

Н.Ф.Диденко  
В.А.Хвостов  
В.П.Медведев

МАШИНЫ  
ДЛЯ УБОРКИ  
СНЕГА

Н. Ф. ДИДЕНКО, В. А. ХВОСТОВ, В. П. МЕДВЕДЕВ

# МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ОВОЩЕЙ

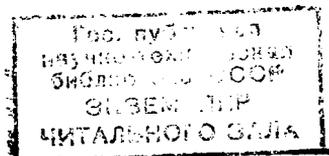


Москва

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

1973

Д 44  
УДК 631.358.3



34  
9875

73-32965

**Диденко Н. Ф., Хвостов В. А., Медведев В. П.** Машины для уборки овощей. М., «Машиностроение», 1973, 280 с.

В книге систематизированы и обобщены накопившиеся в последние годы материалы по теоретическим и экспериментальным исследованиям машин для уборки томатов, капусты, огурцов, лука и других овощных культур. Кратко изложены основные физико-механические свойства овощных культур, влияющие на качество выполнения рабочих операций. Освещены основные тенденции совершенствования овощеуборочных машин, рассмотрены конструкции наиболее интересных отечественных и зарубежных образцов, изложены элементы теории и расчета рабочих органов, даны рекомендации по применению наиболее перспективных из них.

Книга предназначена для инженеров и техников конструкторских бюро и заводов сельхозмашиностроения. Она может быть полезна инженерам, техникам и механикам колхозов и совхозов.

Табл. 23. Ил. 172. Список лит. 38 назв.

Рецензент канд. техн. наук **Л. С. Бакулев**

Д 423—266 266-73  
038(01)—73

© Издательство «Машиностроение», 1973 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Овощеводство в нашей стране является одной из наиболее крупных отраслей сельскохозяйственного производства. Под овощными культурами занято около 1,0 млн. га. При этом луковичные растения занимают 10%, корнеплоды — 20%, капуста — 30%, томаты — 20% и бобовые культуры — 5% от общей площади овощных культур [23].

К настоящему времени объем посевных площадей стабилизировался и дальнейший рост производства овощей должен происходить главным образом за счет повышения урожаев.

Различают два способа выращивания овощей: в открытом грунте — в поле, и в защищенном грунте — всесезонное выращивание овощей под прозрачными искусственными защитными материалами.

В настоящей книге рассматриваются вопросы, связанные с механизацией процессов уборки и послеуборочной обработки овощей, возделываемых в открытом грунте.

В нашей стране выращивают овощные растения более 70 видов, которые группируют по ботанической принадлежности, назначению и другим признакам. Наибольшее распространение получила классификация (табл. 1), предложенная акад. ВАСХНИЛ В. И. Эдельштейном [33], которая учитывает не только биологические особенности, но отчасти и физико-механические свойства овощных культур.

Анализ этой классификации овощных культур показывает, что для каждой из групп растений можно определить единую систему агротехнических мероприятий, обеспечивающих получение высоких урожаев, и осуществить механизацию процессов возделывания и уборки растений отдельных видов универсальными машинами.

Выращиванием овощей в Советском Союзе занимаются, как правило, специализированные хозяйства, что создает условия для широкой механизации и химизации овощеводства, а также для повышения его товарности. К настоящему времени количество таких овощеводческих хозяйств достигает 850. Ежегодный валовой сбор овощей составляет свыше 18 млн. т [23].

## Классификация овощных растений

Группы	Вид
Луковичные растения . . . . .	Лук репчатый, лук-батун, шнитт-лук, лук-поррей, чеснок
Корнеплодные растения семейства:	
зонтичных . . . . .	Морковь, пастернак, сельдерей
маревых . . . . .	Столовая свекла
крестоцветных . . . . .	Брюква, репа, редька, редис
Капустные растения . . . . .	Капуста кочанная, цветная, савойская, кольраби
Плодовые овощные растения семейства:	
пасленовых . . . . .	Томаты, перец, баклажаны
тыквенных . . . . .	Огурцы, кабачки, патиссоны
бобовых . . . . .	Овощные горох, фасоль, бобы
Листовые овощные растения . . . . .	Салат, укроп, щавель, шпинат

Размещение овощных растений в почве зависит от многих факторов (биологических особенностей культуры, возможности механизации процессов возделывания, профиля поверхности поля и т. д.) и может быть сведено к двум способам: гнездовому и рядовому.

Гнездовое размещение растений, включающее квадратное, прямоугольное, квадратно- и прямоугольно-гнездовое, используется для тех овощных культур, площадь питания одного растения которых должна быть больше 0,1 м<sup>2</sup>. Минимальная ширина междурядий при таком размещении 45 см, наиболее распространенная ширина междурядий 60 и 70 см.

Овощные культуры, которым требуется площадь питания одного растения менее 0,1 м<sup>2</sup>, размещают рядовым способом, включающим рядовую и ленточную группировку растений. При рядовой группировке базовая ширина междурядий принята равной 70 см, но нередко встречаются междурядья 45 и 90 см. Ленточная группировка овощных растений включает в себя узко- и широкополосную. К ленточным относятся двухстрочные посевы: 20 + 50, 8 + 62 и 90 + 50 см; трехстрочные: 39 + 39 + 56 см; пятистрочные с междурядьем 20,5 см и расстоянием между лентами 50 см и одиннадцатистрочные с междурядьями 7,5 см и расстоянием между лентами 57,5 см.

Глубина заделки семян овощей при посеве зависит от их размеров и типа почвы. Для культур с очень крупными семенами средняя глубина высева составляет 50 мм; крупными — 35; средними — 25; мелкими — 15 и очень мелкими — 10 мм. На легких почвах глубину высева увеличивают на 5—25 мм, на тяжелых уменьшают на такую же величину.

Работы по уходу за растениями заключаются в проведении культивации и рыхления. Эти операции выполняются культиваторами-растениепитателями (КРН-2,8; КРСШ-2,8А; КОН-2,8П; КРН-4,2 и КРН-5,6) и пропашными фрезами (ФПН-2,8; ФКШ-2,8 и КГФ-2,8). Рабочие органы этих машин должны уничтожать все сорняки в междурядьях, не повреждая и не засыпая почвой культурных растений; оставлять минимальные защитные зоны при первой обработке 8—10 см, при второй — 10—15 см, а при широкополосном посеве — 2—4 см и обеспечивать обработку почвы при первой культивации на глубину 4—8 см, при второй и третьей — 8—10 см, а при последующих — до 15 см.

Уборка и послеуборочная обработка овощных культур по уровню механизации пока еще отстают от операций, связанных с возделыванием этих культур (предпосевной обработки почвы, посева, ухода за растениями и др.). Исключение составляет лишь зеленый горошек, для механизации процессов уборки которого промышленностью выпускается комплекс машин, включающий зернобобовую жатку ЖБА-3,5, подборщик-погрузчик ППГ-1,4 и комбайн для обмолота бобовых культур КБК-1,0.

Ряд овощных культур убирается с использованием ручного труда. Так, при уборке корнеплодов и лука до недавнего времени использовались простейшие орудия, например, для рыхления почвы, подкапывающая скоба или лапы свеклоподъемника СНУ-3С. При уборке ранней капусты и сбора одновременно созревающих культур были механизированы лишь погрузочные и транспортные операции, для выполнения которых используются транспортер ТН-12, платформы универсальные ПОУ-2 и овощные ПНСШ-12.

Затраты труда на производство овощей довольно велики, при этом до 60% общих затрат труда приходится на уборку и послеуборочную обработку (табл. 2). В связи с этим механизация процессов уборки и послеуборочной обработки овощных культур является одной из наиболее актуальных и первоочередных задач.

Таблица 2

**Затраты труда на возделывание и уборку овощей**

Культура	Урожайность в ц/га	Затраты труда в человеко-днях на 1 га		
		На производство овощей (при существующем уровне механизации)	На уборочные операции (при существующем уровне механизации)	На уборочные операции (с учетом внедрения новых уборочных машин)
Репчатый лук . . . . .	150	114,75	63,75	11,0
Корнеплоды:				
морковь, пастернак . .	250	131,56	86,55	14,43
брюква и др. . . . .	750	99,21	88,8	2,3
Кочанная капуста. . . . .	400	42,7	9,52	4,63
Томаты. . . . .	300	161,19	125,87	31,06

В последние годы научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими организациями ведутся работы по созданию средств для механизации уборки овощных растений. В 1971 г. начато изготовление лукоуборочной машины ЛКГ-1,4, осваивается изготовление приспособления для уборки лука к картофелеуборочному комбайну ККУ-2, ведется подготовка к изготовлению линии для поточной послеуборочной обработки лука ПМЛ-6. Разработан комплекс машин для уборки и послеуборочной обработки моркови: уборочная машина МКГ-1,4 и поточная линия ПСК-6.

Успешно прошла государственные испытания и получила рекомендацию к серийному производству машина ККГ-1,4 для уборки крупноразмерных корнеплодов.

Завершаются работы по созданию машины КТК-1 для сплошной уборки капусты с погрузкой в транспортные средства.

Разработан комплекс машин для уборки и послеуборочной обработки томатов. Уже ведется подготовка к изготовлению двух машин этого комплекса: агрегата ПТ-3,5 для транспортирования томатов в контейнерах и приспособления КОН-0,5 к агрегату АВН-0,5 для опрокидывания контейнеров. Проходят проверку в хозяйственных условиях комбайн СКТ-2 для сплошной уборки одновременно созревающих томатов и линия СПТ-15 для послеуборочной их обработки.

Завершение работ по созданию средств механизации основных операций уборки и послеуборочной обработки овощных культур позволит значительно снизить затраты труда (см. табл. 2) на этих операциях и вести рентабельное и высокопродуктивное овощеводство.

## Глава I

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Основой для выбора технологических приемов и способов механизированной уборки овощных культур, а также параметров и режимов рабочих органов овощеуборочных машин являются физико-механические свойства этих растений.

Физико-механические свойства овощных растений даже в пределах одной группы (например, корнеплодов) весьма разнообразны, поэтому создание единой универсальной овощеуборочной машины практически невозможно. Тем не менее очень актуальным вопросом является изыскание универсальных рабочих органов, на которых может базироваться унификация и универсализация машин для уборки овощей. В этой связи первостепенное значение имеет изучение таких свойств овощных культур, как размещение относительно поверхности почвы; размерная характеристика; прочностные свойства; коэффициенты трения по различным поверхностям.

#### РЕПЧАТЫЙ ЛУК

Из всего многообразия луковичных растений наиболее распространен в нашей стране репчатый лук. Его посевные площади составляют 90—110 тыс. га.

Агротехника возделывания лука — зональная, в большинстве районов она сложилась исторически и применяется для ограниченной группы сортов, распространенных в данном районе.

Сорта лука делятся на острые, полуострые, слабоострые и сладкие [23]. Лук острых и полуострых сортов отличается тонкими плотными чешуями и хорошей лежкостью; культивируется в центрально-черноземной полосе, выращивается исключительно через севок. Лук сладких и слабоострых сортов имеет крупную луковицу с мясистыми чешуями, хранится плохо, выращивается посевом семян на юге и рассадным способом в средней полосе.

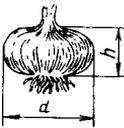
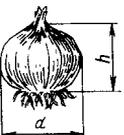
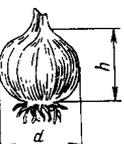
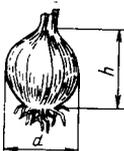
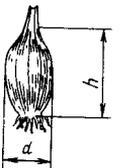
Из всего многообразия способов размещения лука наибольшее распространение имеют двухстрочный (20 + 50 см) и одностроч-

ный с шириной междурядий 45 см. К моменту уборки фактически ширина междурядий при однострочном размещении колеблется в пределах 36—53 см; при ленточном — в пределах 35—65 см, а расстояние между строчками в ленте — в пределах 16—26 см при заданном значении 20 см и 19—32 см при заданном значении 25 см. Отклонение растений в каждую сторону от середины ряда достигает 4 см.

Размещение луковиц относительно поверхности поля зависит от сорта и условий выращивания. У слабоострых и сладких сортов до 75% луковиц располагаются на  $\frac{2}{3}$  высоты над уровнем

Таблица 3

Наиболее характерные формы луковиц

Форма луковицы	Индекс	Схема	Сорт
Плоская	$\frac{h}{d} = 0,4 \div 0,7$		Даниловский Мячковский Свирский Белозерский
Округло-плоская	$\frac{h}{d} = 0,7 \div 0,85$		Бессоновский Погорский Вертюжанский Грубненский Ростовский репчатый Краснодарский Г-35
Округлая	$\frac{h}{d} = 0,85 \div 1,1$		Спаский Скопинский Днестровский
Овальная	$\frac{h}{d} = 1,1 \div 1,5$		Арзамасский Стригуновский Каба Ростовский кубастый
			Уфимский кубастый
Веретенообразная	Свыше 1,5		Гаусановский

поля; луковицы острых сортов располагаются глубже, например, свыше 80% луковиц сорта Бессоновский располагаются ниже уровня почвы. Максимальное заглубление достигает 8—10 см.

Размеры — диаметр и высота луковиц зависят от сорта и условий выращивания. Наиболее крупные луковицы у сладких и слабоострых сортов. Луковицы острых и полуострых сортов, как правило, имеют меньшие размеры, диаметры их не превышают 70 мм.

Формы луковиц являются сортовым признаком. Характеристикой формы считается отношение высоты луковицы к диаметру, называемое *индексом*. Всего в зависимости от индекса выделяют пять основных форм луковиц (табл. 3).

Плотность луковиц около единицы. Насыпная масса свежубранных луковиц с ботвой, обрезанной на высоте около 10 мм, составляет 600—800 кг/м<sup>3</sup>.

Усилие на извлечение (теребление) луковиц из почвы зависит от многих факторов: глубины расположения в почве и диаметра луковиц, состояния почвы и самого растения (находится растение в фазе покоя или роста), и составляет 4—11 кгс.

Усилие на разрыв пучка ботвы (пера) зависит от диаметра пучка, состояния ботвы, а также места разрыва. Большая прочность ботвы наблюдается у основания и в средней части. Это усилие для лука острых сортов не превышает 6,5, а для сладких — 16—19 кгс.

Для большинства сортов лука усилие на разрыв пучка ботвы меньше, чем усилие на извлечение (теребление) луковиц из почвы.

Луковицы менее восприимчивы к повреждениям и более стойки к ударным нагрузкам, чем клубни картофеля и некоторые корнеплоды. Допустимая высота падения луковиц на металлические прутки — 50—100 см, на слой луковиц — 150 см; скорость соударения соответственно 3—4,5 и 4,2—5,4 м/с.

Коэффициенты трения покоя луковичных растений по различным поверхностям при статических нагрузках и давлении 15 гс/см<sup>2</sup> колеблются в следующих пределах: по шлифованной стали 0,19—0,79; по окрашенной стали 0,42—0,67; по листовой резине 0,25—1,11.

Коэффициенты трения скольжения при скорости 1,2 м/с и давлении 17 гс/см<sup>2</sup> характеризуются данными, приведенными в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты трения скольжения

Материал	Сталь		Техническая резина	Сосновая фанера
	неокрашенная	окрашенная		
Листья:				
сухие . . .	0,26	0,52	0,42	0,18
зеленые . .	0,57	1,14	0,66	0,48
Луковицы . . .	0,29	0,53	0,58	0,24

## СТОЛОВЫЕ КОРНЕПЛОДЫ

Наибольшее распространение имеют три вида столовых корнеплодов: морковь, столовая свекла и редис.

Из всех применяемых способов размещения корнеплодов для работы машин теребильного типа наиболее приемлемым является однострочный с междурядьями не менее 45 см. Для работы машин подкапывающего типа предпочтительны двухстрочные способы размещения по схемам 62 + 8 см и 64 + 6 см, так как они обеспечивают не только свободное размещение различных рабочих органов в многорядной уборочной машине, но и проходимость трактора с широкими колесами по междурядьям с минимальными повреждениями убираемой культуры.

Густота размещения корнеплодов (количество растений на 1 м ряда), определенная по результатам многолетних исследований, представлена в табл. 5.

Таблица 5

**Густота размещения корнеплодов**

Культура	Количество растений на 1 м ряда			Количество растений на 1 га в тыс. шт.
	среднее	максимальное	минимальное	
Морковь . . . . .	20—25	100	0	440—1200
Свекла . . . . .	15—20	30	0	300—450
Редис . . . . .	20—30	—	—	500—800

Расположение головок корнеплодов относительно поверхности поля характеризуется следующими показателями: 94—100% головок корней моркови находится в зоне  $\pm 3$  см (из них до 77% — в зоне  $\pm 1$  см); заглубление головок свеклы также не превышает 3 см, а выступание их из почвы достигает 9 см.

