомянутые выше существующие за границей машины с прямой укладкой предназначены для шарообразных плодов (апельсины) и не имеют ориентирующего устройства, поэтому использовать их для мандаринов, требующих ориентации, невозможно.

По аналогии с существующими укладчиками плодов, а также наиболее производительными машинами для укладки в тару различных штучных предметов, нами принята следующая схема машинной укладки мандаринов в ящики:

1. Поштучная выдача плодов из бункера.
2. Ориентация плодов плоденокками в одном направлении.
3. Группировка или формовка плодов в комплект.
4. Захват комплекта плодов при помощи вакуумных присосов, укладка их в ящик.

В результате анализа каждого из указанных процессов установлена необходимость в проведении следующих работ:

1. Определить геометрическую характеристику плодов — мандаринов.
2. Исследовать плотные упаковки плодов и выбрать наиболее рациональную из них для машинной укладки мандаринов в стандартный ящик.
3. Определить предельные размеры комплекта мандаринов.
4. Исследовать вибрационную комплектацию мандаринов.
5. Определить геометрические признаки мандаринов, характеризующие пригодность их к ориентированию.
6. Исследовать вибрационное ориентирование мандаринов.
7. Исследовать ориентирование мандаринов в конусных ячейках.
8. Провести экспериментальные исследования питателя для поштучной выдачи мандаринов и установить параметры его работы.
9. Провести экспериментальные работы по установлению параметров вакуумной захватной головки, обеспечивающие надежный захват мандаринов без механических повреждений их поверхности.
10. На базе проведенных исследований создать машину для укладки в ящики мандаринов и рекомендовать ее промышленности.

* * *

Во втором разделе проведены работы по определению геометрической характеристики мандаринов.

В обзорной части рассмотрены различные методы определения формы тел. Указано, что разными авторами форма тел оценивается различными параметрами, приемлемыми для условий решаемых ими задач.

Согласно рассмотренных методов форму мандаринов определяем геометрическими параметрами двух сечений: по наименьшему и наибольшему размерам плода.

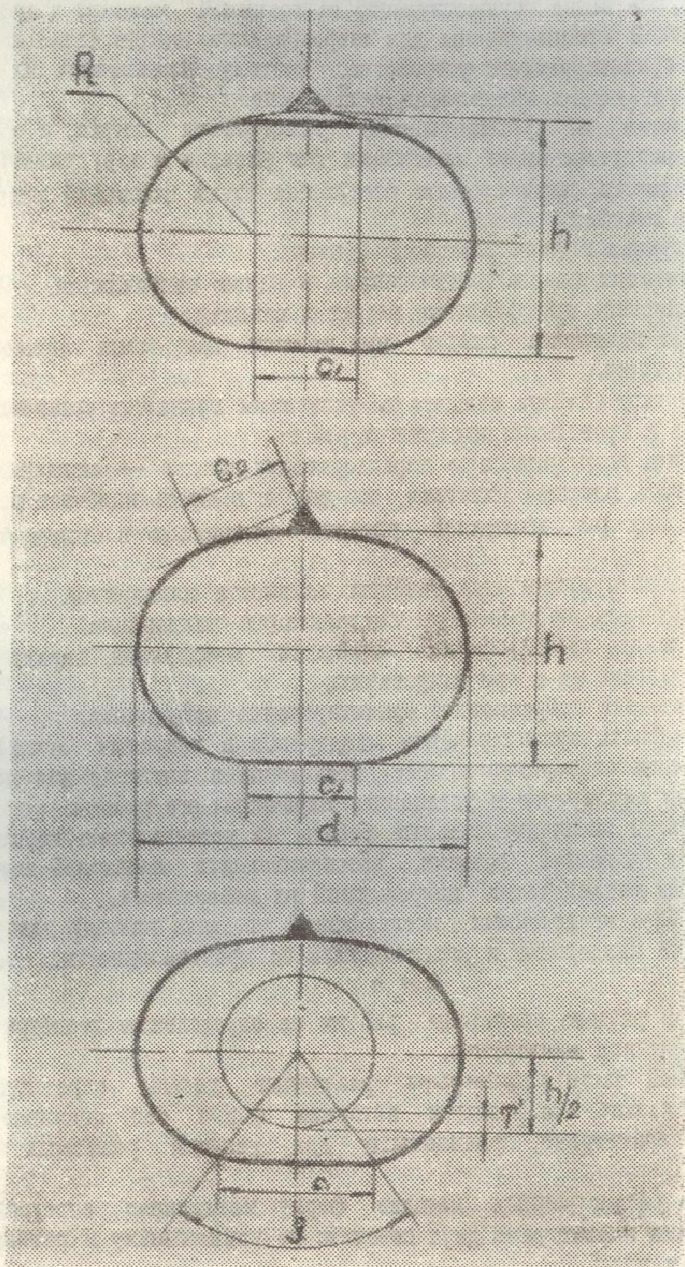


Рис. 1.

Для получения параметров, характеризующих сечение мандаринов по наименьшему размеру плода, используем понятие коэффициента формы K_F под которым понимается отношение площади F фигуры к квадрату ее периметра L_p :

$$K_F = \frac{F}{L_p^2} \quad (1)$$

Полагая, что исследуемое сечение мандаринов описывается полуокружностями радиуса R и двумя касательными к ним длиной C_1 (см. рис. 1), получаем:

$$K'_F = \frac{d/R - 0.43}{2(1.44 + d/R)^2} \quad (2)$$

По фотографиям измеряются соответствующие геометрические размеры 270 мандаринов и для одних и тех же плодов по формуле (1) находятся действительные значения коэффициента формы, а по формуле (2) — гипотетические. Определяются относительные разности Δ' указанных коэффициентов:

$$\Delta' = \frac{K_F - K'_F}{K_F} \quad (3)$$

Используя метод статистических проверок гипотез (метод зависимых выборок), определяется что между K_F и K'_F нет существенной разницы. Следовательно, сечение мандаринов по наименьшему размеру плода может описываться принятой фигурой.

В результате теоретической обработки экспериментальных данных получены количественные характеристики сечений мандаринов по наименьшему размеру плода —

$$\frac{C_1}{h} = 1.070 - 0.865 \left(\frac{h}{d}\right)^2; \quad (4)$$

$$R = 0,5k_1\bar{d}; \quad k_1 = \frac{h}{d}; \quad \bar{k}_1 = 0,78; \quad \sigma(k_1) = 0,051$$

(5)

и по наибольшему размеру плода —

$$d = k_2 \bar{d}; \bar{k}_2 = 1; \sigma(k_2) = 0,028 \quad (6)$$

где h и d — наименьший и наибольший размеры плода;
 σ — символ среднего квадратичного отклонения.

Приведенная геометрическая характеристика мандаринов достаточна для решаемых в работе задач.

* * *

В третьем разделе исследованы различные плотные упаковки с целью определения геометрической характеристики комплекта мандаринов.

При ручной укладке плодов достигаются основные показатели качества упаковки: степень полезного использования емкости тары и относительная неподвижность отдельных плодов, поэтому разрабатываемый метод машинной укладки должен повторять некоторые ее особенности, обеспечивающие качество упаковки. Ручная укладка плодов производится по, так называемым, схемам плотных упаковок (пряморядная, ординарно-шахматная, двойная шахматная диагональная). Целесообразность же использования той или иной упаковки определяется условиями задачи (форма плодов, емкость и размеры тары, способ укладки). В условиях ручной укладки, допускающей селективный подбор, колебания размеров плодов решающим образом на процесс не влияют, но могут явиться серьезным препятствием на пути его механизации. Поэтому необходимо установить, возможен ли беспрепятственный ввод комплекта мандаринов в тару, т. е. имеет ли решение задача машинной упаковки мандаринов.

В связи с изложенным возникают два вопроса: а) каким должен быть порядок расположения плодов в комплекте; б) в каких пределах меняются габаритные размеры комплекта мандаринов. Ответ на первый вопрос может быть получен после анализа различных плотных упаковок (с учетом формы плодов и емкости тары) и выбора наиболее рациональной. Для ответа на второй вопрос необходим расчет длины рядов, составленных из определенного количества мандаринов переменных диаметров.

С учетом известной теории плотных упаковок, используя полученные формулы, описывающие форму плодов мандаринов, путем математического расчета определены плотности различных упаковок мандаринов в таре разной емкости. Например, плотности упаковок мандаринов в цитрусовой таре при прямоугольной, простой шахматной, двойной шахматной и диагональной укладках соответственно равны 0,572, 0,618, 0,620, 0,610. Наиболее целесообразными для машинной укладки мандаринов приняты пряморядная (прямоугольная или простая шахматная упаковки).

Изменение длины ряда, составленного из n^I плодов данного калибра, обуславливается случайным попаданием в рассматриваемый ряд m^II плодов другого калибра и колебаниями значения диаметра плода в пределах классового промежутка.

Примем, по примеру ряда авторов, в качестве характеристики точности калибрования вероятность или относительную частоту появления плодов определенного калибра в случайных выборках. Тогда искомое число m^II может быть определено при помощи схемы Бернулли или биномиального испытания, согласно которому вероятность получения в рассматриваемом ряду $n^I - m^II$ и более плодов — $P(X \geq n^I - m^II)$ определяется по формуле:

$$P(X \geq n^I - m^II) = \sum_{x=n^I-m^II}^{n^I} C_{n^I-x}^{n^I-m^II} \eta^{n^I-x} (1-\eta)^x \quad (7)$$

где $C_{n^I-x}^{n^I-m^II}$ — биномиальный коэффициент; η — точность калибрования.

Принимая вероятность равной 0,98 — 0,99, задаваясь значениями n^I от 5 до 15 и η в пределах 0,7—0,95, по формуле (7) (или специальным таблицам) находим величины m^II . По полученным данным построен график зависимости m^II от n^I и η (см. рис. 2).

Знание количества плодов n^I и m^II и их средних диаметров позволяет легко рассчитать среднюю длину ряда. Колебания значений длин вокруг среднего зависят от квадратичных отклонений диаметров плодов переменная величина которого согласно формуле (6) может быть представлена в виде $k_2 d_1$, где d_1 меняется в пределах классового промежутка. Тогда, используя свойство дисперсии произведения двух случайных величин, можно написать:

$$D(d_i k_2) = D(d_i)D(k_2) + D(d_i)M_2^2(k_2) + D(k_2)M^2(d_i) \quad (8)$$

Принимая, что все значения диаметра d_i в пределах классового промежутка Δ равновероятны и, используя известную формулу дисперсии случайной величины, распределенной по закону равномерной плотности, находим

$$D(d_i) = \left(\frac{\Delta}{2\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{\Delta^2}{12} \quad (9)$$

Подставляя в формулу (8) значение входящих в нее букв согласно формулам (6), (9) и, переходя от дисперсии к квадратичным отклонениям, получаем среднее квадратичное отклонение $\sigma(d)$ переменной величины диаметра плода — члена ряда:

$$\sigma(d) = \sqrt{\frac{\Delta^2}{12} + 0,0008\bar{d}_i^2} \quad (10)$$

Квадратичные отклонения σ для рядов находятся по квадратичным отклонениям диаметров, определяемых по формуле (10), согласно правилу сложения дисперсий. Предельные значения длин L рядов мандаринов для доверительной вероятности 95% будут равны

$$L = \bar{L} + 2\sigma$$

По полученным формулам и графику проведены расчеты габаритных размеров комплекта для мандаринов третьей ($\bar{d} = 57$ мм) и четвертой ($\bar{d} = 51$ мм) групп при различной величине точности калибрования. Путем сравнения их с габаритными размерами стандартного цитрусого ящика установлено:

1. Надежный, беспрепятственный ввод комплекта мандаринов в тару возможен; при этом точность калибрования должна быть не менее $\eta = 0,9$ для плодов третьей группы и $\eta = 0,95$ — для четвертой.

Когда габаритные размеры комплекта принимают наименьшие возможные для них значения, разности между соответствующими размерами тары и комплекта становятся равными: а) для плодов третьей группы 24 мм и 38 мм по ширине и длине соответственно; б) для плодов четвертой группы — 33 мм и 35 мм.

Для сохранения структуры упаковки габаритные размеры комплекта и тары должны быть равными. Это условие может быть соблюдено,

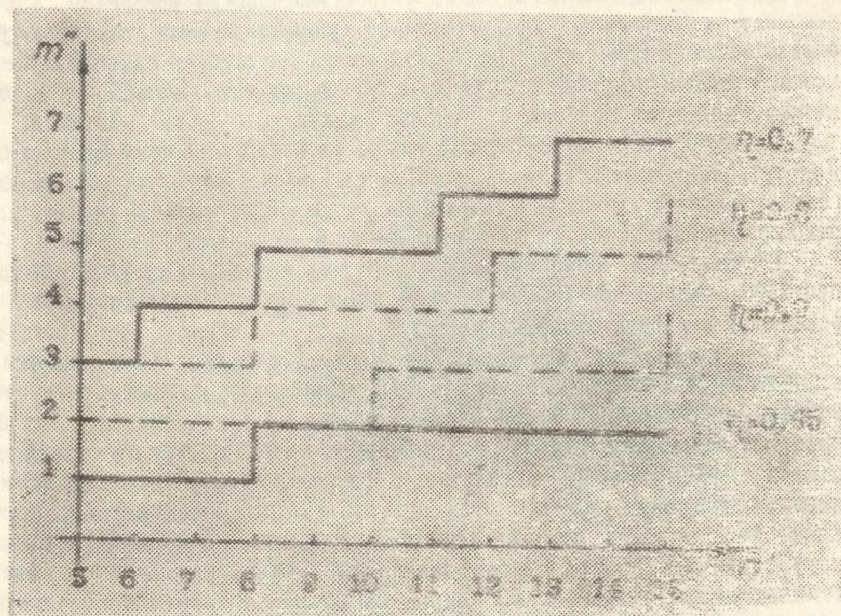


Рис. 2.