Среднемаксимальная ширина ряда моркови составляет 13,3 см, максимальная — 16 см. При широкополосном и двухстрочном (62 + 8 см) размещении общая ширина ленты моркови может быть 18 см; такой же ширины достигает зона размещения корней столовой свеклы; ширина зоны размещения корней редиса не превышает 10 см.

Глубина залегания корней составляет 10—25 см (до 30 см) у моркови, 10—20 см — у свеклы и 1—6 см — у редиса.

Средние значения размерных показателей приведены в табл. 6.

Качество работы машин теребильного типа определяется прочностью ботвы, которая изменяется в зависимости от сорта корнеплодов, размерной характеристики ботвы, направления приложения силы и других факторов (табл. 7).

Таблица 6

## Размерные показатели столовых корнеплодов

Культура	Элементы растений	Длина в см	Толщина в см	Масса в г
Морковь:	Ботва Корни	30	1,5	40
		11	3,3	60
Шантенэ . . . . .				
Нантская . . . . .	Ботва Корни	25	1,1	9
		9	2,6	46
Свекла:				
Египетская . . . . .	Ботва Корни	21	2,6	90
		6	8	150
Бордо . . . . .	Ботва Корни	33	4,1	230
		10	9	500
Редис:				
Рубин . . . . .	Ботва Корни	20	1,3	20
		3	3,6	20
Розово-красный с белым кончиком	Ботва Корни	25	1,3	28
		3,4	3,9	30

Таблица 7

## Усилие отрыва пучка ботвы в кгс

Культура	Диаметр пучка в см	Усилие, направленное вдоль пучка			Среднее усилие, направленное под углом 45° к оси пучка
		среднее	максимальное	минимальное	
Морковь:					
	Шантенэ . .	1,6	20	50	6
Нантская . .	1,1	7	14	2,3	4,4
Свекла:					
Египетская	3,9	48	80	27	31,2
Бордо . . . .	3,7	54	85	35	36,4
Редис Рубин	1,3	2,8	4,3	1,4	—

Таблица 8

## Усилие, необходимое для извлечения корнеплода из почвы, в кгс

Культура	Среднее	Максимальное	
		Минимальное	Минимальное
Морковь:			
	Шантенэ . . . .	13	21
Нантская . . . .	7	15	3
Свекла:			
Египетская . . .	12	24	6
Бордо . . . . .	10	19	4
Редис:			
Рубин . . . . .	3,6	6,1	1,0
Розово-красный с белым кончиком . . .	1,8	3,0	0,4

Как видно из таблицы, увеличение угла отрыва приводит к значительному снижению разрывного усилия. При изменении угла от 0 до 45° разрывное усилие у моркови и свеклы снижается в 1,48—1,59 раза. Изменение разрывного усилия ботвы моркови сорта Шантенэ в интервале угла отрыва 0—90° графически представлено на рис. 1. В этом интервале усилие уменьшается в 9 раз.

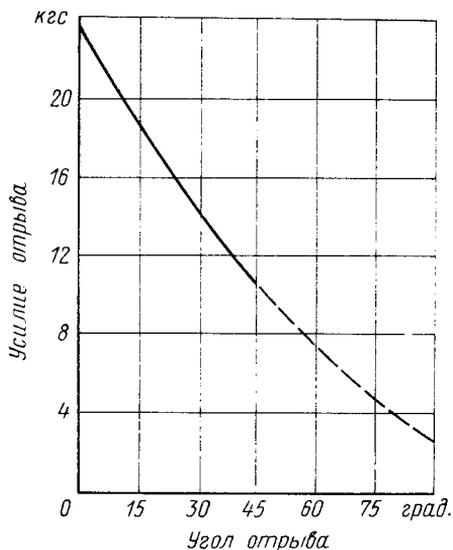


Рис. 1. Зависимость усилия отрыва пучка ботвы моркови от угла отрыва. При угле 90° плечо изгиба равнялось 40 мм

Для обеспечения достаточной полноты теребления необходимо, чтобы прочность ботвы значительно превышала усилие, необходимое для извлечения корнеплода из почвы. Это усилие зависит главным образом от глубины залегания корнеплода и твердости почвы и находится в пределах, указанных в табл. 8.

Сравнительный анализ данных табл. 7 и 8 показывает, что коэффициент запаса прочности ботвы (отношение прочности ботвы к прочности связи корня с почвой) у столовой свеклы в среднем равняется 4—5; однако, в связи с широким варьированием этих величин, он может приближаться к единице. У моркови и редиса коэффициент запаса прочности ботвы невелик и в отдельных случаях прочность связи корня с почвой превышает прочность ботвы.

Чтобы обеспечить запас прочности ботвы, достаточный для машинного извлечения корнеплодов, необходимо уменьшить прочность связи их с почвой. Это достигается предварительным подкапыванием корнеплодов копачом, который подрезает почвенный пласт и приподнимает корнеплоды вместе с окружающей их почвой.

На выбор параметров копача оказывает влияние закономерность изменения прочности связи корня с почвой в зависимости от высоты подъема. Как видно из рис. 2, при подъеме корня на расстояние 0—10 мм сила сопротивления возрастает, а затем снижается, полное нарушение связи корня моркови с почвой происходит при подъеме его на расстояние около 50 мм [34]. Следовательно, подкапывающий рабочий орган должен поднимать корнеплод на высоту не менее 50 мм. После подкапывания сила, необходимая для извлечения корнеплода, определяется в основном

весом корнеплода и налипшей на него почвы и не превышает у моркови 2 кгс и у свеклы 3 кгс.

На рис. 3 представлены зависимости усилий, вызывающих разрушение корней моркови Лосиноостровской и Шантенэ при статическом сжатии, срезе и изгибе с плечом 25 мм.

Наибольшую прочность при статическом сжатии имеют корни свеклы. Корни моркови (около 7% наиболее мелких) начинают разрушаться при нагрузке 10 кгс. Наибольшее количество корнеплодов (61%) дает трещины при нагрузках 30—60 кгс и лишь 1,4% разрушаются при 200 кгс.

По данным А. Н. Тимофеева, предельная высота, при которой не происходит повреждений корней моркови, равна: при падении на стальную поверхность  $H_{ст} = 0,10$  м; на дерево  $H_{д} = 0,24$  м; на резину  $H_{р} = 0,25$ ; на слой моркови  $H_{к} = 0,24$  м.

В первую очередь повреждаются наиболее крупные корнеплоды, так как сила удара пропорциональна массе. Однако корни столовой свеклы, хотя и имеют массу больше, чем корни моркови, повреждаются слабее. Предельной высотой падения для столовой свеклы является  $H_{ст} = 0,23$  м;  $H_{д} = 0,32$  м;  $H_{р} = 1,25$  м и  $H_{к} = 0,65$  м. С изменением массы корней столовой свеклы от  $m \leq 200$  г до  $m > 600$  г при падении на металлические прутки с высоты 0,5 м увеличивается повреждение корней с 48,2 до 93,8%.

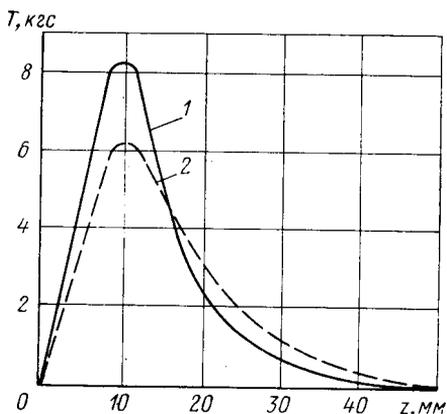


Рис. 2. Зависимость усилия  $T$ , необходимого для извлечения корней моркови, от высоты подъема  $z$ :

1 — для средних наиболее уплотненных рядов при четырехстрочной схеме размещения  $3 \times 25$  см; 2 — для крайних рядов

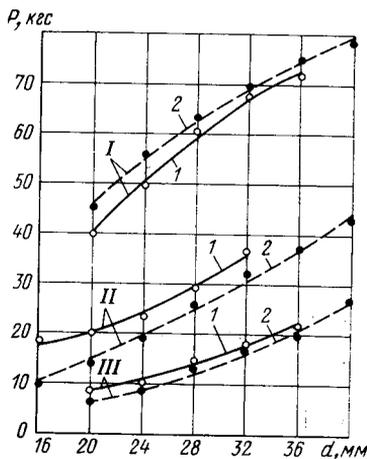


Рис. 3. Изменения разрушающего усилия  $P$  в зависимости от диаметра  $d$  корней моркови:

I — при статическом сжатии; II — при срезе; III — при изгибе; 1 — Лосиноостровская; 2 — Шантенэ

Корни редиса, имеющие незначительную массу и прочную кожу, хорошо выдерживают ударную нагрузку: при сбрасывании с высоты 1 м на различные поверхности (резина, дерево, металл) повреждения отсутствуют.

Средние значения коэффициентов трения различных элементов овощных корнеплодов при давлении 4,0—7,0 гс/см<sup>2</sup> приведены в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициенты трения овощных корнеплодов

Культура	Элементы растения	Влажность в %	Поверхность трения			
			Неокрашенная сталь	Окрашенная сталь	Техническая резина	Сосновая фанера
Морковь . . . . .	Листья	78,4	0,76	0,72	0,65	0,62
	Корни	87,7	0,69	0,96	0,60	0,83
Свекла . . . . .	Листья	86,0	1,13	1,35	0,90	1,02
	Корни	84,0	0,90	0,86	0,63	0,54
Редис:						
	Рубин . . . . .	Листья	87,4	1,46	1,76	1,49
	Корни	92,0	1,54	1,93	1,88	0,92
Розово-красный с белым кончиком . . . . .	Листья	89,7	1,47	1,80	1,40	1,17
	Корни	93,6	1,59	1,59	1,80	1,32

### КОЧАННАЯ КАПУСТА

Капуста отличается большим разнообразием сортов. Насчитывается около двух десятков сортов только белокочанной капусты. Далее приводятся основные физико-механические свойства трех наиболее распространенных сортов белокочанной капусты: раннего — Номер первый, среднеспелого — Слава и позднеспелого — Московская поздняя. Основные размеры растений: ширина розетки  $B$ , диаметр кочана  $D$  и кочерыги  $d$ , высота растений  $H$  и расположения кочана  $h$ , длина необлиственной  $l_1$  и облиственной  $l_2$  части кочерыги (рис. 4), определяющие параметры рабочих органов капустоборочной машины, приведены в табл. 10.

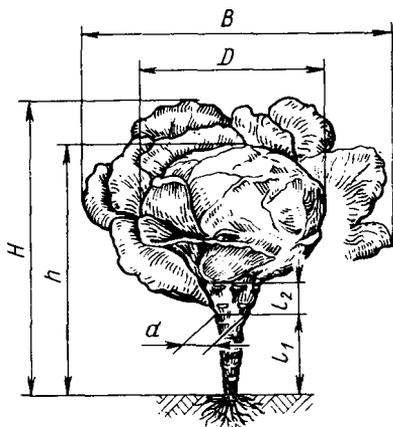


Рис. 4. Размеры растения капусты

Усилие на извлечение (выдергивание) растений из почвы зависит от их размеров, а также от влажности и твердости почвы

Таблица 10

## Основные размерные показатели белокочанной капусты

Сорт	Размеры в см						Масса кочана в кг	
	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>l</i> <sub>1</sub>		<i>l</i> <sub>2</sub>
Номер первый . .	43	16	3,0	25	22	8,4	4,9	1,2
Слава . . . . .	64	20	4,1	31	26	3,9	5,2	2,8
Московская . . .	80	23	4,7	38	34	11,7	6,7	4,3

Таблица 11

## Усилие, необходимое для извлечения растений из почвы

Сорт	Влажность почвы в %	Твердость почвы в кгс/см <sup>2</sup>	Усилие выдергивания в кгс		
			среднее	максимальное	минимальное
Номер первый	18,8	5,8	17,3	25,0	10,0
	21,5	12,2	30,6	40,0	17,0
	12,9	16,8	38,8	50,0	27,0
Слава	22,0	5,6	49,5	73,5	28,0
	28,0	6,0	28,6	44,0	15,0
	21,8	9,6	33,9	62,5	17,5
Московская поздняя	28,2	3,3	39,7	60,0	25,0
	29,2	4,5	46,1	62,0	25,0
	21,9	12,3	95,1	140,5	51,5

Таблица 12

## Коэффициенты трения движения растений

Элементы растения	Влажность в %	Поверхность трения			
		Неокра- шенная сталь	Окрашен- ная сталь	Техниче- ская резина	Сосновая фанера
Лицевая сторона листьев .	90	0,30	0,53	0,53	0,38
Обратная сторона листьев	90	0,39	0,54	0,41	0,22
Кочерыги. . . . .	91	0,30	0,33	0,47	0,29

(табл. 11). Как правило, прочность кочерыги превышает усилие, необходимое для выдергивания ее из почвы [30].

При механизированной уборке капусты трение рабочих органов машины наблюдается главным образом по наружным листь-

ям и кочерыге. Коэффициенты трения движения листьев и кочерыги по различным поверхностям, определенные при нормальном давлении  $6 \text{ гс/см}^2$  и скорости движения  $1,8\text{—}2 \text{ м/с}$ , приведены в табл. 12.

## ТОМАТЫ

Физико-механические свойства томатов определяли многие исследователи [1, 12, 30]. Рассмотрим обобщенные показатели, наиболее важные для проектирования рабочих органов машин для уборки томатов.

Для машинной уборки применяются следующие схемы размещения растений на поле:  $90 + 50$ ,  $100 + 40$  и  $120 + 60 \text{ см}$ . Отклонения оснований растений от оси ряда в период уборки составляют  $\pm 10 \text{ см}$ . Расстояния между растениями в ряду колеблются при посевной культуре от 2 до 180 см со средним значением  $28\text{—}35 \text{ см}$  и при рассадной культуре от 30 до 200 см со средним значением 35 см.

Ширина кроны куста составляет  $40\text{—}60 \text{ см}$  в неполивных условиях и  $70\text{—}90 \text{ см}$  при поливе. При схеме размещения  $100 + 40 \text{ см}$  ширина полосы томатов сорта Машинный I изменяется от 115 до 175 см при среднем значении 133 см. При этом ширина полосы, на которой находятся плоды, не превышает 135 см при среднем значении около 100 см.

Высота растений к моменту уборки колеблется в пределах  $20\text{—}70 \text{ см}$ . Последнее значение характерно для растений томатов, на которых плоды еще полностью не поспели. Средняя высота кустов в зависимости от сорта и условий произрастания равна  $30\text{—}50 \text{ см}$ . К моменту уборки количество плодов, расположенных в зоне  $0\text{—}100 \text{ мм}$  от поверхности поля, составляет  $65\text{—}90 \%$ . При этом на земле лежит до 15% плодов.

Длина основного стебля изменяется в пределах  $35\text{—}80 \text{ см}$ . Отклонения от среднего значения длины стебля одного сорта в основном находятся в пределах  $\pm 12 \text{ см}$ .

Масса растения с плодами колеблется от 0,5 до 4,0 кг. Средняя масса растения составляет  $1,3\text{—}2,4 \text{ кг}$  в зависимости от сорта и условий произрастания. Масса плодов на кусте колеблется от 0,2 до 2,8 кг. Стеблистость растения, определяемая отношением массы стеблей к массе плодов, находится в пределах  $0,24\text{—}0,43$ .

Для машинной уборки применяются томаты мелко- и среднеплодных сортов с диаметром плодов  $20\text{—}60 \text{ мм}$ .

Размеру плодов соответствует их масса: мелкие плоды имеют массу 50 г, средние  $50\text{—}80 \text{ г}$ . Колебания массы плодов в пределах одного сорта значительные, например, у плодов сорта Машинный I от 10 до 70 г при средней массе 38 г.

Среднее значение усилия теребления куста томатов составляет  $28\text{—}35 \text{ кгс}$ , в зависимости от почвы и погодных условий.

Разрушающая статическая нагрузка для спелых плодов колеблется в пределах 2—5 кгс, а иногда достигает 7 кгс. При этом относительная деформация плодов равна 15—35%. У сливовидных сортов при нагружении в поперечном направлении относительная деформация достигает 49%.