если между плодами комплекта оставлять «компенсационные зазоры», величины сумм которых будут равны указанным выше разностям. Тогда при «сжатии» такого комплекта (при выборке «компенсационных зазоров») достигается равенство габаритных размеров комплекта с размерами тары. Техническое воплощение указанного принципа осуществлено в устройстве для укладки штучных предметов [6].

Таким образом, на основании результатов проведенных работ, получен положительный ответ на вопрос о существовании решения групповой укладки мандаринов переменных диаметров в тару и определены условия, при которых такая укладка возможна.

* * *

В четвертом разделе представлены проведенные теоретические и экспериментальные исследования вибрационной комплектации мандаринов.

Вибрационное комплектующее устройство должно обеспечить определенное расположение предварительно ориентированных предметов за определенное время, т. е. оно должно иметь заданную производительность. Выбор конструкции устройства и подбор его оптимальных параметров зависят от конкретных условий задачи.

В исследуемом комплектаторе плоды располагаются прямыми рядами. Для устройств подобного типа необходим расчет режима вибрации, обеспечивающий надежное сохранение исходной ориентации группированных предметов в процессе их перемещения и остановок.

Вибрационные комплектующие или накопительные устройства для предметов правильной геометрической формы широко распространены в различных отраслях промышленности.

Тела правильной геометрической формы (например, многогранники), отличающиеся соотношением габаритных размеров и располагаемые на вибрирующей площадке своей длинной гранью, характеризуются устойчивостью положений. Поэтому под действием вибрации они не перекатываются с грани на грань, а скользят по поверхности. В теории вибрационного движения подобные тела принято считать плоскими, а их движение рассматривать как движение материальных точек, отличающихся коэффициентами трения. Параметры вибрационных накопительных или комплектующих устройств для таких тел легко рассчитываются. Аналогичный же расчет для плодов или округлых тел сопряжен со значительными трудностями, связанными с необходимостью учета формы комплектующих предметов.

Под действием вибрации округлые тела могут перекатываться или скользить по вибрирующей поверхности. Согласно теории вибрационного движения характер получающегося перемещения округлых тел, расположенных на ровных вибрирующих площадках, зависит от того, какая из двух величин C/h (где C — размер грани, которая может быть выделена на поверхности тела и которой оно опирается на вибрирующую поверхность, h — высота тела) и f (коэффициент трения покоя) больше. Если

$$\frac{C}{h} > f, \quad (11)$$

то тело скользит не перекатываясь и, следовательно, исходная его ориентация сохранится. Форма мандаринов характеризуется наличием прямолинейной поверхности в виде круга диаметром C_1 (см. рис. 1). Величина отношения C_1/h для мандаринов, согласно нашим ис-

следованиям, меняется в пределах 0,25—0,87; коэффициент трения скольжения (по дереву, стали), согласно литературным данным, равен $f = 0,6—0,7$. При этих параметрах условие (11) не соблюдается и поэтому указанная вибрирующая площадка не пригодна для комплектации мандаринов.

В связи со всем вышесказанным возникают три вопроса:

а) возможно ли при вибрационной комплектации сохранение исходной ориентации плодов в момент их соприкосновения друг с другом и остановок; б) при каких условиях возможно вибрационное перемещение плодов без их перекатывания; в) какую производительность может обеспечить вибрационный метод комплектации.

Исследуемое комплектующее устройство состоит из вибротранспортера, на рабочей площадке которого крепится комплектующий лоток. Опорная поверхность лотка наклонена под острым углом α_d бортовая стенка к ней перпендикулярна, торец лотка огражден стенкой, продольная ось лотка сдвинута на острый угол γ (см. рис. 3). Виброплощадка совершает гармонические колебания с круговой частотой ω , амплитудой A в направлении, составляющем угол β с вертикалью. Работа устройства осуществляется следующим образом: на лоток подаются ориентированные плоды. Первый плод, переместившись под действием вибрации и, упершись о торцевую стенку, останавливается; второй подошедший плод упирается о первый и тоже останавливается и т. д., пока все плоды не выстроятся в ряд.

Ответ на первый вопрос получен в результате решения задачи сохранения ориентированного положения плодов, уложенных в ряд в вибрирующем лотке комплектатора. Установлено что под действием вибрации плоды не будут проворачиваться в плоскости XOZ (см. рис. 3), если параметры вибрации соответствуют безотрывному движению. Для определения безотрывного вибрационного движения ориентированных мандаринов в лотке комплектатора составлены дифференциальные уравнения движений плода в момент его отрыва от опорной поверхности лотка и получена формула, характеризующая режим вибрации:

$$\frac{A\omega^2}{g} \sin\beta < \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\beta + \sin\beta \operatorname{tg}\alpha_d} \quad (12)$$

Для ответа на второй вопрос составлены дифференциальные уравнения движения мандаринов скольжением и перекатыванием по опорной

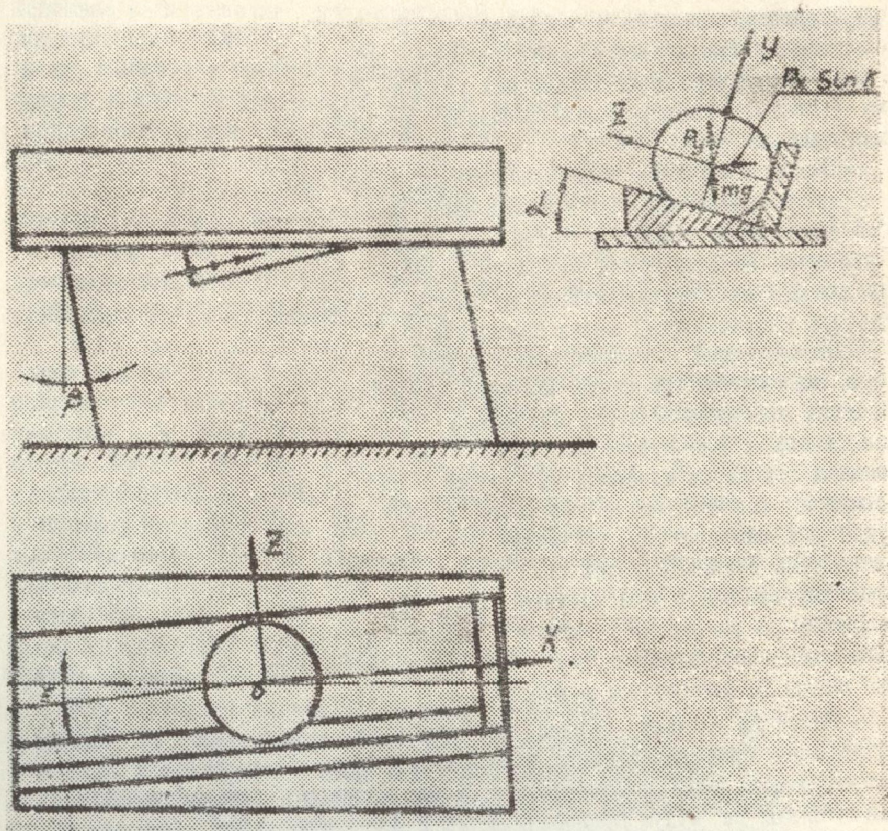


Рис 3.

поверхности вибрирующего лотка комплектатора. Путем их сравнения определено, что перемещение плодов скольжением, т. е. сохранением ориентированного положения, может иметь место при соблюдении следующих условий:

$$\frac{c}{h} > f \left(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{d} \right) \cos \gamma \quad (13)$$

$$45^\circ \leq \beta \leq 75^\circ \quad (14)$$

Для определения производительности комплектатора найдена средняя скорость безотрывного вибрационного движения плода по лотку, как произведение среднего его перемещения за время одного цикла и количества рабочих циклов в минуту — n . Среднее перемещение плода по лотку за время одного цикла определено путем составления и решения дифференциального уравнения вибрационного движения плода для случая одностороннего скольжения. Формула скорости имеет вид:

$$V = 0,043 A n [\cos \gamma - 0,3 (\sin \beta + \cos \beta)] \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$$

(15)

Путем расчета можно убедиться, что при любых возможных значениях геометрических параметров мандаринов C/h и C/d , и при подборе f и γ неравенство (13) будет удовлетворяться. Таким образом, в исследуемом вибрационном комплектаторе возможно осуществлять процесс комплектации мандаринов при условии, если режим вибрации, определяемый по формуле (12), соответствует безотрывному движению, угол β удовлетворяет неравенству (14). Производительность комплектатора может быть найдена путем вычисления скорости по формуле (15).

Для проверки правильности результатов, полученных теоретическим путем, были выполнены экспериментальные исследования.

Опыты проводились на экспериментальной установке, представляющей собой двухъярусный вибротранспортер с комплектующим лотком, укрепляемом на верхнем ярусе. Показателями, характеризующими процесс, являлись средняя скорость перемещения плодов по лотку и качество комплектации, которое проверялось визуально. Переменными параметрами были приняты γ , β , A , n . В каждой серии опытов при различных величинах указанных параметров измерялась средняя скорость перемещения плода по лотку и для тех же величин параметров рассчитывалась скорость по формуле (15). Путем статистических расчетов установлено, что между теоретическими и экспериментальными результатами нет значимых различий.

Установлено, что вибрационный комплектатор может обеспечить надежную формовку мандаринов производительностью один комплект плодов за 18 секунд.

* * *

В пятом разделе проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса ориентирования мандаринов.

Ориентирование плодов является актуальным вопросом плодоперерабатывающей промышленности. Оно позволяет перевести работу некоторых машин на автоматический режим и повысить их эффективность.

В обзорной части раздела приводится описание различных конструкций устройств для ориентирования плодов. Все многообразие существующих ориентирующих устройств разбито на две группы. В устройствах первой группы ориентирование плодов осуществляется в конусных воронках. Ориентирующий эффект достигается за счет использования формы поверхности плода, характеризующейся наличием впадин у плодоножки и чашелистика (яблоки) или борозды (абрикосы, персики). В устройствах второй группы благодаря различному использованию рабочих органов (вращающиеся ролики цилиндрической и других форм, лотки разных профилей) плоды в процессе движения занимают устойчивые положения, соответствующие ориентированным.

Мандарины по своей форме отличаются от плодов, ориентируемых в указанных устройствах, поэтому для их ориентирования необходима разработка новых способов.

В работе исследуются два способа ориентирования мандаринов: а) в вибрирующих лотках, состоящих из двух взаимоперпендикулярных поверхностей; б) в конусных ячеях.

Т. к. процесс ориентирования связан с переводом предметов, занимающих различные случайные положения в пространстве, в определенные каким-либо механическим способом, его теория базируется на вероятностных принципах и методах теоретической механики.

Частоты появления различных положений плода на ориентирующих поверхностях, или относительное число случаев, когда при переходе плода из неопределенного положения в определенное, плод занимает ту или иную позицию, определяются геометрической формой плода и могут быть вычислены по формулам теории вероятностей. За ориентированные положения мандаринов принято такое расположение плодов в пространстве, когда плодоножки их направлены вверх. Вероятность занять ориентированное положение $P(C_1)$ определяется как отношение телесного угла, соответствующего прямолинейной части поверхности плода мандаринов, равному, согласно рис. 1 «в» $2\pi(1 - \cos\vartheta/2)$, к телесному углу, соответствующему всей поверхности, т. е. к полному телесному углу — 4π . Исключая $\cos\vartheta/2$, получим,

$$P(C_1) = 0,5 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{C_1}{h}\right)^2}} \right) \quad (16)$$

Аналогично определяются вероятность занять положение плодоножкой вниз — $P(C_2)$:

$$P(C_2) = 0,5 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2 \frac{C_2}{h}\right)^2}} \right) \quad (17)$$

и вероятность занять остальные возможные положения, соответствующие такому расположению плода, когда он опирается на плоскость концом своего радиуса — $P(R)$:

$$P(R) = 1 - [P(C_1) + P(C_2)] \quad (18)$$

Принципиальная схема вибрационного ориентирующего устройства представлена на рис. 4. В вибрирующий лоток подаются плоды, занимающие различные случайные положения; в процессе вибрационного движения неориентированные плоды теряют свою устойчивость и ориентируются, а ориентированные сохраняют свое положение. Длина лотка подбирается такой, чтобы продолжительность пребывания плодов в нем было достаточным для их ориентации. Процесс ориентации мандаринов в устройстве может осуществляться, если характер получающегося под действием вибрации движения плодов в двух взаимоперпендикулярных сечениях лотка — поперечном и продольном, будет определенным: а) в плоскости поперечного сечения лотка ориентированные плоды перемещаются только путем скольжения, т. е. с сохранением своего ориентированного положения, а неориентированные — перекатыванием; б) перемещение ориентированных и неориентированных плодов в продольной плоскости лотка происходит только путем скольжения.

В результате решения задачи равновесия плода, располагаемого на плоскости, наклонной к горизонту под углом α_d равном углу наклона опорной поверхности ориентирующего лотка, плодоножкой вверх и вниз, находим, что первое условие может соблюдаться, если удовлетворяется неравенство:

$$\frac{c_2}{h} < \operatorname{tg} \alpha_1 \leq \frac{c_1}{h} \quad (19)$$

Но для того, чтобы условия равновесия плодов на наклонной плоскости, принятой при расчете и в ориентирующей лотке были идентичными необходимо исключить влияние его бортовой стенки на ожидаемый поворот неориентированных плодов в поперечной плоскости лотка. Это может быть достигнуто в моменты периодических нарушений контакта плодов с бортовой стенкой лотка в процессе вибрационного перемещения. Расчетным путем установлено, что такое нарушение контакта плодов с бортовой стенкой имеет место только при вибрационном движении плодов с отрывом от опорной плоскости. Вибрационное же перемещение округлых тел в режимах движения с отрывом от вибрирующей поверхности теоретически не изучено. Указанные выше условия (11), (13), при соблюдении которых возможно вибрационное перемещение округлых тел, получены для случая безотрывного движения.