Прочность плодов в динамических условиях характеризуется высотой их падения. Для спелых крупных плодов критическая высота равна 10—15 см при падении на деревянную или стальную поверхность и до 25 см при падении на губчатую резину толщиной 6—8 мм. Повреждения плодов при такой высоте падения не превышают 5%. Для сливовидных сортов соответственно  $H_{кр} = 40 \div 75$  см и 85 см.

Усилие отрыва плодов от кисти равно 0,10—3,3 кгс при среднем значении не более 2 кгс.

Коэффициент трения стеблей о такие материалы как сталь, фанера, техническая резина составляет 0,52—0,8. Угол качения шаровидных плодов 5—14°, плоско-округлых при расположении ребром 11—12°. Наибольшая устойчивость плоско-округлого плода наблюдается, когда он лежит на поверхности местом крепления к плодоножке. В этом случае происходит только скольжение при угле 12—20° по стали и фанере и при угле до 26° по резине.

Степень спелости томатов обычно определяется по цвету — зеленые, молочные, бурые, розовые и красные.

После начала поспевания количество зеленых плодов уменьшается, а степень спелости повышается и достигает максимума.

Дальнейшее сохранение плодов на растении приводит к их перезреванию или загниванию.

Цвет можно оценить спектрофотометрическим методом. Спектрофотометрические кривые отражения характеризуются процентным отношением отраженного излучения к падающему на видимом участке спектра. Характер этих кривых, определенных на приборе СФ-10 для плодов разной степени спелости, представлен на рис. 5.

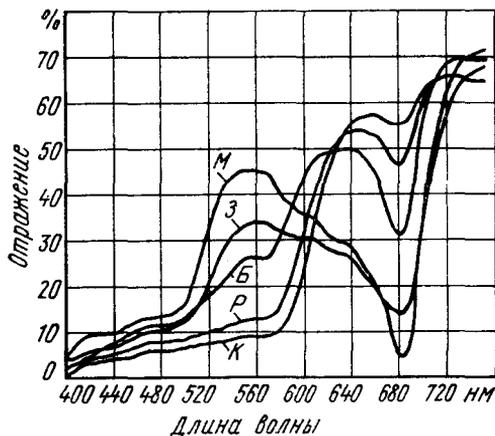
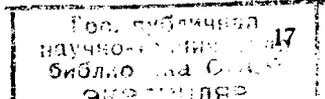


Рис. 5. Спектрофотометрические кривые отражения плодов томатов различной степени спелости в видимом участке спектра:

К — красные; Р — розовые; Б — бурые; З — зеленые; М — молочные



Наибольшая разница в отраженном излучении в зависимости от степени спелости наблюдается при облучении плодов светом длиной волны  $\lambda = 550 \div 575$  нм (желто-зеленый участок спектра) и  $\lambda = 680 \div 685$  нм (красный). На желто-зеленом участке спектра разница между отражаемостью плодов зелено-молочной и красно-розовой спелости составляет 30—35%, а на красном участке — 33—50%. Бурые плоды имеют промежуточные значения отражаемости.

### ОГУРЦЫ

Для механизированной разовой уборки наиболее пригодными являются сорта с наибольшим одновременным поспеванием урожая, к числу которых можно отнести Кустовой 98, Короткоплетистый 81, Успех 221.

Схема размещения огурцов — рядовая с междурядьями 70—90 см или ленточная (90 + 50 см).

Сорт Кустовой 98 отличается очень короткими разветвленными стеблями (30—65 см) и разовой завязью с развитием до пяти плодов. Этот сорт требует повышенной загущенности растений, до 100 тыс. на 1 га.

При двухстрочном посеве (90 + 50 см) ширина полосы растений на ленте к моменту уборки не превышает 140 см; высота растений 24—27 см; расстояние от основания растений до первого плода — 3—26 см при средних значениях 10—12 см; количество плодов на растении 2—4.

Согласно ГОСТу 1726—68 свежие огурцы по размерам (длине) делятся на пиккули — 3—5 см, корнишоны — 5—9 см, зеленцы — 9—12 см. Для скороспелых сортов длина зеленцов ограни-

Таблица 13

#### Характеристика огурцов

Показатели	Сорт	
	Кустовой 98	Короткоплетистый 81
Длина в см:		
максимальная . . . . .	16,0	18,0
средняя . . . . .	10,2	12,1
минимальная . . . . .	5,5	7,0
Диаметр в мм:		
максимальный . . . . .	60,0	62,0
средний . . . . .	38,0	43,1
минимальный . . . . .	15,0	24,0
Масса в г:		
максимальная . . . . .	300,0	330,0
средняя . . . . .	103,0	127,0
минимальная . . . . .	8,0	26,0

чивается 9 см; диаметр зеленцов для консервирования допускается не более 5 см, а для потребления в свежем виде — не более 6 см.

Характеристика огурцов, оптимальных для машинной уборки, приведена в табл. 13.

Радиус закругления плода у плодоножки  $13,5 \pm 4,5$  мм [28].

Усилие отрыва плода от стебля — 1,1—4,5 кгс при среднем значении 2,5 кгс. Среднее разрывное усилие стебля у основания — 8 кгс, в середине — 8,3 кгс, у вершины — 6,3 кгс, но колеблется в пределах 3,5—16,8 кгс у основания, 1,6—16,8 кгс в середине и 1,6—13 кгс на конце. Допустимые скорости соударения с металлическими поверхностями 2,0—2,2 м/с. Коэффициент трения плодов по плотной резине — 0,55, стеблей — 0,46—0,49.

### ОВОЩНОЙ ГОРОХ

Овощной горох в основном сеется сплошным рядовым способом с междурядьями 15 см и расстоянием между зернами не более 8 см (количество растений на 1 га не менее 800 тыс.). К моменту уборки горох сильно переплетается. По высоте стеблей в естественном состоянии овощной горох бывает низкий — 30—50 см, средний — 40—70 см (при длине стеблей 100—150 см) и высокий — 70—90 см (при длине стеблей более 150 см). Полеглость растений овощного гороха приводит к тому, что у земли к моменту уборки оказывается много бобов (в зоне высотой до 100 мм, 48—63%), что мешает скашиванию без потерь.

Бобы по размеру делятся на мелкие (до 6 см), средние (6—9 см) и крупные (длиннее 9 см), узкие (ширина 12—14 мм) и широкие (16—18 мм). В бобах содержится по 7—9 зерен толщиной 4,5—8,0 мм, шириной 4,5—9,0 мм, длиной 5,0—9,8 мм.

Усилие тербления растений колеблется в пределах 1,5—4 кгс при среднем значении 2,8 кгс; разрывное усилие в средней части растений составляет около 6 кгс при колебаниях от 3 до 11 кгс; усилие отрыва боба — 0,6—2,6 кгс при средних значениях для разных сортов 1,2—1,7 кгс.

Прочность связи створок боба зависит от его влажности и степени спелости. Боб консервной спелости, подвергнутый сжатию по толщине или ширине между стальными пластинами до 15%-ной деформации, обыкновенно не разрушается и зерна, заключенные в нем, не повреждаются. Этой деформации соответствует допустимая нагрузка, равная 3—5 кгс. При увеличении нагрузки до 6 кгс наблюдается разрушение боба вместе с зернами.

Сила связи зерна с бобом колеблется в пределах 15—174 гс при средних значениях для разных сортов 65—90 гс. По мере созревания боба сила крепления зерен уменьшается. Зерна консервной спелости, подвергнутые сжатию между плоскими жесткими поверхностями до деформации не большей 10%, обычно не разрушаются. Допустимые нагрузки при этом составляют 0,8—

0,9 кгс. Начало разрушения происходит при нагрузках 1,1—2,2 кгс. Удар по зерну жесткой поверхностью со скоростью 2,4 м/с можно считать допустимым. При консервной спелости зерно выдерживает до 54 таких ударов без разрушения.

Зерно, заключенное в створках, способно выдерживать значительно большие нагрузки. Так, предельно допустимой скоростью встречи боба с билем молотилки считается 4—5 м/с.

Коэффициенты трения зерна и стальных частей растений овощного гороха значительно различаются, что используется для удаления примесей из зерна.

Листья, стебли и бобы имеют коэффициент трения по стали 0,71—0,92, по резине 0,87—1,00, по полотну 0,8—0,9, а зерно соответственно 0,56, 0,72 и 0,53.

## **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ ОВОЩЕЙ**

**С**оздание и внедрение в производство новых овощеуборочных машин в нашей стране осуществляется в соответствии с «Системой машин». «Система машин 1971—1975 гг.» учитывает зональные особенности страны и предусматривает средства механизации для возделывания, уборки, послеуборочной обработки и хранения овощей во всех 19 зонах.

В соответствии с этой системой предусматривается разработка технологических комплексов машин, которые группируются с учетом видов семенного материала, способов возделывания и рядности машин. Ширина захвата машин устанавливается в основном 2,8 или 4,2 м и реже 1,8 м.

Важной особенностью разрабатываемых машин для уборки овощей является их высокая унификация и универсализация. Множество разновидностей овощных культур с различными физико-механическими свойствами и сравнительно ограниченные размеры занимаемых ими площадей придают особую актуальность вопросу унификации и универсализации овощеуборочных машин. Так, если создавать специальные машины для каждой культуры, то только для механизации уборки лука и корнеплодов, занимающих около одной трети площадей овощных растений, потребуется выпускать мелкими партиями около десяти типов машин.

К настоящему времени определилось три основных направления работ по повышению унификации и универсализации овощеуборочных машин:

1. Применение сменных рабочих органов, позволяющих использовать машину для уборки двух и более культур, близких по физико-механическим свойствам.

2. Использование общей унифицированной рамы с механизмами передач для навески на нее различных сочетаний рабочих органов, предназначенных для уборки той или иной культуры.

3. Создание семейств машин с применением метода агрегатной унификации.

Первое направление — наиболее простое. Работа по универсализации при этом направлении заключается в установке на машину сменных рабочих органов или замене одних рабочих органов другими. Коэффициент унификации при этом получается очень высоким, так как при переоборудовании машина в целом не претерпевает существенных изменений. Примером такого способа универсализации могут служить сменные подкапывающие органы свеклоподъемника СНШ-3: скоба для подкапывания лука и лапы для подкапывания свеклы и моркови; приспособление для уборки лука к комбайну ККУ-2 «Дружба», а также сменные вильчатые копачи, которые устанавливаются на картофелеуборочных комбайнах «Сомека» (Франция), «Вьюлмаус» (ФРГ) и др. с целью использования их на уборке корнеплодов.

К недостаткам этого направления относится сравнительно невысокая универсализация — в пределах культур, близких по физико-механическим свойствам. Кроме того, замена одних только копачей не обеспечивает достаточно высокого качества уборки столовых корнеплодов, например, моркови, корни которой более чувствительны к механическим повреждениям, чем клубни картофеля. Тем не менее, использование сменных рабочих органов в сочетании с другими путями унификации может значительно сократить номенклатуру овощеуборочных машин и удешевить их производство.

Второе направление — навеска различных сочетаний рабочих органов на общую унифицированную раму — дает более широкие возможности для универсализации машин, хотя коэффициент унификации при этом невысокий. В качестве примера этого направления можно привести разработанную в Англии универсальную овощеуборочную машину, предназначенную для уборки различных овощных растений, а также машину «Армер» ирландской фирмы Ириш шуге компани для уборки корнеплодов.

Недостатками такого направления в унификации и универсализации уборочных машин являются:

1) отсутствие условий для организации крупносерийного производства отдельных агрегатов или узлов при изготовлении машин мелкими партиями;

2) относительно низкая эффективность использования машин в сельском хозяйстве (трудоемкость переоборудования машин с уборки одной овощной культуры на уборку другой; сложность хранения значительного количества рабочих органов различных вариантов и т. д.).

Третье направление — создание семейств унифицированных машин методом агрегатной унификации. Сущность данного направления состоит в том, что для уборки различных культур создаются специальные машины, но базируются они на универсальном агрегате и имеют ограниченную номенклатуру оригинальных узлов. Это позволяет специализировать целые заводы или отдель-

ные цехи на крупносерийном производстве агрегатов при изготовлении уборочных машин мелкими партиями.

Основываясь на таком принципе, в нашей стране впервые в мировой практике сельскохозяйственного машиностроения разработано семейство унифицированных машин для уборки картофеля, корнеплодов и лука. Базовым (универсальным) агрегатом этого семейства является двухрешетный колеблющийся грохот с установленным на переднем коробе лемехом. При создании семейства был выбран технологический процесс уборки с обрезкой ботвы на корню, последующим выкапыванием корнеплодов и сепарацией почвы.

Семейство включает машины пяти наименований:

- 1) грохотный картофелекопатель КГ-2А;
- 2) грохотный картофелекопатель-валкоукладчик ВКГ-2;
- 3) машина ЛКГ-1,4 для уборки лука-репки;
- 4) машина МКГ-1,4 для уборки моркови, столовой свеклы, цикория;
- 5) машина ККГ-1,4 для уборки кормовых корнеплодов.

Все машины семейства состоят из двух частей: основной, являющейся единой (общей) для всех машин, и специальной, являющейся оригинальной и включающей набор рабочих органов, компоновка и принцип работы которых определяется специфическими особенностями убираемой культуры. Расчленение машины на две части повышает эффективность использования ее в сельском хозяйстве, так как в этом случае, имея одну основную (унифицированную) часть и набор (комплект) специальных частей, можно быстро переоборудовать машину для уборки различных сельскохозяйственных культур. Иными словами в этом случае машина представляет собой универсальный корнеклубнеуборочный агрегат.

### **МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ЛУКА**

Способы машинной уборки лука можно разделить на два основных: однофазный и двухфазный. Однофазный способ заключается в том, что ботва отделяется от луковиц непосредственно при извлечении их из почвы, а сами луковицы грузятся в транспортные средства.

При двухфазном способе уборки луковицы после извлечения из почвы укладываются в валки на поверхность поля на 10—15 дней для дозревания. Затем лук подбирают из валков и грузят в транспортные средства. Ботва в этом случае может отделяться машиной при подборе или на специальных сортировально-очистительных пунктах.

Обобщение характерных признаков и особенностей схем и конструкций машин для уборки лука позволяет классифицировать их по выполняемому технологическому процессу на два типа: теребильный и подкапывающий.

Машины теребильного типа в нашей стране не получили широкого распространения в связи с тем, что у большинства луковиц некоторых сортотипов ботва (перо) в период уборки полегает или отмирает.

Теребильный метод положен в основу однорядного американского лукоуборочного комбайна, разработанного Калифорнийской опытной станцией и предназначенного для однофазной уборки лука. Для подрезания корневой части луковиц и нарушения связи их с почвой в комбайне имеется подкапывающая лапа, режущее лезвие которой устанавливают под различными углами относительно горизонтальной плоскости: для тяжелых почв этот угол —  $18^\circ$ , для легких песчаных — уменьшается до  $6^\circ$ ; к направлению ряда лезвие лапы расположено под углом  $45^\circ$ . Полеглая ботва поднимается пассивными и вращающимися лопастными ботвоподъемниками.

Луковицы извлекаются из почвы двумя теребильными ремнями круглого сечения, которые прижимаются друг к другу подпружиненными роликами.

Ботва обрезается парой дисковых ножей, установленных непосредственно над теребильными ремнями. Перед обрезкой ботва дополнительно зажимается выводными ремнями, расположенными над обрезавшими ножами.

В Техаском университете (США) создана теребильная лукоуборочная машина, в которой имеется независимая регулировка глубины хода лемеха и высоты расположения приемной части теребильной секции относительно ряда лука. Теребильные ремни этой машины — клиновые, установлены под углом  $30^\circ$ . Вторая пара горизонтальных ремней выполняет роль выравнивающего устройства. Дисковые ножи расположены под теребильными ремнями. Извлеченные из почвы луковицы перемещаются теребильными ремнями до упора в ремни выравнивающего устройства. Ботва обрезается и выносятся теребильными ремнями, а луковицы падают на прутковый поперечный транспортер.

Качественная работа теребильных машин наиболее эффективна на полях, имеющих незначительное количество сорной растительности, строгую прямолинейность строчек и не полеглую ботву луковиц. Так, при тереблении лука, у которого количество луковиц с полеглой ботвой составляет 54—93%, теребильной машиной убирается 63—90%.

Машины подкапывающего типа можно разделить на четыре основные группы: лукоподъемники, подъемники-валкообразователи, копатели-валкоукладчики и универсальные лукоуборочные машины.

Лукоподъемники представляют собой простейшие орудия в виде лап или скоб, рыхлящих грядки и нарушающих связь луковиц с почвой. В результате этой операции облегчается последующая ручная выборка луковиц из почвы. К этой группе относятся подкапывающие скобы, которыми комплектуются свекло-

подъемники СНУ-3Р и СНШ-3. Применение их целесообразно лишь в том случае, когда ручное теребление невозможно без предварительного рыхления почвы из-за большой глубины залегания луковиц и т. п. Производительность труда на выборке луковиц при этом повышается на 18—23% по сравнению с ручной уборкой, а количество повреждений не превышает 1%.

Подъемники-валкообразователи выполняют операции подкапывания и формирования валков без сепарации (машина «Глезер», ГДР) или с частичной сепарацией почвы (дисковый подъемник «Брюннер», США, машина «Рейнольдс», Англия и др.).

Подкапывающее устройство машины «Глезер» включает в себя делитель 1 и два ножа 2 и 3, расположенных по сторонам делителя и выполненных в виде культиваторных лап, к задней кромке которых приварены прутки для отвода выкопанных луковиц в сторону (рис. 6). Луковицы с двух соседних рядов укладываются в один валок. Применение такой машины снижает затраты труда почти на 30%.

Машины, выкапывающие лук и сепарирующие почву, имеют, как правило, активный подкапывающий рабочий орган в виде дискового копача с приводом от вала отбора мощности или от ходового колеса. Роль сепаратора почвы выполняют диски.

Подъемник фирмы Брюннер (США) для выкапывания луковиц из почвы имеет сферический диск, установленный под небольшим углом к горизонтالي (рис. 7). Подкапывающий диск 2, опорное колесо 1 и отводной щиток 3 смонтированы на подвижной рамке 5, шарнирно соединенной с осью ходового колеса и опирающейся в работе на опорное колесо 4. Такое крепление обеспечивает независимое копирование рельефа поля каждым подъемником по всей ширине захвата машины и предотвращает поломки рабочих органов при работе на каменистых почвах.

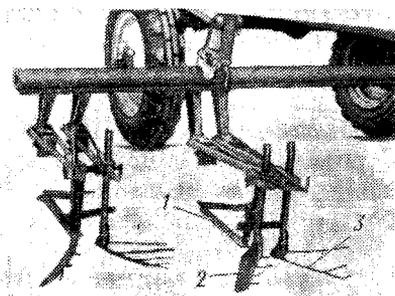


Рис. 6. Подкапывающее устройство машины «Глезер» (ГДР)

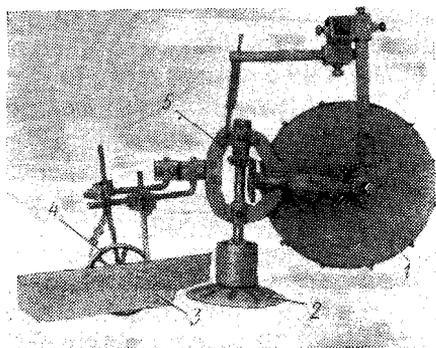


Рис. 7. Подъемные диски фирмы Брюннер (США)

В зависимости от размеров убираемых участков машина может комплектоваться различным количеством подъемников (два — шесть). На базе такого подъемника разработана шестирядная лукоуборочная машина «Рейнольдс» (Англия). Машина навешивается впереди трактора и состоит из двух самостоятельных секций, включающих по три дисковых подъемника. Два диска секции вращаются по направлению часовой стрелки, третий — против, благодаря чему машина, выкапывая одновременно шесть рядов лука, укладывает его в два вала.

Дисковый подъемник машины «Рейнольдс» удовлетворительно работает при глубине подкапывания, не превышающей 3 см. С увеличением глубины до 8 см в валок поступает более 70% почвы, при этом потери составляют 6,8—7,3%, а количество поврежденных луковиц 5,9—11,1%.

В Англии находят применение дисковый подъемник-валкообразователь, выкапывающий лук спаренными дисками, один из которых, подкапывающий 1 установлен вертикально (под некоторым углом к направлению движения машины), второй 2 — под углом 10—12° к горизонтали (рис. 8). По краю наклонного диска

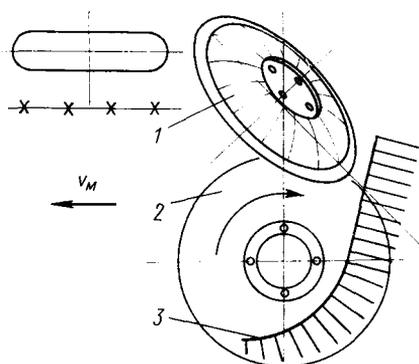


Рис. 8. Схема подъемника-валкообразователя лука (Англия)

расположена колеблющаяся решетка 3, предотвращающая разбрасывание луковиц и выполняющая роль сепарирующего органа. Качественная работа этой машины, как и ранее рассмотренных, возможна лишь при небольшой глубине подкапывания почвы (3—5 см).

К группе копателей-валкоукладчиков относятся специальные лукоуборочные машины, выполняющие ряд технологических операций: выкапывание лука, сепарацию почвы и укладку луковиц в валок.

К этой группе относится копатель фирмы Финиш (Голландия), который представляет собой навесную машину, состоящую из выкапывающего I и сепарирующего агрегатов II (рис. 9).

Выкапывающий агрегат, смонтированный впереди трактора, состоит из выкапывающих дисковых секций, шарнирно установленных на раме, опирающейся в рабочем положении на колеса 2.

Каждая секция состоит из опорного колеса 4 и дискового копа. В зависимости от убираемой культуры диски могут быть решетчатые 1 (для уборки репчатого лука), расположенные под углом к горизонтали, или гладкие, сплошные 3 (для уборки лука-севка), расположенные вертикально, под углом к направле-

нию движения машины. Количество дисковых секций в зависимости от междурядий равно 4—6.

Сепарирующий агрегат представляет собой прутковый транспортер 5, навешиваемый на гидросистему трактора и опирающийся в работе на копирующие колеса 6. Транспортер подбирает луковицы из сформированного выкапывающим агрегатом валка, отделяет почву от луковиц и укладывает их в валок. Отделение почвы вызвано необходимостью создания наиболее благоприят-

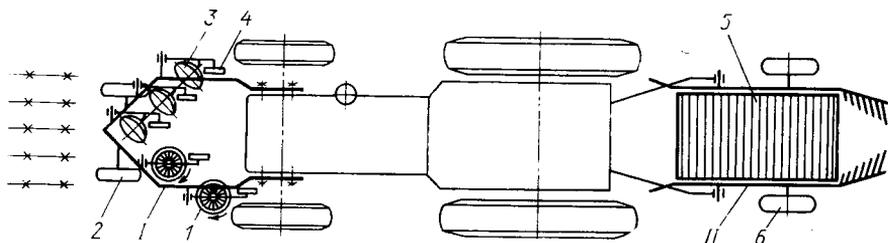


Рис. 9. Схема копателя лука фирмы Финиш (Голландия)

ных условий процесса созревания луковиц в период их сушки в валках.

Подборщики возникли в связи с механизацией последующих операций уборки лука: подбора луковиц из валков и погрузки их в тару или транспортные средства. В первом подборщике, разработанном фирмой Брюннер, в качестве подбирающего органа использован вращающийся диск, установленный под углом 15—18° к плоскости поля. Сепарация почвы осуществляется прутковым транспортером, а отделение ботвы — вальцовым очистителем.

Универсальные лукоуборочные машины предназначены для выполнения всех технологических процессов уборки: выкапывания и укладки лука в валки, подбора из валков и погрузки луковиц в транспортные средства. Использование этих машин на разных уборочных операциях обеспечивается наличием сменных рабочих органов.

В нашей стране для уборки лука была создана навесная на самоходное шасси мощностью 20 л. с. универсальная лукоуборочная машина УЛШ-2М. В качестве подкапывающего рабочего органа этой машины использованы спаренные вращающиеся диски. За дисками расположены продольный и поперечный сепарирующие транспортеры. Для укладки выкопанных луковиц в валок на раме поперечного транспортера установлен распределительный транспортер, а для подбора валков лука — скребковый грузочный элеватор.

Машина УЛШ-2М не получила широкого распространения в связи с тем, что она не удовлетворяла возросшим требованиям специализированных лукосеющих хозяйств страны по производи-

тельности (0,15—0,20 га/ч), допускала большие потери луковиц (5,5—11,6%) и не обеспечивала уборку лука, посаженного на грядках. Тем не менее ряд ее достоинств (возможность использования на выкапывании и укладке лука в валок, подборе и погрузке луковиц в транспортные средства) был использован при разработке схемы и конструкции универсальной четырехрядной лукоуборочной машины ЛКГ-1,4 (рис. 10).

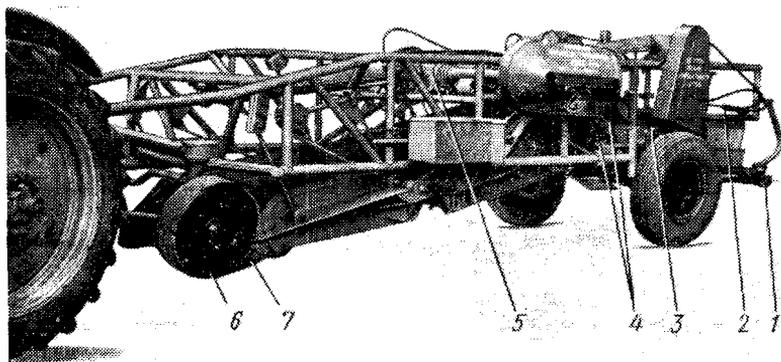


Рис. 10. Универсальная лукоуборочная машина ЛКГ-1,4:

1 — отводной транспортер; 2 — гидросистема; 3 — гиращионный грохот; 4 — комкодавитель; 5 — механизм привода; 6 — опорные колеса; 7 — колеблющийся двухрешетный грохот с лемехом

Машина ЛКГ-1,4 используется при уборке лука, посаженного на ровной и гребневой поверхности или на грядках. Полунавесной способ агрегатирования машины обеспечивает наиболее стабильную глубину подкапывания, что является решающим фактором при подкапывании тонкого (5—8 см) слоя почвы.

К основным узлам машины относятся: опорные колеса, двухрешетный грохот с лемехом, подвесками и эксцентриковым валом, комкодавитель, гиращионный грохот, поперечный отводной транспортер и загрузочный элеватор.

Двухрешетный качающийся грохот, подкапывающий слой почвы вместе с луковицами, сепарирующий почву и транспортирующий материал, состоит из двух последовательно установленных качающихся коробов с частотой колебаний в пределах 444—600 в минуту. Комкодавитель — пневматический, двухбаллонный. Давление воздуха в верхнем и нижнем баллонах составляет соответственно 0,1—0,15 и 0,2—0,5 ат. С целью более эффективной работы комкодавителя нижний баллон имеет большую частоту вращения (168 об/мин), чем верхний (148 об/мин).

В качестве дополнительного сепарирующего органа использован гиращионный грохот, короб которого по краям опирается на цилиндрические пружины, а в средней части на корпуса подшип-

ников эксцентрикового вала. При вращении вала средняя часть короба описывает круговые движения с радиусом 5 мм, а концы — по эллиптической траектории.

Поперечный отводной транспортер — прутковый, снабжен валкоформирующими решетками. Ведущий вал имеет кулачковую полумуфту, которая может войти в зацепление с полумуфтой постоянного вращения, благодаря чему транспортер включается в рабочее положение. Транспортер навешивают на раму машины с помощью подвесок. Передние подвески соединены со штоками двух гидроцилиндров и имеют гибкую связь с валкоформирующими решетками, которые при отведении транспортера назад устанавливаются за гирационным грохотом, а при установке транспортера в переднее положение поднимаются и заходят под гирационный грохот.

Загрузочный элеватор — скребковый, верхняя часть его с помощью гидроцилиндров может изменять угол наклона, обеспечивая удобный подъезд и равномерную загрузку транспортных средств. Элеватор является сменным рабочим органом и устанавливается только при подборе луковиц из валков.

Машина ЛКГ-1,4 работает следующим образом: при движении лемех срезает пласт земли вместе с луком и подает его на решетку грохота, где комки почвы разрушаются и основная ее масса просеивается. Оставшаяся масса поступает к комкодавителью, которым разрушаются малопрочные почвенные комки. Образованная при этом почва просеивается и окончательно отделяется от лука на решетке гирационного грохота, а луковицы укладываются в валки на поверхность поля.

При первом заезде транспортер отводят назад и лук, падая на решетки, укладывается в валок за машиной. Следующий заезд машины осуществляется с включенным отводным транспортером, при этом лук поступает на отводной транспортер и укладывается в сформированный предыдущим заездом валок.

Работа машины на подборе лука аналогична ее работе на выкапывании. Подбираемая масса подается загрузочным элеватором в рядом идущие транспортные средства.

Машина ЛКГ-1,4 может использоваться при уборке моркови на технические цели. Для этого на основном лемехе устанавливают выжимные вилки.

Лукоуборочная машина имеет высокие эксплуатационные показатели:

Производительность за час чистой работы в га:	
при выкапывании . . . . .	0,67—0,73
при подборе валков . . . . .	0,66—0,82
Коэффициент надежности . . . . .	0,92—0,99
Коэффициент надежности технологического процесса:	
выкапывания . . . . .	0,88
подбора валков . . . . .	0,99

Качество работы машины удовлетворяет основным агротехническим требованиям: в тару собирается 94—99,9% луковиц; повреждения не превышают 3%, а потери колеблются в пределах 0,91—3,7%, при этом количество свободной почвы в ворохе составляет 1,2—23,7%.

При уборке моркови в тару поступает 89,5% корнеплодов, потери (главным образом, нестандартные корнеплоды) колеблются в пределах 2,3—23,7%; количество почвы, поступающей вместе с морковью, составляет 2,3—8,6%.

Прототипом универсальной лукоуборочной машины «Брюннер-5А», США (рис. 11) явился рассмотренный ранее подборщик. В этой машине луковицы в зависимости от характера и условий работы могут подбираться двумя вращающимися навстречу друг другу дисками или непосредственно полотном пруткового транспортера и битером-подавателем. Почва сепарируется на прутковом транспортере, а ботва отделяется от луковиц на очистительном столе. Оставшиеся примеси удаляют вручную на поперечном транспортере, а луковицы закладывают в мешки или ящики. Сменные рабочие органы машины позволяют использовать ее не

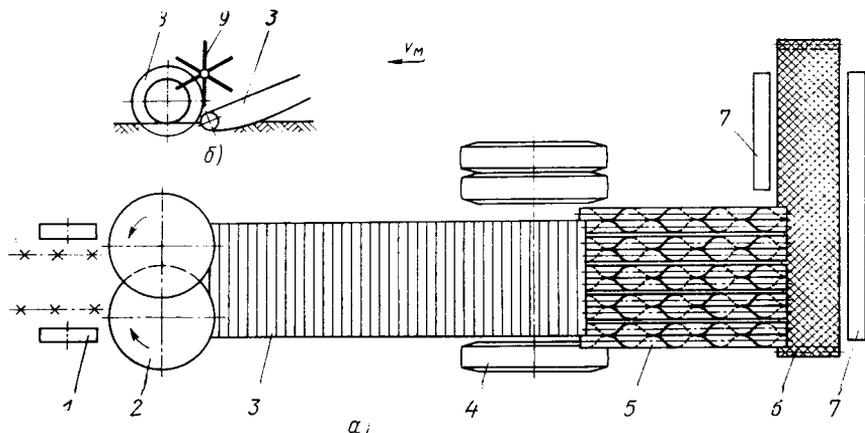


Рис. 11. Схема универсальной лукоуборочной машины «Брюннер-5А»:

*a* и *б* — варианты установки дискового подборщика и битера-подавателя; 1 — опорные колеса; 2 — дисковый подкапывающий рабочий орган; 3 — сепарирующий транспортер; 4 — ходовые колеса; 5 — вальцовый очистительный стол; 6 — сетчатый поперечный переборочный стол; 7 — площадки для подсобных рабочих; 8 — вертикальные диски-копиры; 9 — битер-подаватель

только на уборке репчатого лука, но также на подборе моркови и свеклы из валков. Привод рабочих органов осуществляется от собственного двигателя мощностью 26 л. с.