Будем характеризовать работу ориентирующего устройства величиной эффективности ориентирования, понимая под последней относительное число сортированных плодов. Тогда в связи с изложенным надлежит решить следующие вопросы:

1. Можно ли подобрать угол α_1 , при котором для всех существующих значений параметров c_1/h и c_2/h выполнялось неравенство (19); если нет, то при каком значении угла α_1 может быть достигнута максимально возможная эффективность ориентирования мандаринов и какова ее величина.

2) Возможно ли осуществить вибрационное перемещение плодов без перекальвания в режимах движения с отрывом от вибрирующей поверхности.

Для ответа на первый вопрос построены теоретические кривые распределения параметров c_1/h ; c_2/h (см. рис. 5) путем замены эмпирических распределений нормальными. При помощи критерия Колмогорова проверена близость эмпирических и нормальных распределений. Оптимальному значению угла α_1 соответствует точка пересечения кривых «1» и «2». Площадь под кривой «1» справа от точки пересечения кривых равна вероятности P_1 сохранения ориентированного положения плодов; а площадь под кривой «2» слева от этой точки вероятности P_2 перепада плодов, расположенных в лотке плодоножкой вниз, в ориентированное положение. Значения указанных площадей находятся по табли-

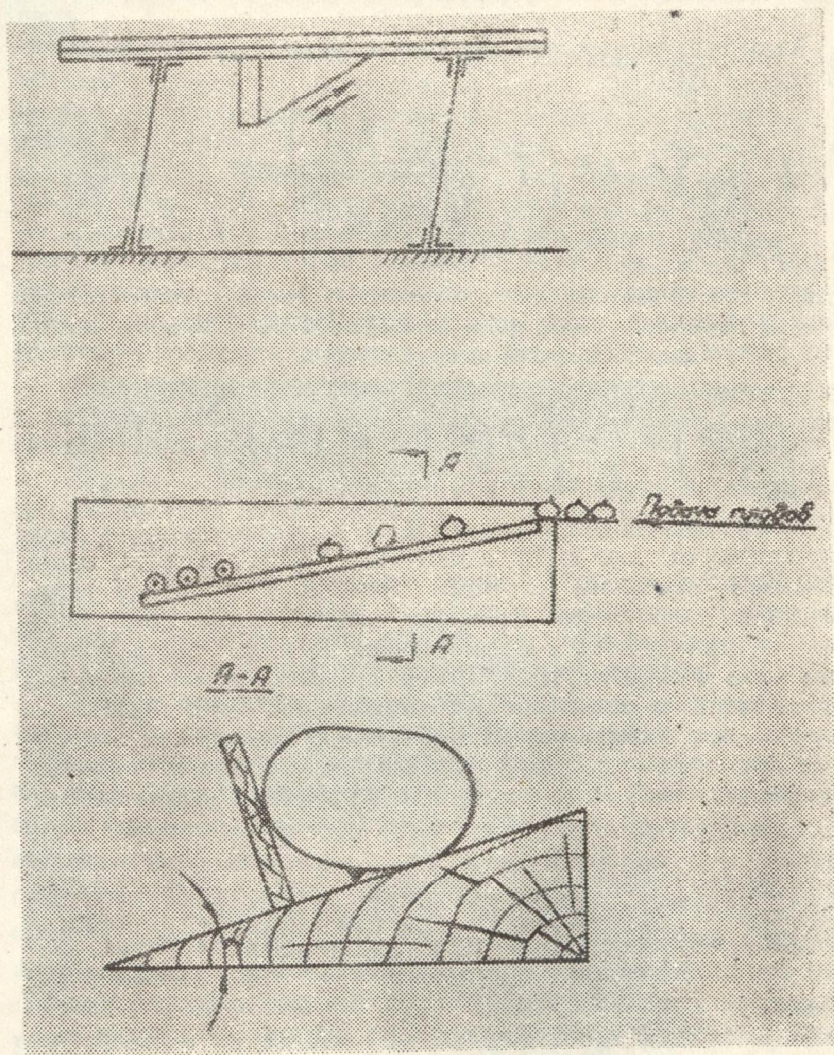


Рис. 4.

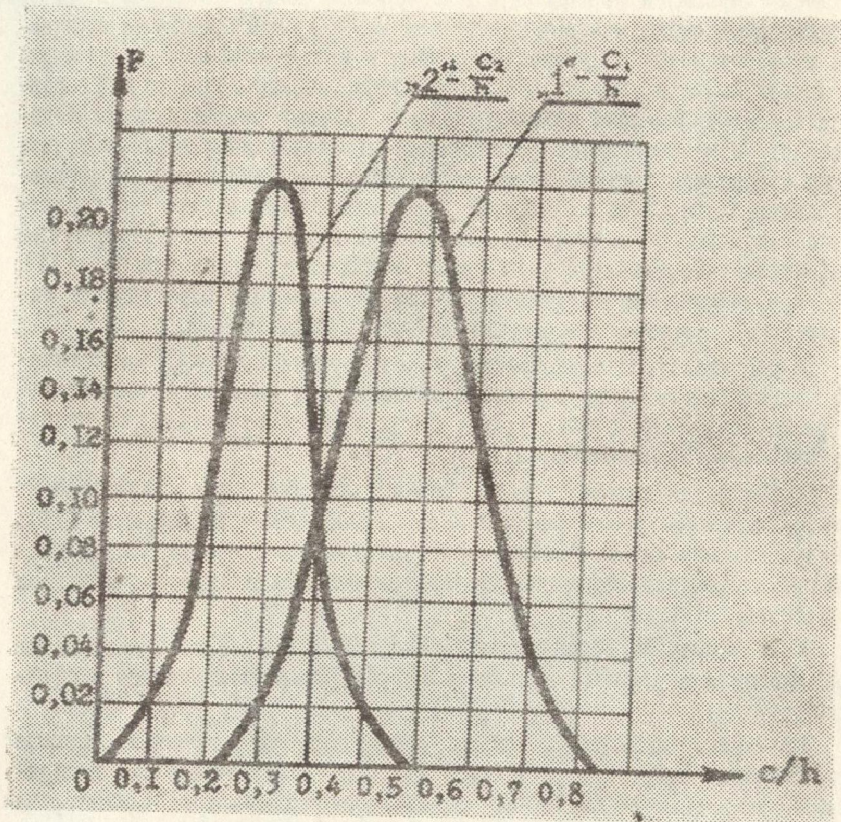


Рис. 5.