В США для уборки лука используют также двухрядную прицепную машину, в которой, в отличие от машины «Брюннер-5А», ботва отделяется специальным механизмом обрезки, представляющим собой режущий аппарат косилочного типа. Ориентация

луковиц перед обрезкой ботвы осуществляется воздушным потоком от вентилятора.

Венгерская лукоборочная машина НБ (рис. 12) в качестве подкапывающего рабочего органа имеет два диска 1 и 2, расположенных под углом  $17^\circ$  к плоскости поля, с некоторым перекрытием одного диска другим (диаметр дисков 800 мм, а межцентровое расстояние — 640 мм). Для сепарации почвы используется

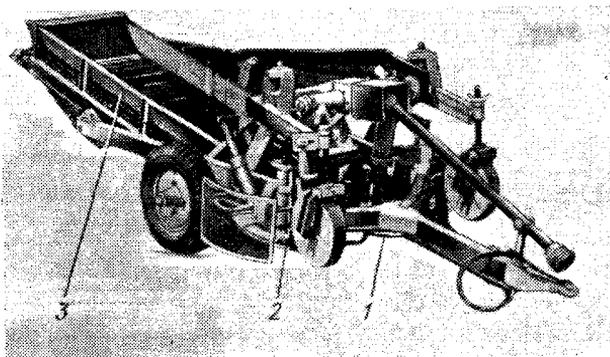


Рис. 12. Венгерская машина НБ для уборки лука

прутковый транспортер 3, за которым располагается валкоформирующий скатный лоток. При подборе валков лука за транспортером устанавливаются загрузочный планчатый транспортер с опорным колесом. Машина — полунавесная, глубина подкапывания регулируется выносным гидроцилиндром.

Голландской фирмой Финиш для уборки лука при различных почвенных условиях разработаны две лукоборочные машины. Для легких почв рекомендуется полунавесной копатель-подборщик, выпускаемый в двух модификациях; с устройством для упаковки луковиц в мешки или ящики и с устройством для загрузки лука в транспортные средства. Основные рабочие органы машины — двухсекционный лемех, основной и каскадный прутковые транспортеры и загрузочный элеватор.

Для работы на более тяжелых почвах используется универсальная прицепная лукоборочная машина (рис. 13), в которой кроме пруткового транспортера 2, установлен подъемный лопастной транспортер 3 и гириционный грохот 4, размещенный поперек машины. Длина решета грохота 2800 мм, а ширина 1050 мм. Слой почвы с луковицами подкапывается пассивным лемехом 1, основная часть почвы отделяется на прутковом транспортере, а затем на гириционном грохоте. Луковицы можно упаковывать в мешки (для чего на машине имеются мешкодержатели 5), а при установленном выгрузном транспортере подавать в транспортные

средства. При подборе валков лука лемех снимают и луковичи забираются приемной частью пруткового транспортера.

Наряду со специальными машинами для уборки лука применяются картофелеуборочные комбайны. Чаще всего они используются в качестве подборщика лука из валков. В целях универсализации комбайнов в одних случаях к ним прилагаются раз-

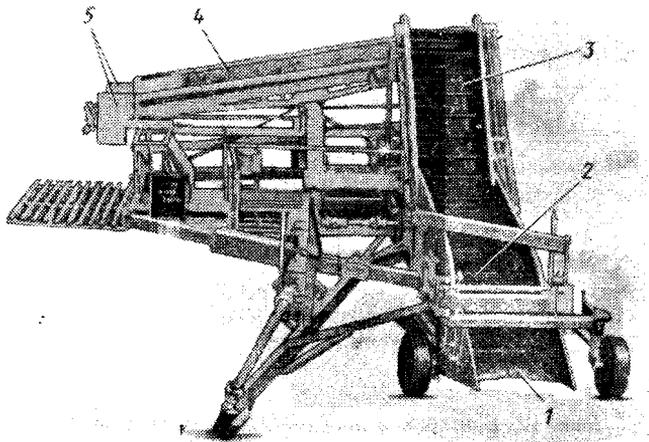


Рис. 13. Универсальная лукоуборочная машина фирмы Финиш

личные приспособления (битер комбайна «Витсед джуниор», Англия), в других — в них используются универсальные рабочие органы (диски комбайна Е-665, ГДР), в третьих — выпускаются модификации этих машин, которые удовлетворяют агротехническим требованиям уборки как картофеля, так и лука (грохотная модификация комбайна ККУ-2, СССР).

### **МАШИНЫ ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЛУКА**

Послеуборочная обработка лука включает следующие основные операции: очистку от примесей, отделение ботвы, сортирование и упаковывание лукович. Для выполнения этих операций разработаны стационарные комплексы машин. В зависимости от набора машин комплексы могут выполнять только основные послеуборочные операции (стационарные пункты послеуборочной обработки) или механизировать как основные, так и вспомогательные операции, начиная от приема материала и кончая закладкой готового продукта в контейнеры, мешки, ящики или транспортные средства (поточные линии).

В нашей стране для переработки лука применяется стационарный пункт, состоящий из приемного бункера ПБ-2, очистителя лука ЛПС-6 и сортировки СЛС-7. Эти машины обеспечивают механизацию основных технологических операций (очистку и сортирование) при сухой ботве лука. Производительность пункта 4—6 т/ч.

К стационарным относится пункт «Ла супер монда бульби» (Италия) для обработки лука, состоящий из транспортеров загрузки 2 с приемным устройством 1, ботвоотделяющего устройства 3 и грохотной однорешетной сортировки 4 (рис. 14).

Технологический процесс работы этого пункта состоит в следующем: луковицы подаются транспортером на ботвоудаляющее устройство, где ботва отрывается пневматическими баллонами, а луковицы ворошильными пальчатыми валами продвигаются на решето сортировки.

Аналогичные пункты применяются для обработки лука в США. Здесь ботва отделяется только у продовольственной фракции лука, поэтому сортировку устанавливают перед ботвоотделяющим устройством. Обрабатываемый лук поступает в приемную часть загрузочного транспортера, полотном которого луковицы подаются на роликовую сортирующую поверхность, где отделяется мелкая фракция, а продовольственный лук подвергается воздействию резиновых хлыстов быстровращающихся

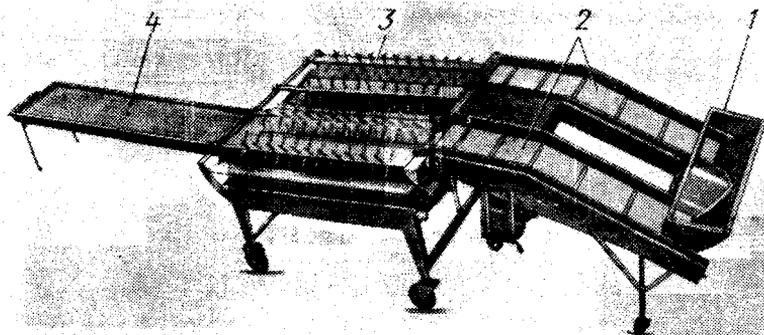


Рис. 14. Пункт «Ла супер монда бульби» для обработки лука

валков. Далее масса поступает на переборочный стол, где вручную выбирают различные примеси и поврежденные луковицы, а очищенный лук подают в контейнеры.

Из пунктов послеуборочной обработки лука наибольший интерес представляет пункт Б-902, ГДР (рис. 15), на котором выполняется очистка, сортировка и упаковка предварительно просушенного лука при помощи следующего набора машин.

Очистительно-переборочный грохот Б-903 удаляет землю, мелкие камни, а также отделившуюся шелуху лука. Больные луковицы выбирают вручную.

Погрузочный транспортер Б-906 обеспечивает подачу лука к очистительной машине.

Очистительная машина Б-907, состоящая из десяти профилированных (со спиральным выступом) резиновых валиков и прижимных металлических валиков с пружинами, очищает лук (уда-

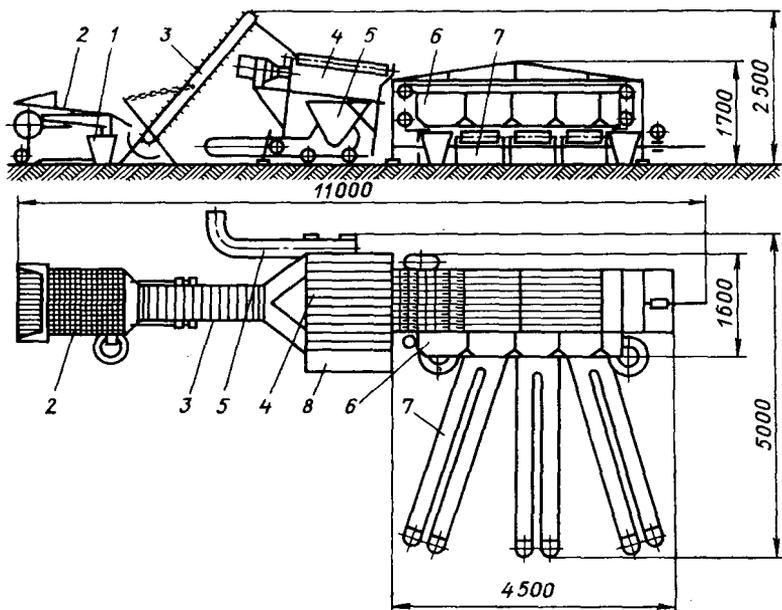


Рис. 15. Пункт Б-902 послеуборочной обработки лука:

1 — тара для отходов; 2 — грохот предварительного отделения примесей; 3 — загрузочный транспортер; 4 — валиковый очиститель; 5 — вентилятор; 6 — сортировщик; 7 — переборочные транспортеры; 8 — площадка пульта управления

ляются корни, шелуха, перо) и транспортируют луковицы к сортировочной машине. Приводные резиновые валики снабжены конусными муфтами.

Вентилятор удаляет отходы из очистительной машины.

Сортировочная машина Б-908 делит лук на фракции размером: меньше 20, 20—30, 30—50, 50—70 и более 70 мм. Машина имеет одиннадцать расположенных одна возле другой деревянных планок, образующих десять щелей. Планки имеют переменное сечение, благодаря чему зазор между ними постепенно увеличивается по направлению технологического процесса. Луковицы перемещаются вдоль щели при помощи крюков (пальцев), проходящих под планками пружинного транспортера, и делителя-

ми, расположенными на наклонной поверхности скатной доски, сортируются на фракции.

На трех переборочных ленточных транспортерах Б-909, установленных справа от сортировочной машины, вручную отбирают примеси и большие луковицы. Каждый переборочный транспортер имеет устройство для крепления двух мешков.

Все машины работают от электродвигателей и управляются с центрального пульта. Одновременно с площадки центрального пульта осуществляется наблюдение за работой всего пункта.

Пункт может поставляться в трех исполнениях (табл. 14). Техническая характеристика пункта дана в табл. 15.

Таблица 14

Варианты комплекта пункта Б-902

Исполнение	Машина, входящая в комплект					
	Б-903	Б-906	Б-907	Б-908	Б-909	Вентилятор
Б-902 . . . . .	+	+	+	+	+	+
Б-902/1 . . . . .	+	+	+	—	—	—
Б-902/2 . . . . .	—	+	—	+	+	—

Таблица 15

Техническая характеристика машин пункта

Показатель	Б-903	Б-906	Б-907	Б-908	Б-909
Производительность в т/ч	—	5	1,5—2	2,5	—
Ширина ячеек в мм . . . . .	25	—	—	—	—
Мощность электродвигателя в кВт . . . . .	0,4	0,4	4	0,8	0,4
Количество подсобных рабочих . . . . .	1—2	—	2	—	До 9
Линейная скорость ленты в м/с . . . . .	—	—	—	—	0,1
Масса в кг . . . . .	120	220	1150	700	190

Стационарный пункт «ВАРИ-МАН» (Венгрия) послеуборочной обработки лука (рис. 16) предназначен не только для обработки лука, но также может использоваться для обработки огурцов, перца, томатов и персиков. Пункт состоит из ящикоопрокидывателя 1, переборочного стола 2 для ручного отбора примесей и нестандартных плодов, наклонного транспортера 3 для рассредоточения и равномерной последующей подачи массы, ботвоочистительной платформы 4 из обрешиненных валиков, спаренных с металлическими (по типу очистительной машины Б-907), и сор-

тировки 5 ленточного типа. При переработке огурцов ботвоочистительную платформу удаляют из пункта, а при переработке томатов и фруктов в пункт дополнительно включают: щеточную мойку, калибровочную машину и погрузчик для погрузки наполненных ящиков в транспортные средства и доставки пустых ящиков к месту упаковки.

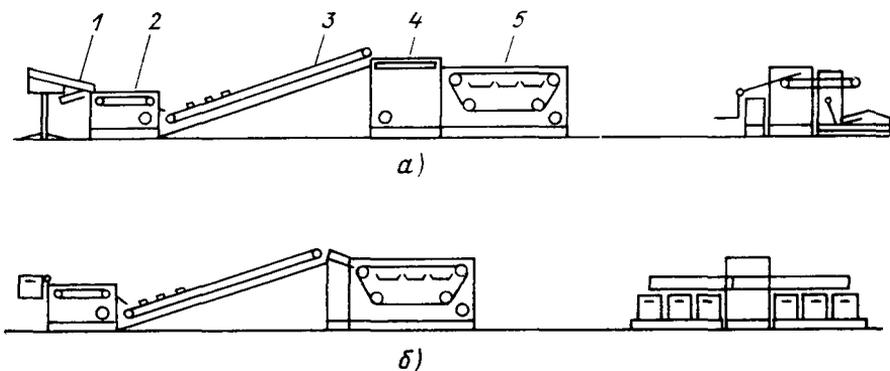


Рис. 16. Пункт «ВАРИ-МАН»:

*а* — вариант для переработки лука; *б* — вариант для переработки огурцов

Производительность такого пункта достигает 3 т/ч; обслуживают его в зависимости от вида работ 5—20 человек; потребная мощность не превышает 4 кВт.

К недостаткам описанных пунктов следует отнести отсутствие накопителей и средств, обеспечивающих равномерную загрузку пункта, устройств для выноса выделенных примесей и загрузки в тару готовой продукции.

Поточные сортировально-очистительные линии лишены недостатков, которые присущи пунктам послеуборочной обработки.

Поточная линия ПМЛ-6 для обработки репчатого лука (рис. 17) разработана с учетом механизации не только основных, но и всех вспомогательных процессов послеуборочной обработки. Очищенный лук может загружаться в мешки, ящики, контейнеры, а также в транспортные средства. Два типа очистителей (баранной и вальцовый) обеспечивают высокое качество обработки луковиц независимо от состояния ботвы и сорта лука.

Линия состоит из следующих машин:

шести приемных бункеров ПБ-2, два из которых, установленные последовательно в начале линии, обеспечивают прием материала от двух транспортных средств;

грохотного очистителя ОГЛ-6 с загрузочным лопастным транспортером;

трех переборочных столов ПСЛ-6, выполненных в виде ленточных транспортеров с тремя ручьями;

лукоотминочной машины ЛПС-6 барабанного типа;

вальцового очистителя лука ОВЛ-6, состоящего из шести пар валиков;  
 сортировки лука СЛС-7 грохотного типа с параллельным расположением решет;  
 системы транспортеров СТХ-30, включающей шесть ленточных транспортеров;  
 двух транспортеров-погрузчиков ТП-30 лопастного типа.

Обслуживают линию 10—15 человек, обеспечивая при этом переработку 5 т/ч лука. Общая масса составляющих линию машин — 11600 кг, занимаемая линией площадь 784 м<sup>2</sup> (28×28 м). Привод всех машин осуществляется от индивидуальных электродвигателей, суммарная мощность которых составляет 40 кВт.

Поточная линия ПМЛ-6 выполняет следующий технологический процесс. Доставленный с поля лук выгружается в приемные бункеры и подается к грохотному очистителю, решетом которого отделяются мелкие частицы почвы, свободная ботва, растительные остатки и другие примеси. Оставшаяся масса поступает на

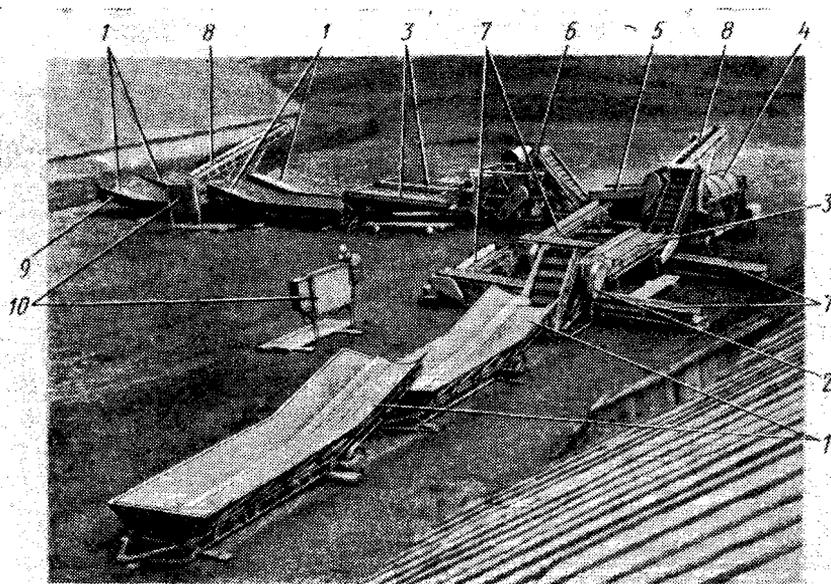


Рис. 17. Поточная линия ПМЛ-6 послеуборочной обработки лука:

1 — приемный бункер ПБ-2; 2 — гирационный грохот ОГЛ-6; 3 — переборочные столы ПСЛ-6; 4 — лукоотминочная машина ЛПС-6; 5 — вальцовый очиститель ОВЛ-6; 6 — сортировка СЛС-7; 7 — транспортеры удаления примесей; 8 — транспортеры-погрузчики ТП-30; 9 — переносной транспортер; 10 — щит управления

переборочный стол, где подсобные рабочие отбирают крупные почвенные комки и другие примеси. Лук подается в барабан отминочной машины ЛПС-6, где высохшая ботва отделяется от луковиц и выдувается потоком воздуха, в луковицы, попав на

поверхность вальцового очистителя, окончательно очищаются и поступают на сортирование. Разделенный на две фракции лук сосредотачивается в бункерах-копильниках и оттуда транспортером-погрузчиком загружается в транспортные средства. Выделенные в процессе переработки лука примеси с помощью ленточных транспортеров подаются к погрузочному транспортеру, загружаются в транспортные тележки и отводятся в поле.

Качество работы поточной линии ПМЛ-6 характеризуется следующими показателями: при содержании в исходном материале 76,5% лука, 22,3% примесей почвы, 1,2% ботвы лука влажностью 27,8% и длиной 24 см линия обеспечивает полный отбор

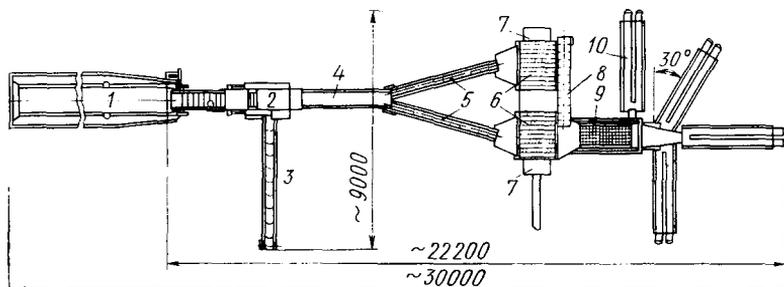


Рис. 18. Линия ВЦ 01 послеуборочной обработки лука:

1 — приемный бункер; 2 — отделитель примесей грохотного типа с загрузочным транспортером; 3 и 7 — транспортеры удаления примесей; 4 и 10 — переборочные столы; 5 — лопастные загрузочные транспортеры; 6 — вальцовый ботвоотделитель; 8 — промежуточный транспортер; 9 — сортировка

примесей почвы и растительных остатков, отделение ботвы у более чем 90% луковиц, общие потери при этом не превышают 6%. Линия позволяет обработать за восьмичасовой рабочий день до 25 т лука.

Поточная линия ВЦ 01 (ГДР) послеуборочной обработки лука (рис. 18) разработана на базе пункта Б-902. Линия комплектуется следующими машинами:

- приемный бункер Т 237 вместимостью 3—5 т лука;
- отделитель Е 640 (или Е 641) мелких частиц почвы, свободной ботвы и других примесей;
- транспортер Т 260 для выноса примесей из отделителя;
- переборочный стол для отделения больных и поврежденных луковиц;
- два лопастных транспортера Т 259;
- два ботвоотделителя Б 907 вальцового типа;
- двухрешетная грохотная сортировка ВЦ 01;
- четыре трехручьевых переборочных стола Б 909.

Технологический процесс линии осуществляется в такой же последовательности, как перечислены машины. Перед ботвоотделителем обрабатываемый материал разделяется на два потока и параллельно очищается на двух ботвоотделителях. Подача ма-

териала на переработку может регулироваться в пределах 1,7—17 т/ч изменением скорости полотна приемного бункера. Линию обслуживают 12—18 человек, максимальная производительность ее составляет 3,5—4,0 т/ч лука. Готовая продукция может быть загружена только в мешки (для этой цели на переборочных транспортерах установлены мешкодержатели).

Наряду с поточными линиями полевой обработки лука сейчас находят применение стационарные поточные линии промышленной переработки лука. Такие линии располагаются в специальных помещениях. Они оснащены устройствами, обеспечивающими автоматизацию управления технологическим процессом, особенно таких операций как сушка и т. п. На линиях промышленной переработки выполняются не только все операции послеуборочной обработки лука, но также и очистка луковиц от верхних чешуй, измельчение, сушка и упаковка. В качестве примера можно привести линию голландской фирмы Финиш (рис. 19).

В соответствии с выполняемыми операциями линия комплектуется следующими агрегатами: бункер-дозатор, сушильно-очистительная машина, роликовый переборочный стол, сортировальная машина, распределительный стол, машина для обрезки ботвы и корневой системы луковицы, машина для снятия верхних защитных чешуй, машина для резки и измельчения луковиц, сушильная камера, машина для упаковки сушеного лука и набор подъемных, загрузочных транспортеров.

Линия перерабатывает свыше 1 т/ч лука.

### **МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ СТОЛОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ**

Работы по созданию корнеплодоуборочных машин ведутся по двум направлениям, определяемым двумя различными способами уборки:

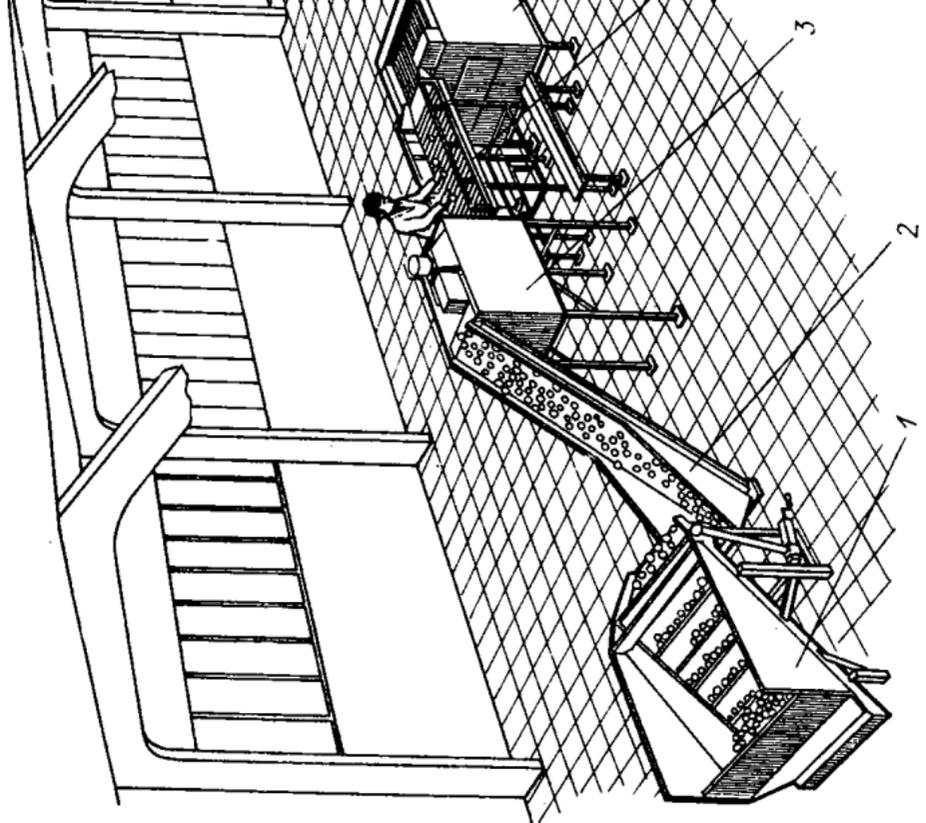
1) извлечение корнеплодов из почвы за ботву с последующим отделением ботвы и почвенных примесей;

2) обрезка ботвы корнеплодов до извлечения из почвы, последующее выкапывание их и очистка от почвенных и растительных примесей.

По первому способу работают машины теребильного типа, по второму — подкапывающего.

#### **Машины теребильного типа**

Машина теребильного типа впервые была создана в нашей стране. Уже в 1933 г. для сравнительных испытаний свеклоуборочных машин были представлены три машины теребильного типа, в том числе комбайн В. А. Коренькова. Работы по созданию машин для уборки столовых корнеплодов в Советском Союзе начаты в 1950 г.



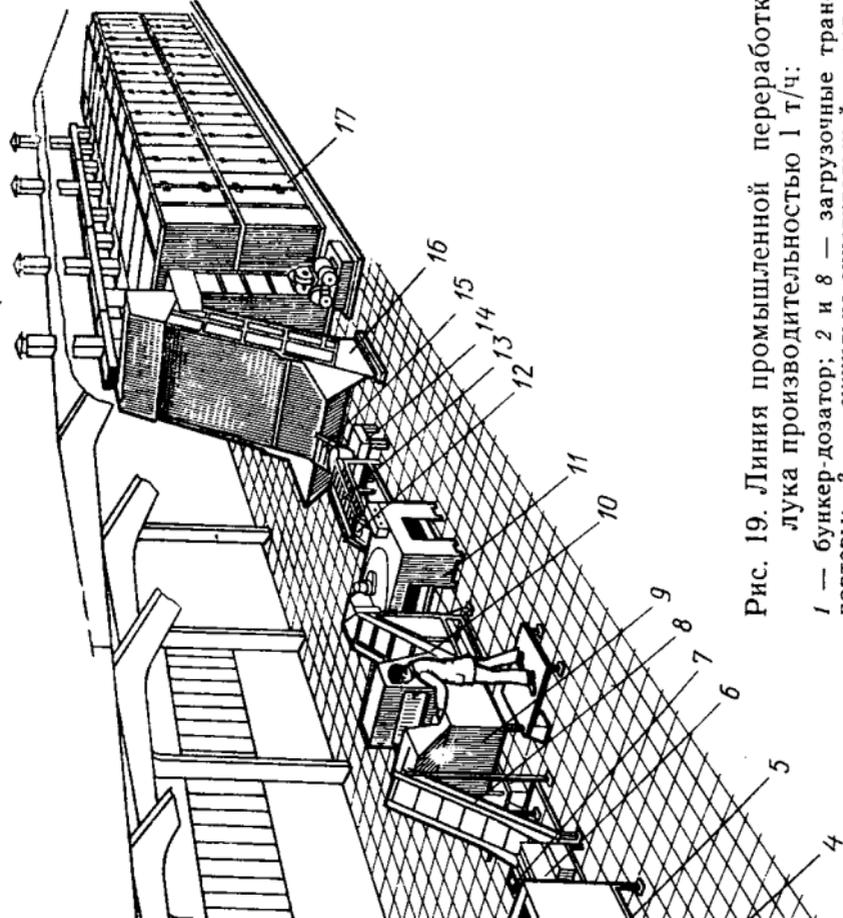


Рис. 19. Линия промышленной переработки лука производительностью 1 т/ч:

1 — бункер-дозатор; 2 и 8 — загрузочные транспортеры; 3 — сушильно-очистительный агрегат; 4 и 13 — переборочные столы; 5 — сортировка; 6 — распределительный стол; 7 — отсеивающее устройство; 9 — машина для отделения ботвы и корней; 10 — дозирующий транспортер; 11 — машина для снятия верхних защитных чешуй; 12 — соединительный транспортер; 14 — машина для резки и измельчения лукович; 15 — подающий транспортер; 16 — сушильная камера загрузки; 17 — сушильная камера

С 1959 по 1966 гг. ВИСХОМом совместно с Государственным специализированным конструкторско-технологическим бюро по механизации овощеводства (ГСКТБО) и Научно-исследовательским институтом овощного хозяйства (НИИОХ) проводилась работа по созданию однорядной навесной на самоходное шасси Т-16 машины УКШ-1 теребильного типа для уборки столовых корнеплодов. В течение этого периода все рабочие органы машины (ботвоподъемники, теребильный и выравнивающий аппараты и др.) подвергались неоднократной переработке. Машина УКШ-1 образца 1966 г. (рис. 20) состоит из следующих основных узлов: подкапывающей лапы 2, шарнирно установленных прутковых ботвоподъемников 1, теребильного аппарата 3, выравнивающего аппарата 4 с дисковым ножом, ботвоотводящего устройства 5, механизма подъема и загрузочного транспортера 6.

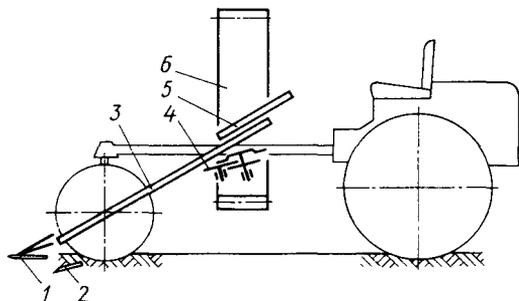


Рис. 20. Схема машины УКШ-1 для уборки столовых корнеплодов

Теребильный аппарат состоит из двух бесконечных втулочно-роликовых цепей с шагом 19,05 мм. Пластины цепи имеют ушки, к которым крепят планки из прорезиненного ремня. Усилие, необходимое для зажатия ботвы между теребильными цепями, создается с помощью прижимных звездочек.

Выравнивающий аппарат (см. рис. 29) состоит из захватывающего и нажимного дисков с зубьями специальной формы, способствующими лучшему разделению ботвы на отдельные пучки и подаче ее к дисковому ножу для обрезки.

За рубежом первая теребильная машина, разработанная фирмой Скотт Вайнер (США), появилась в 1937 г. В дальнейшем на ее базе был создан однорядный прицепной комбайн «Скотт Арчел» для уборки столовых корнеплодов. Принципиальная схема его является общей для всех машин теребильного типа, имеющих следующие рабочие органы: ботвоподъемники, подкапывающую лапу, теребильный и выравнивающий аппараты и нож для обрезки ботвы.

Теребильный аппарат комбайна состоял из двух бесконечных клиновых ремней с зубчатой наружной поверхностью, выравнивающий — из двух параллельных подпружиненных планок, установленных под углом к теребильному аппарату.

Как показали испытания, проведенные в 1959 г. на Украинской машиноиспытательной станции, планчатый выравнивающий аппарат не обеспечивал удовлетворительного качества обрезки ботвы. Из-за сил трения, действующих на головку корнеплода

при скольжении по нижней поверхности планок, до 90% корней имели косой срез; по этой же причине происходило сгруживание корней в аппарате и его забивание.

С 1961 г. международная корпорация FMC выпускает новую модификацию комбайна «Скотт Арчел» (рис. 21), состоящего из дисковых ножей 1, ботвоподъемников 2, подкапывающей лапы 3, теребильного аппарата 4, роторного аппарата для отделения ботвы 5, пруткового элеватора 6 и загрузочного транспортера 7.

Аппарат для отделения ботвы — роторного типа, состоит из 12 изогнутых планок, собранных по шесть в двух соседних дисках. Диски с планками вращаются навстречу друг другу, в результате чего корнеплоды подтягиваются до упора головками

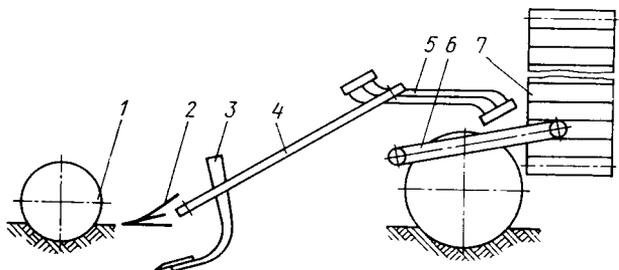


Рис. 21. Схема комбайна «Скотт Арчел» для уборки моркови и столовой свеклы

в планки и ботва обламывается. Вследствие наклонного положения дисков планки совершают сложные пространственные перемещения и кроме подтягивания осуществляют транспортирование корнеплодов вдоль поверхности выравнивания. После отделения ботва сбрасывается на поверхность поля, а корнеплоды падают на элеватор и подаются в рядом идущие транспортные средства или на переборочный стол и к устройству для упаковки.