цам интеграла вероятностей. Далее определяем теоретическую эффективность ориентирования вибрационного устройства P_{op} :

$$P_{op} = P_1 \cdot P(c_1) + P_2 \cdot P(c_2) + 0,5(P_1 + P_2) \cdot P(R)$$

(20)

Подстановкой в формулу вычисленных значений вероятностей, находим $P_{op} = 0,914$.

Ответ на второй вопрос получен путем разработки инженерного метода расчета параметров вибрации, обеспечивающий вибрационное перемещение округлых тел без перекачивания в режимах движения с отрывом от вибрирующей поверхности.

Округлое тело заменено многогранником высотой h и размером грани C ; коэффициент восстановления при ударе принят равным нулю. Выделено три качественно отличных этапа движения, описываемых различными дифференциальными уравнениями. В течение первого этапа, когда силы инерции от вибрации направлены вверх, происходит поворот тела вокруг своего центра тяжести в положительном направлении на угол ϑ_1 ; второй — этап свободного полета, характеризуется поворотом тела в том же направлении на угол ϑ_2 ; во время третьего этапа силы инерции направлены вниз и тело проворачивается в обратном направлении на величину угла ϑ_3 . Дифференциальные уравнения вращений тела для указанных этапов имеют вид:

$$I\ddot{\alpha}_1 = Nf \frac{h}{2} - N \frac{c}{2};$$

$$I\ddot{\alpha}_2 = 0;$$

$$I\ddot{\alpha}_3 = -Nf \frac{h}{2} - N \frac{c}{2}.$$

(21)

где N — опорная реакция,

$$N = mg \mp m\omega^2 A \sin \beta \sin \varphi$$

(знак

минус для первого этапа, плюс — третьего); φ — фазовый угол колебаний, $\varphi = \omega t$, I — момент инерции тела.

После интегрирования уравнений (21) и алгебраического суммирования ϑ_1 , ϑ_2 , ϑ_3 получена функциональная зависимость угла поворота тела в течение одного цикла колебаний от величин c/h и фазовых углов начала и конца полета — φ_0 , φ_1 . Приравняв угол к нулю и, решая полученное уравнение, находим

$$\varphi_0 = 0,53 \pm \sqrt{1 - \frac{0,29}{c/h}}, \quad (22)$$

отсюда

$$\frac{c}{fh} \geq 0,29 \quad (23)$$

Зная величину c/h , по формуле (22) определяется φ_0 и далее по известной формуле коэффициент скорости или режима вибрации —

$$K_c = 1/\sin \varphi_0$$

Для установления достоверности полученных теоретических выводов были проведены экспериментальные исследования на установке, построенной согласно схеме рис. 4. Параметры режимов вибрации подбирались согласно выведенным формулам. В каждой серии опытов через установку пропускалось по 100 случайно отобранных плодов и находилась величина эффективности ориентирования. Путем статистических расчетов установлено, что теоретическая величина эффективности ориентирования $P_{ор} = 0,914$ несущественно отличается от фактически наблюдаемых значений.

Во второй части пятого раздела диссертации исследовано ориентирование мандаринов в конусных ячеях.

Принцип ориентирования плодов в конусных ячеях заключается в следующем. В ячеи помещаются мандарины, которые занимают в них различные случайные положения, в том числе и ориентированные (см. рис. 6). Только при ориентированном положении мандаринов поверхность их не выступает за нижнюю кромку конусной ячеи. Поэтому, если ячеи с плодами переменить по неподвижной горизонтальной плоскости, то ориентированные мандарины останутся в ячеи, а неориентированные, контактируя с неподвижной плоскостью, будут проворачиваться (подобно шарикам в сепараторе шарикоподшипника). Это проворачивание плода прекратится, когда он займет ориентированное положение.

Для возможности ориентирования мандаринов в конусных ячеях должно выполняться условие:

$$y_n > y_0, \quad (24)$$

где Y_n и Y_0 согласно рис. 6.

Из геометрических соображений с учетом формы мандаринов, получены формулы:

$$y_0 = (0,500 - 0,284k)d; \quad y_n = 0,215d \quad (25)$$

Т. к. k и d являются переменными, Y_0 и Y_n — случайные величины, для их сравнения необходимо знание статистических характеристик: средней величины и среднего квадратичного отклонения. Используя известные теоремы для дисперсии произведения и линейной функции случайных величин, после соответствующей обработки формул (25), выведены соотношения:

$$\begin{aligned} \bar{y}_0 &= 0,28d; \\ \sigma(y_0) &= 0,014 \sqrt{4685 + d^2}; \quad (26) \\ \sigma(y_n) &= 0,215 \left(\frac{d}{2\sqrt{3}} \right). \end{aligned}$$

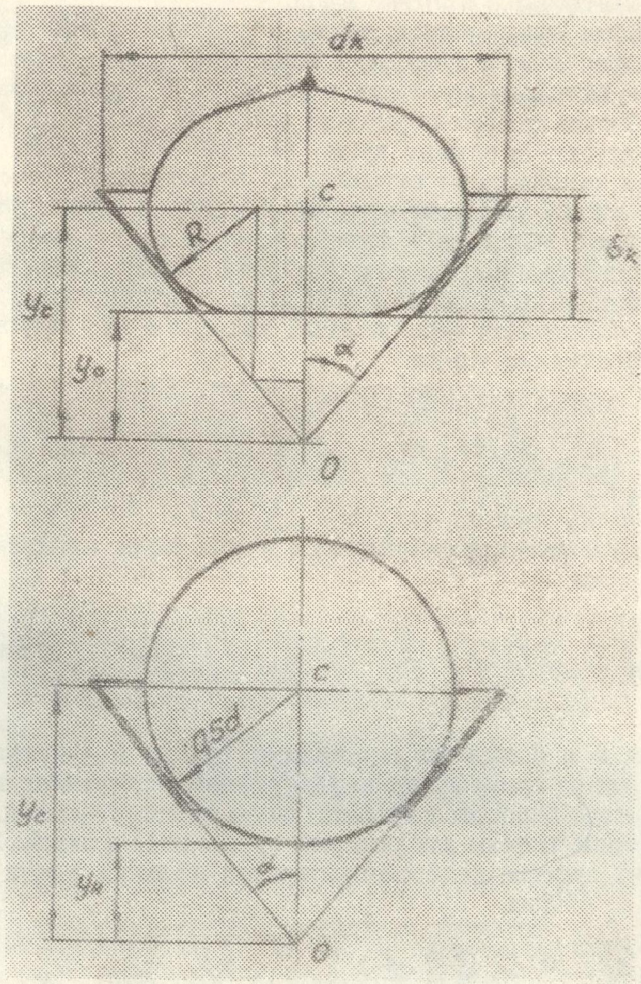


Рис. 6.