Аналогичные рабочие органы и подобную технологическую схему имеют комбайны EM-11 (ГДР), CLR-1 (СРР) и «Девульф» (Бельгия).

Национальным институтом сельскохозяйственной техники (Англия) разработана универсальная овощеуборочная машина, состоящая из универсальной рамы с механизмами передач, общими для уборки различных культур, и комплекта сменных специальных рабочих органов, предназначенных для уборки той или иной культуры.

Универсальная рама с механизмами передач (рис. 22) представляет собой полый брус, навешенный сзади трактора и установленный в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения машины. С левой по ходу трактора стороны брус простирается над убираемым рядом.

К общей универсальной части машины относится также дисковый копач с механизмом привода дисков.

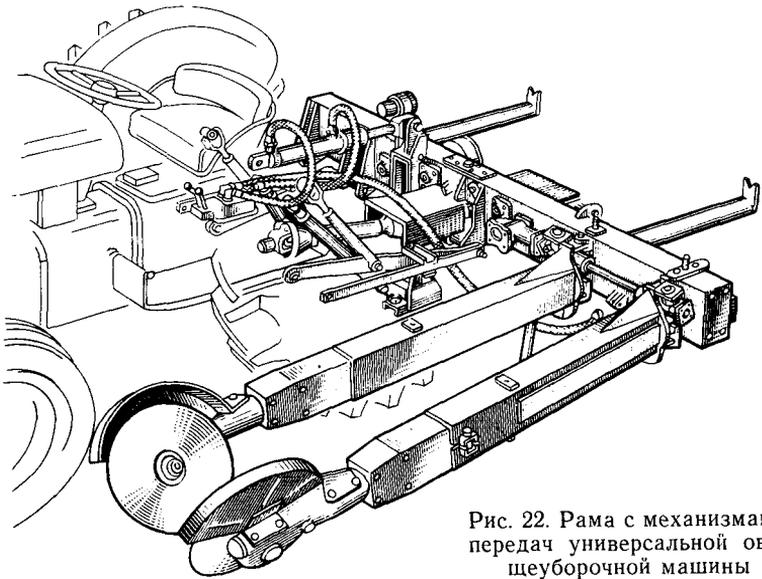


Рис. 22. Рама с механизмами передач универсальной овощеуборочной машины

Для уборки моркови угол между дисками берут в пределах  $60-70^\circ$ , диаметр дисков — 560 мм, а на основную раму устанавливают теревильный аппарат и поперечный валиковый очиститель (рис. 23).

Технологический процесс уборки моркови следующий. Подкопанные дисками 1 корнеплоды извлекаются из почвы теревильными ремнями 2, покрытыми мягкой резиной, и подаются в ботвоудаляющий аппарат 3. Последний состоит из двух валиков: приводного, снабженного по всей длине винтовым выступом, и пассивного, гладкого. При вращении валиков корнеплоды за ботву подтягиваются до упора головкой в поверхность валиков, после чего ботва обрывается винтовым выступом и по скатному лотку 4

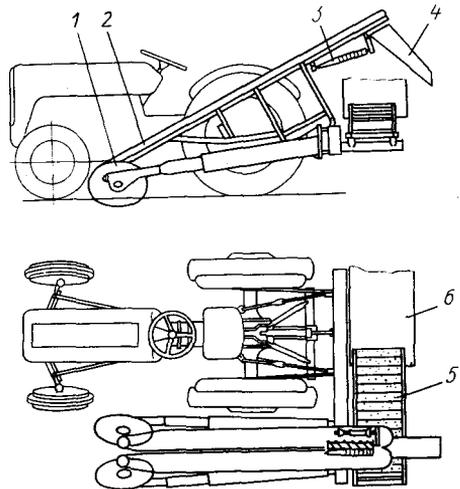


Рис. 23. Схема универсальной овощеуборочной машины с рабочими органами, предназначенными для уборки моркови

сходит на поверхность поля. Корни моркови падают на валиковый очиститель 5, на котором освобождаются от почвы, затем транспортером 6 подаются в транспортное средство или в уст-

ройство для упаковки в мешки. Производительность машины — 4—6 т/ч.

Процесс уборки столовой свеклы, репы и других мелкосидящих в почве корнеплодов протекает аналогично рассмотренному, только угол раствора дисков увеличивается до  $140^\circ$ .

Общим недостатком машин теребильного типа является то, что качество их работы в значительной степени зависит от состояния ботвы корнеплодов, схемы посева, засоренности поля и других факторов. Достаточная полнота извлечения корнеплодов, особенно, моркови, обеспечивается только на участках с хорошо развитой и неполегшей ботвой. При широкополосном и двухстрочном размещении по схемам  $62 + 8$  см и  $50 + 20$  см морковь не поддается качественному тереблению даже при хорошем состоянии ботвы. В машинах теребильного типа далеко не в полной мере решена также проблема качественной обрезки ботвы. В первую очередь это относится к уборке моркови. Ботва рядом стоящих корнеплодов переплетается и после извлечения их из почвы в таком виде подается к выравнивающему аппарату. Переплетенная ботва мешает выровнять головки корнеплодов по высоте перед обрезкой, т. е. поднять одни корнеплоды и опустить другие. Попытки рассредоточить корнеплоды для поштучной подачи в выравнивающий аппарат не завершились до настоящего времени приемлемым конструктивным решением.

Указанные особенности не позволяют рассматривать теребильные машины как единственно приемлемое средство механизации уборки столовых корнеплодов и обуславливают наличие машин подкапывающего типа. Поскольку в хозяйствах с небольшими площадями посевов под столовыми корнеплодами нерентабельно иметь машины обоих типов, ирландская фирма Ирришуге компани, выпускающая машину теребильного типа «Армер», разработала к ней специальное сменное приспособление для выкапывания корнеплодов.

Машина предназначена для уборки моркови, столовой свеклы, турнепса, лука и других корнеплодов. В конце уборочного сезона, когда ботва корнеплодов начинает отмирать или полегает, вместо теребильного аппарата устанавливают прутковый элеватор с выжимными лемешковыми копачами и ограничивающими дисками (рис. 24).

В настоящее время во многих странах наибольшее распространение имеют машины с обрезкой ботвы на корню. Однако в последние годы машины теребильного типа начинают приобретать все большее признание, так как имеют ряд серьезных преимуществ перед машинами с обрезкой ботвы на корню.

Во-первых, при работе машин теребильного типа более просто решается проблема очистки корнеплодов от почвенных комков, камней и других механических примесей. Это делает их перспективными для уборки столовых корнеплодов на почвах с высокой твердостью и засоренных камнями. Твердые почвенные комки и

камни не только трудно отделяются на сепарирующих рабочих органах машин с обрезкой ботвы на корню, но и наносят корнеплодам при совместном передвижении в машине значительные повреждения. При тереблении корнеплодов за ботву камни и твердые почвенные комки сразу падают на землю.

Во-вторых, для уборки некоторых корнеплодов могут применяться исключительно машины теребильного типа. Уборка машинами подкапывающего типа с обрезкой ботвы на корню таких культур, как столовая свекла, затруднительна во всех зонах, а таких, как редис, практически невозможна. Размещение корней столовой свеклы в почве характеризуется незначительной глубиной залегания (на  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  длины корня), поэтому при обрезке ботвы до извлечения корнеплодов из почвы велика опасность их заваливания.

Корни редиса слабо удерживаются в почве, кроме того, они характеризуются незначительными размерами, что затрудняет их сепарацию от почвы. Поэтому попытки механизировать уборку редиса в мировой практике сводились к разработке машин теребильного типа.

Первая редисоуборочная машина РУ-4 в нашей стране была разработана и изготовлена ВИСХОМом в 1966 г.

Машина РУ-4 — полунавесная, агрегируется с колесным трактором Т-28 (рис. 25) и предназначена для одновременной уборки четырех рядов редиса, посеянного с междурядьями 30 см.

Убранный машиной редис грузится в платформу рядом идущего самоходного шасси Т-16 и отвозится на пункт послеуборочной обработки, где корни редиса доводят до товарного вида и укладывают в ящики.

Основными рабочими органами машины являются: подкапывающая скоба 2, секции теребильного аппарата 1 и транспортер 3 для погрузки корней редиса в транспортные средства.

Четыре секции теребильного аппарата, шарнирно прикрепленные к основной раме машины, производят индивидуальное

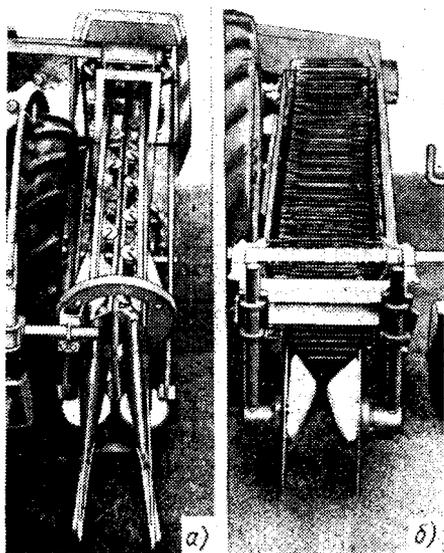


Рис. 24. Сменные рабочие органы машины «Армер»:

а — теребильный аппарат; б — пружинный элеватор с выжимными копаками

копирование рядов редиса. Каждая секция состоит из рамки, опорного колеса, шарнирных прутковых ботвоподъемников, терebильных ремней, ножей для обрезки ботвы и устройства для отвода срезанной ботвы.

Тереbильные ремни — клиновые с зубчатой наружной поверхностью, установлены под углом  $25^\circ$  к горизонту на ведущих и ведомых шкивах диаметром 120 мм. Рабочие ветви ремней прижимаются друг к другу опорными шкивами.

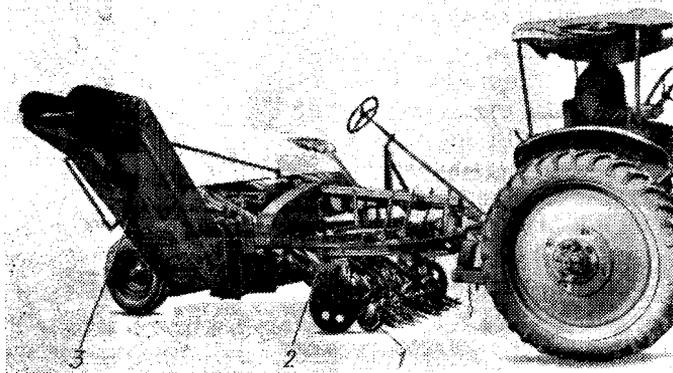


Рис. 25. Редисуборочная машина РУ-4

Плоские дисковые ножи диаметром 150 мм для обрезки ботвы установлены на валах ведущих шкивов и имеют одинаковую с ними частоту вращения (225 об/мин). Вследствие того, что диаметр ножей больше диаметра шкивов, ножи устанавливаются относительно друг друга с небольшим перекрытием. Высоту обрезки ботвы регулируют перемещением ножей на валах в осевом направлении.

Небольшая партия редисуборочных машин терebильного типа выпущена в США фирмой Скотт Вайнер.

Рабочим органом, определяющим качество работы машин терebильного типа, является выравнивающий аппарат.

К настоящему времени разработано и опробовано в полевых условиях несколько десятков различных вариантов аппаратов для выравнивания корнеплодов. Несмотря на разнообразие конструкций выравнивающих аппаратов по принципу действия их можно разделить на три основные группы: пассивные, полуактивные (комбинированные) и активные.

К группе пассивных выравнивающих аппаратов относятся клиновые и планчато-шарнирные.

В клиновом выравнивающем аппарате поверхностью выравнивания служит нижняя поверхность клина, установленного под углом к терebильным секциям. Корнеплод, подведенный тер-

бильными ремнями к клину, нанизывается на него пучком ботвы (или ботва вводится в зазор между двумя клиньями) и при движении теребильных ремней упирается головкой в нижнюю кромку клина. При этом корнеплоды, расположенные в теребильной секции с небольшой высотой свисания, первыми касаются клина и осаживаются, выравниваясь по высоте.

Планчато-шарнирный аппарат, аналогичный по принципу работы клиновому, состоит из двух параллельных подпружиненных планок (или прутков), зазор между которыми может автоматически изменяться в зависимости от толщины пучка ботвы. Планчато-шарнирный аппарат (рис. 26) применялся на свеклоуборочном комбайне В. А. Коренькова, в машине «Скотт Арчел» для уборки моркови и столовой свеклы, а также в машине «Армер» для уборки столовых корнеплодов.

Общей особенностью аппаратов пассивного выравнивания является то, что при их работе движение корней как к поверхности выравнивания, так и вдоль нее осуществляется только с помощью теребильных секций. Выравнивающий аппарат не только не способствует движению корней, но тормозит его из-за сил трения корнеплода по поверхности выравнивания и ботвы по боковым поверхностям. Действие сил трения приводит к сгуживанию корнеплодов, что отрицательно сказывается на качестве обрезки ботвы и на общей работоспособности машины.

Аппараты пассивного выравнивания имеют и другой недостаток. При их работе корнеплоды, расположенные в потоке выше соседних, подтягиваются к плоскости выравнивания раньше остальных, после чего начинается их осаживание, т. е. вытаскивание ботвы из теребильных ремней. При большой густоте размещения растений в ряду (количество корней моркови на 1 м длины ряда достигает 50 и даже 100) ботва соседних корнеплодов переплетается. В процессе осаживания одного из корнеплодов сила трения между листьями ботвы действует на ботву невыровненных корнеплодов и увлекает ее из теребильных ремней раньше, чем головки корнеплодов достигнут поверхности выравнивания.

Полуактивные (комбинированные) выравнивающие аппараты способствуют одному виду движения корнеплодов — вдоль поверхности выравнивания. Движение корнеплодов вверх осуществляется под действием теребильных ремней.

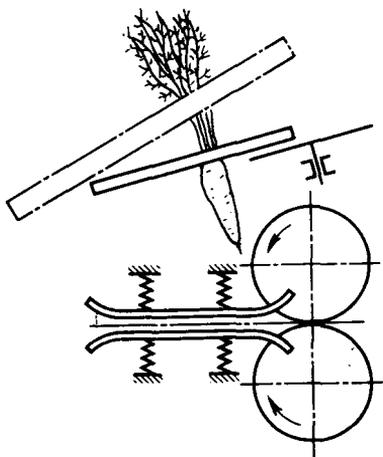


Рис. 26. Планчато-шарнирный выравнивающий аппарат

Простейший из полуактивных выравнивающих аппаратов, схематически показанный на рис. 27, был испытан в 1958—1959 гг. на машинах ТМК-1Б и УҚШ-1 для уборки столовых корнеплодов. Аппарат состоит из двух плоских дисков, свободно вращающихся на осях, и дискового ножа. Ботва корнеплодов вводится теребильными ремнями в зазор между дисками. Далее при движении теребильных ремней корнеплоды с небольшой высотой свисания, упираясь головками в нижнюю поверхность дисков, осаживаются, а корнеплоды с большой высотой свисания

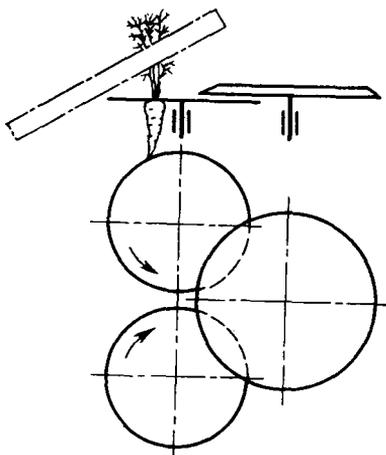


Рис. 27. Дисковый выравнивающий аппарат

подтягиваются ремнями до упора головок в диски и в таком положении подаются к ножу для обрезки ботвы. Преимуществом полуактивного дискового аппарата перед пассивным является меньшее сопротивление перемещению корнеплодов вдоль поверхности выравнивания, которое при принудительном вращении дисков может быть снижено до нуля.

Однако выравнивающая способность этого аппарата невелика из-за ограниченности длины поверхности выравнивания. Поэтому корнеплоды с высотой свисания более 40 мм не успевают выравниваться. Для увеличения поверхности выравнивания тре-

буется увеличивать диаметры выравнивающих дисков до размеров, затрудняющих их компоновку в машине.