Для мандаринов третьей и четвертой групп ($\bar{d} = 57$ мм, $\bar{d} = 51$ мм) по формулам (26) вычислены статистические характеристики Y_o , Y_n и построены их кривые распределения. Далее путем сравнений и анализа кривых распределений доказана существенность отличия Y_n от Y_o , т. е. справедливость формулы (24) и выведена формула эффективности ориентирования мандаринов в конусных ячеях:

$$P_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,61 + 0,19\eta \quad (27)$$

Для проверки надежности расчета по формуле (27) и нахождения параметров работы ориентирующего устройства были проведены опыты по ориентированию мандаринов на экспериментальной укладочной машине (см. рис. 8), изготовленной в мастерской Батумского филиала Груз. НИИПП. После статистической обработки экспериментального материала установлено, что результаты расчета по формуле (27) несущественно отличаются от фактически наблюдаемых величин, а изменение скорости конвейера ориентирующего устройства в пределах 86—152 мм/сек не влияет на величину эффективности ориентирования.

Принцип ориентирования мандаринов в конусных ячеях лег в основу устройства для ориентирования плодов, на которое получено авторское свидетельство [4].

В шестом разделе диссертации исследовано устройство для поштучной выдачи плодов.

Из различных типов существующих питателей выбран наиболее распространенный, представляющий собой наклонный конвейер с вращающимися профилированными роликами. Плоды западают в ячейки (см. рис. 8), образованные двумя рядом расположенными роликами. Несмотря на известность указанных питателей полной методики их расчета нет. Задача сводится к отысканию параметров, обеспечивающих надежную поштучную выдачу мандаринов.

Параметрами питателя являются:

1. Скоростной коэффициент — вероятность или коэффициент выдачи K_c — отношение числа плодов, выдаваемых питателем в единицу времени к теоретическому числу.

2. Геометрические размеры конвейера: угол наклона конвейера α ; расстояние между рядами роликов — шаг роликов t_p ; наименьший диаметр ролика d_p ; длина бункера l_5 .

Нами использована известная формула скоростного коэффициента

$$K_c = P_{cu} \cdot P_6 \cdot P_v, \quad (28)$$

где P_{cu} — вероятность того, что захвату и извлечению плодов не мешают сцепляемость, или их взаимодействие с другими плодами, P_6 — вероятность нахождения плодов на пути захватного органа в положении, благоприятном для захвата; P_v — вероятность того, что захвату и извлечению плодов не мешает слишком высокая скорость захватного органа.

При вращении роликов происходит непрерывное ворошение плодов, поэтому принимаем $P_{cu} = 1$.

Для величин P_6 и P_v путем анализа работы устройства и использования вероятностного метода выводим формулы (см. расчетную схему на рис. 7):

$$P_6 = 1 - (1 - 0,64 \cos^2 \alpha d_k)^{l_5}, \quad (29)$$

$$P_v = \frac{0,25g \cos \alpha d_k}{V_k^2} \cdot \frac{d_p^2}{d_p + d} (1 + \sin \theta), \quad (30)$$

где V_k — скорость конвейера устройства.

Из формулы (30), полагая $P_6 = 1$, определяем (принимая $\bar{d}_p = 0,8d$, что соответствует $\theta = 45^\circ$) предельную величину скорости конвейера питателя, которая не мешает осуществлению захвата плодов:

$$[V_k] = 0,39 \sqrt{dg \cos \alpha d_k} \quad (31)$$

При $P_{cu} = P_v = 1$, $K_c = P_6$ и, согласно формуле (29) K_c определяется геометрическими параметрами питателя.

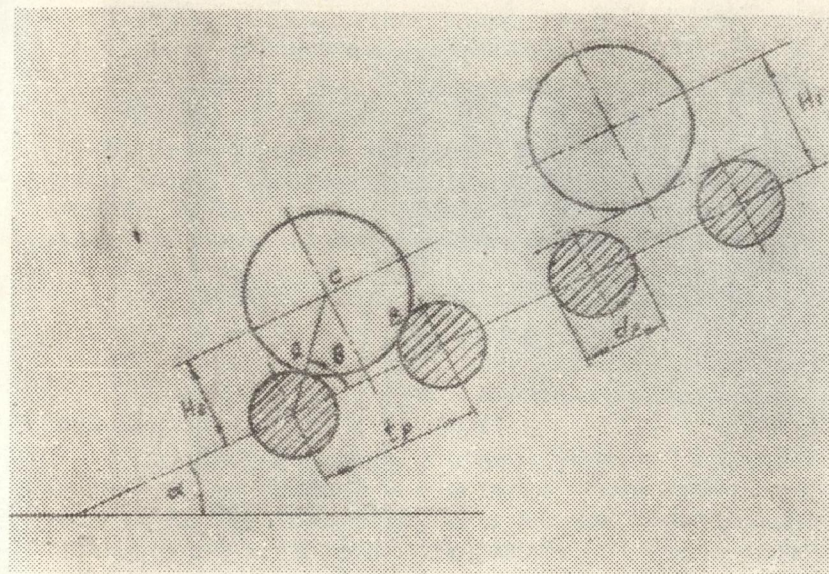


Рис. 7

Экспериментальными исследованиями питателя, входящего в состав упомянутой выше укладочной машины (см. рис. 8) подтверждаются выводы теоретических исследований.

В седьмом разделе приводятся описания двух типов укладочных машин [31, [5], в основу принципа работы которых положены результаты проведенных в диссертации исследований процессов ориентирования, комплектации и поштучной выдачи плодов. В машине первого типа ориентирование и комплектация мандаринов происходит в специальных лотках под воздействием вибрации; во второй машине плоды ориентируются в конусных ячеях под воздействием двух групп ориентирующих язычков. Захват и укладка плодов в тару в указанных машинах осуществляется при помощи групп гофрированных вакуумных присосов.

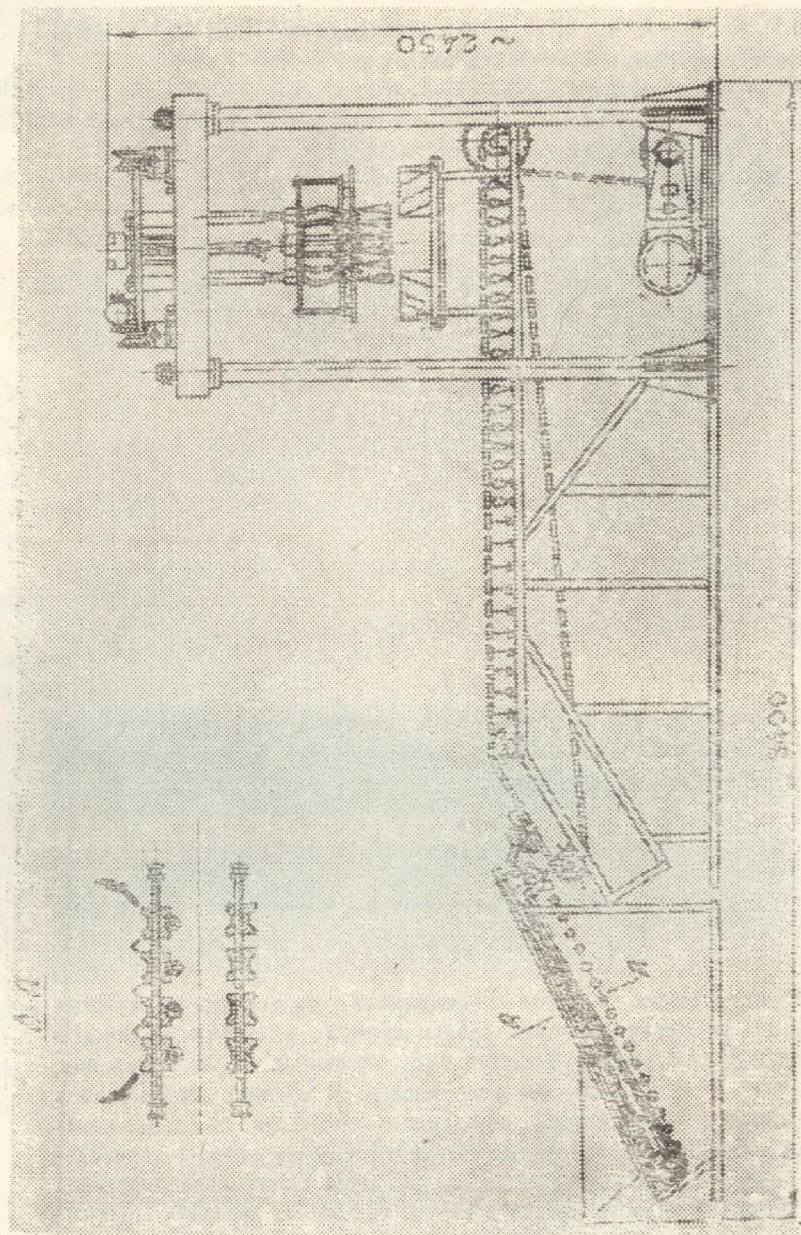


Рис. 8

Изготовлена и подвергнута испытаниям машина второго типа (см. рис. 8), в результате которых экспериментально подобраны параметры захватного органа:

1. Форма вакуумных гофрированных присосов — их диаметр 40,0 мм.
2. Диаметры подводящих вакуумных трубок 7,0 мм.
3. Величина вакуума, обеспечивающая надежный захват плодов без повреждений их поверхности, 100—150 мм рт. ст.

Машина для укладки мандаринов в ящики была подвергнута испытаниям специальной комиссией и рекомендована к промышленному изготовлению. Экономическая эффективность внедрения механизированной укладки на паковочных заводах Грузии составляет 200,0 тыс. руб. в год.

ВЫВОДЫ

1. Определена геометрическая характеристика мандаринов, получены формулы, описывающие их форму.

2. Исследована плотность различных упаковок мандаринов: установлено, что при машинной укладке плодов в ящик наиболее рациональными упаковками являются простая кубическая («прямоугольная», или «пряморядная») и кубическо-тетраэдральная («ординарно-шахматная»).

3. Исследовано группирование плодов в комплект; получены расчетные формулы предельных размеров комплекта, учитывающие переменность величин диаметров плодов; найдены предельные величины точности калибрования, при которых обеспечивается свободный ввод комплекта плодов в стандартную тару; 90% для мандаринов третьей группы и 95% — четвертой.

4. Установлено, что для сохранения структуры упаковки мандаринов в таре необходимо между плодами в комплекте оставлять «компенсационные зазоры», благодаря которым габаритные размеры комплекта можно изменять в соответствии с размерами тары. Для осуществления этого процесса предложено устройство для укладки в ящики штучных предметов, на которое получено авторское свидетельство [6].

5. Исследована вибрационная комплектация плодов; получены аналитические зависимости, описывающие процесс; определены параметры вибрации, обеспечивающие надежную комплектацию мандаринов.

6. Разработаны способы ориентирования мандаринов в вибрирующих лотках и в конусных ячеях:

а) определены параметры мандаринов, характеризующие пригодность их к ориентированию указанными способами;

б) определена теоретически и подтверждена экспериментально эффективность ориентирования мандаринов — 91,4% при вибрационном способе, 93,3% — при ориентировании в конусных ячеях;

в) разработан инженерный метод расчета вибрационного перемещения плодов без перекатывания в режимах движения с отрывом от вибрирующей поверхности;

г) определены путем теоретического и экспериментального исследований параметры вибрации, обеспечивающие ориентирование мандаринов в вибрационном устройстве;

д) определены параметры устройства по ориентированию мандаринов в конусных ячеях;

7. На базе вибрационных способов ориентирования и комплектации мандаринов создана машина для укладки в ящики плодов, на которую получено авторское свидетельство [3].

8. На базе способа ориентирования мандаринов в конусных ячеях создано устройство, на которое получено авторское свидетельство [4].

9. Проведены теоретические и экспериментальные исследования питателя для поштучной выдачи плодов; получены формулы предельной скорости конвейера питателя, обеспечивающей бесперебойную выдачу плодов и скоростного коэффициента или коэффициента выдачи; экспериментально подтверждена надежность расчета по указанным формулам; определены геометрические параметры питателя — угол наклона конвейера и длина бункера питателя.

10. Экспериментальным путем установлены параметры вакуумной системы, обеспечивающие надежный захват мандаринов специальными гофрированными присосами без нарушения целостности кожуры плодов.

11. На базе проведенных исследований создана и изготовлена машина для укладки в ящики мандаринов; она испытана специальной комиссией и принята к промышленной разработке; машина защищена авторским свидетельством [5].

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Лорткипанидзе Р. Х., Дигис М. Я. К расчету вибрационных питателей для плодов. «Известия высших учебных заведений. Пищевая технология», 1970, № 6.

2. Лорткипанидзе Р. Х. К вопросу автоматизации ориентирования мандаринов. «Субтропические культуры», Издательство ВНИИЧ, и СК, Анасеули, 1971, № 3.

3. Лорткипанидзе Р. Х. Устройство для укладки в ящики плодов. Авторское свидетельство № 247096 «Бюллетень открытия изобретения промышленные образцы, товарные знаки», 1969, № 21.

4. Лорткипанидзе Р. Х. Устройство для ориентирования плодов. Авторское свидетельство № 301300 «Бюллетень открытия изобретения промышленные образцы товарные знаки», 1971, № 14.

5. Лорткипанидзе Р. Х. Устройство для укладки в ящики плодов. Авторское свидетельство № 310842 «Бюллетень открытия изобретения промышленные образцы товарные знаки», 1971, № 24.

6. Лорткипанидзе Р. Х. Устройство для укладки в ящики штучных предметов. Авторское свидетельство № 313747. Бюллетень «Открытия изобретения промышленные образцы товарные знаки», 1971, № 27.