В полуактивных выравнивающих аппаратах различных конструкций задача повышения выравнивающей способности решается по-разному.

В 1956 г. в ВИСХОМе был создан дисковый выравнивающий аппарат (рис. 28) с эластичной поверхностью выравнивания, состоящий из двух дисков с эластичными ободами из клиновых ремней, прикрепленных к пружинящим спицам. Диски устанавливаются под углом друг к другу; один из дисков имеет принудительное вращение, другой вращается под действием сил трения, возникающих в зоне соприкосновения ободов. Поверхностью выравнивания аппарата служат внутренние кромки ремней обода. Корнеплод вводится ботвой в зазор между ободами дисков и подтягивается к внутренним кромкам ремней обода до упора в них головкой. Подтягивание происходит в результате движения теребильных ремней и вращения дисков, так как разные точки обода дисков удалены от теребильных ремней на разные расстояния. В месте смыкания ободов ботва зажимается и надвигается на пассивный нож.

При испытании этот аппарат оказался неработоспособным, так как его выравнивающая поверхность недостаточна для удовлетворительного подтягивания корнеплодов. Кроме того из-за относительного пробуксовывания дисков наблюдалось сгруживание корнеплодов и забивание аппарата.

Другой путь повышения выравнивающей способности дисковых аппаратов при сохранении их компактности — замена одного из дисков направляющей, выполненной в виде шарнирной подпружиненной планки. Второй диск делают с радиально распо-

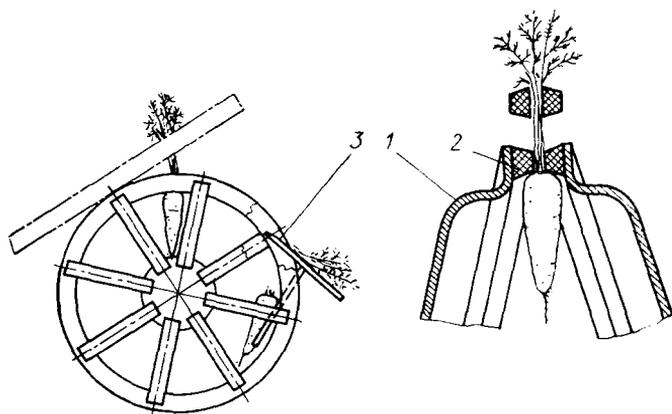


Рис. 28. Дисковый аппарат с эластичной поверхностью выравнивания:

1 — диск; 2 — эластичный обод; 3 — пассивный нож

женными пальцами. Такие аппараты применяют в машинах для уборки сахарной свеклы.

В 1953—1957 гг. в ВИСХОМе предпринимались попытки использовать для уборки столовых корнеплодов свеклоуборочный комбайн СКЕМ-3 с несколько измененным выравнивающим аппаратом. Изменение заключалось в том, что опорный конус аппарата был заменен диском (диаметром 250 мм для крупных корнеплодов и 300 мм — для мелких). Кроме того, нож был установлен над нижней направляющей, а не под ней. Необходимость перестановки ножа вызвана отличием требований к обрезке ботвы у столовых корнеплодов от требований к обрезке ботвы сахарной свеклы. В то время, как у сахарной свеклы ботва обрезается вместе с головкой корнеплода, у столовых обрезка должна быть обязательно выше головки (на 0—2 см). Испытания показали, что работа данного аппарата на уборке столовых корнеплодов сопровождается значительным количеством повреждений (20—40% корней столовой свеклы и 20—50% — моркови), наносимых пальцами диска.

Разработанный в НИИОХе пальчатый выравнивающий аппарат (рис. 29), установленный в машине УКШ-1, состоит из трех

пальчатых дисков, дискового ножа для обрезки ботвы и противорежущей пластины. Поверхностью выравнивания служат нижние кромки правого и левого выравнивающих дисков. При установке аппарата на машину ось симметрии его смещается относительно продольной оси симметрии теребильного аппарата на величину  $\Delta$ , которая определяется характеристикой ботвы убираемой

культуры и находится в пределах 50–100 мм. Свисающие из теребильного аппарата корнеплоды подводятся к пальцам правого диска, которые захватывают их за ботву и отклоняют к оси симметрии аппарата. Корни подтягиваются в результате движения теребильных ремней и одновременного смещения в сторону пальцами правого и делительного дисков. Корнеплоды с небольшой высотой свисания из теребильного аппарата при движении вверх упираются головками в пальцы правого диска и при вращении правого и делительного дисков передаются к левому диску, который подает их к противорежущей пластине. Корнеплоды, захваченные теребильными ремнями за ботву на большой высоте от головки, при подъеме вверх упираются головками непосредственно в пальцы левого диска. При подходе корнеплодов к противорежущей пластине ботва обрезается дисковым ножом.

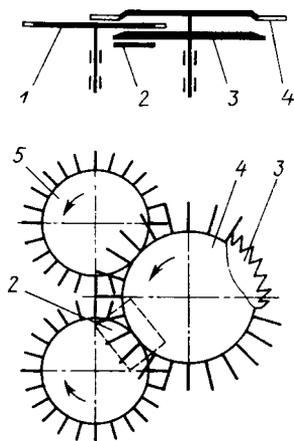


Рис. 29. Пальчатый выравнивающий аппарат:

1 — левый диск; 2 — противорежущая пластина; 3 — дисковый нож; 4 — делительный диск; 5 — правый диск

Основное применение данный аппарат, по замыслу авторов, должен был найти в машинах для уборки моркови, ботва которой имеет незначительную жесткость. Однако ни для уборки моркови, ни для уборки других корнеплодов он не нашел применения из-за невысоких качественных показателей и забивания растительными примесями.

Значительную поверхность выравнивания имеют ленточные аппараты: цепные и ременные.

Цепной выравнивающий аппарат, состоящий из двух бесконечных цепей с пальцами, расположенными в шахматном порядке, и пассивного ножа для обрезки ботвы, применялся на свеклоуборочном комбайне СПГ-1 (КОС-1). В 1954 г. в ВИСХОМе он был испытан при уборке столовых корнеплодов. Для предотвращения низкого среза головок ножом и повреждений их пальцами под цепными транспортерами были установлены металлические ограничивающие пластины. Однако положительные результаты не были получены, так как силы трения, возникающие между пластинами и головками корней, приводили к сгуживанию последних.

Ременный выравнивающий аппарат (рис. 30) по принципиальной схеме аналогичен аппарату свеклоуборочного комбайна СПГ-1, но вместо цепей в нем установлены клиновые ремни, ведущие ветви которых прижимаются роликами, а пассивный нож заменен дисковым. Поверхностью выравнивания служат нижние кромки ремней. При испытаниях этого аппарата также не были получены положительные результаты как по качеству выравнивания, так и по повреждаемости корнеплодов.

Общим недостатком полуактивных (комбинированных) выравнивающих аппаратов является то, что они не способны обеспечить движение корней вверх (к поверхности выравнивания) без помощи теребильного транспортера. Поэтому они могут удовлетворительно работать лишь при рассредоточенном размещении растений в ряду. При уборке корнеплодов с высокой плотностью размещения в ряду и переплетенной ботвой (например, моркови) выравнивание не обеспечивается по той же причине, что и у пассивных аппаратов. Корнеплоды с меньшей высотой свисания из теребильной секции достигают поверхности выравнивания раньше соседних. Осаживание их приводит к извлечению из теребильных ремней ботвы соседних корнеплодов, в результате чего они остаются невыровненными.

Несмотря на большое количество различных вариантов пассивных и комбинированных аппаратов, все они в большей или меньшей степени имеют отмеченные недостатки, и поэтому не нашли широкого применения в машинах для уборки столовых корнеплодов.

Наиболее перспективными являются активные выравнивающие аппараты, так как они могут без помощи теребильного аппарата продвигать корни вдоль поверхности выравнивания и вверх.

К аппаратам активного выравнивания относятся роторные и винтовые. Анализ их работы дан в гл. III.

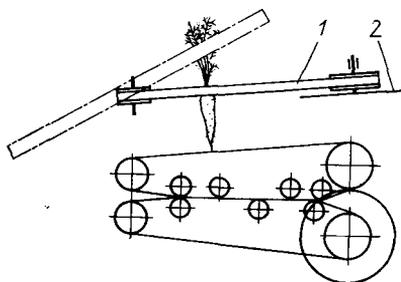


Рис. 30. Ременный выравнивающий аппарат:

1 — клиновые ремни; 2 — дисковый нож

### Машины подкапывающего типа с обрезкой ботвы на корню

Технологический процесс уборки корнеплодов с применением машин подкапывающего типа складывается из выполнения следующих операций: удаления ботвы, извлечения из почвы, очистки от почвенных и растительных примесей, сортирования и загрузки в тару. Выполнение всех уборочных операций может

осуществляться одной машиной (комбайном) или несколькими. Последний способ является более распространенным.

Для удаления ботвы корнеплодов в нашей стране и за рубежом применяются ротационные косилки-измельчители. При этом ботва собирается и используется на корм скоту или разбрасывается по полю.

В Советском Союзе для предварительной обрезки ботвы применяются роторные ботвоуборочные машины УБД-ЗА и КИР-1,5. Обе машины собирают срезанную массу, первая — в бункер с подвижным дном, вторая — в прицепную тележку.

Ботвоуборочная машина УБД-ЗА предназначена для уборки ботвы картофеля и корнеплодов, луговых сеяных трав и других сидосных низкостебельных культур.

Основными рабочими органами машины являются ротор, шнек, швырляка с направляющей трубой и бункер с выгрузным транспортером, являющимся подвижным дном. Машина агрегируется с трактором «Беларусь», ее рабочие органы приводятся в действие от ВОМ трактора.

Косилка-измельчитель КИР-1,5 разработана в Советском Союзе и выпускается в Народной Республике Болгарии. Она предназначена для тех же целей, что и машина УБД-ЗА. В отличие от последней косилка КИР-1,5 не имеет шнека и швырляки; масса выбрасывается в трубопровод с дефлектором непосредственно ротором. Из трубопровода она поступает в прицепную тележку.

Косилка КИР-1,5 имеет более простую технологическую схему, чем машина УБД-ЗА, обеспечивает более высокую надежность технологического процесса, может работать на повышенных скоростях, поэтому производительность ее выше, несмотря на меньшую ширину захвата. Ширина захвата косилки (1,5 м) хорошо согласуется с наиболее распространенными междурядьями, применяемыми при посевах корнеплодов. Косилка одновременно обрезает ботву с трех рядов при междурядьях 45 см и с двух рядов при междурядьях 70 см или 62 + 8 см. Такое же число рядов убирает картофелеуборочный комбайн с приспособлением для выкапывания столовых корнеплодов и унифицированные с ним корнеклубнеуборочные машины. Данные обстоятельства обуславливают перспективность применения косилки КИР-1,5 в комплексе машин для уборки корнеплодов.

Недостатком косилки является необходимость транспортирования по полю прицепной тележки, колесами которой наносятся дополнительные повреждения корнеплодам и приминаются необрезанные листья ботвы.

Для устранения этого недостатка ВИСХОМом совместно с ГСКБ по погрузчикам и машинам для внесения удобрений г. Запорожье на базе косилки КИР-1,5 была создана косилка КИР-1,5Б (рис. 31) с укороченным трубопроводом, бункером и гидросистемой для его разгрузки. Машина КИР-1,5Б скашивает,

измельчает, собирает в бункер и транспортирует ботву на край поля, где перегружает ее в транспортные средства или выгружает на землю. Выгрузка ботвы осуществляется трактористом с помощью гидроцилиндра. В исходное положение бункер возвращается под действием собственного веса.

В США ботва корнеплодов на корм, как правило, не собирается, а измельчается, разбрасывается по полю и в дальнейшем запахивается. Для этой цели применяют ботводробители фирм Ланделл, Парма, Спида и др. Все они однотипны по принципиальной схеме, но различаются шириной захвата, массой и т. п.

Ботводробитель «Парма» — это прицепная машина с приводом рабочих органов от ВОМ трактора. Основным рабочим органом ботводробителя является закрытый кожухом ротор (измельчающий барабан), на горизонтальном валу которого радиально в четыре ряда укреплены с помощью шарниров съемные рабочие органы — бичи.

Роторные ботводробители «Парма» применяются для уборки силосных культур, обрезки ботвы картофеля, сахарной свеклы и столовых корнеплодов, очистки полей от мелких кустарников и других подобных работ. Для этой цели ботводробитель оснащается различными сменными бичами (рис. 32).

Ботводробитель «Спида» по принципиальной схеме аналогичен описанному. Ротор этого ботводробителя также имеет сменные бичи, что дает возможность использовать его не только для уборки ботвы корнеплодов и картофеля, но и для измельчения стеблей кукурузы на силос и для других работ. Ботводробитель имеет ширину захвата 2,03 м, частоту вращения ротора 700—1400 об/мин, количество бичей 60. Масса машины 450 кг, производительность до 1,0 га/ч. Фирма выпускает также ботводробители с поперечными транспортерами или шнеками для отвода в сторону и укладки измельченной массы в валок и ботводробители, собирающие измельченную массу в транспортную тележку.

Из зарубежных машин, осуществляющих обрезку ботвы с погрузкой в транспортные средства, можно отметить косилку английской фирмы Кидд Ротелефейл. Фирма выпускает несколько модификаций машины с шириной захвата 1,02; 1,22 и 1,56 м.

Корнеплоды выкапывают специальными машинами или машинами для уборки картофеля и сахарной свеклы.

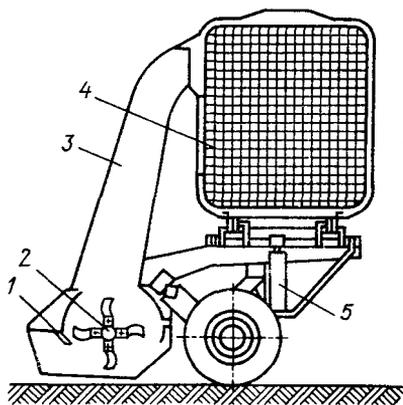


Рис. 31. Схема косилки-измельчителя КИР-1,5Б:

1 — противорежущая пластина; 2 — ротор; 3 — направляющая труба; 4 — бункер; 5 — гидроцилиндр

В нашей стране исследования по созданию рабочих органов к машинам подкапывающего типа для механизированной уборки столовых корнеплодов начались в 50-х годах настоящего столетия. Такие рабочие органы использовались как в качестве сменных к картофеле- и свеклоуборочным машинам, так и при создании специальных машин.

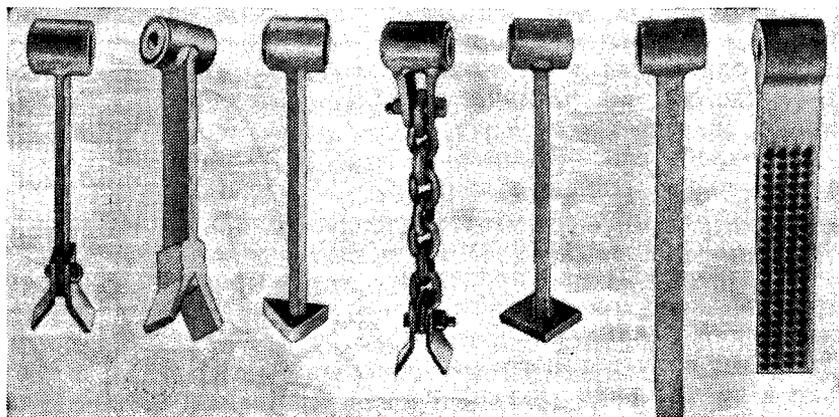


Рис. 32. Сменные бичи ботводрогателя «Парма»

Из сменных рабочих органов можно отметить приспособления для уборки моркови (ботворез роторного типа и копач, состоящий из лемеха и пальчатых дисков) к картофелекопалелу ККШ-1. Копатель был оборудован также бункером для затаривания корнеплодов.

Кроме того, были проведены работы по приспособлению картофелеуборочных комбайнов: элеваторного К-3, грохотного КГП-2 и грохотной модификации комбайна ККУ-2, а также свеклоуборочного комбайна СКН-2А для уборки моркови. В комбайн К-3 были дополнительно введены ботворезы, роторные выкапывающие рабочие органы и сортирующий грохот; в грохотные комбайны — выжимные лемешковые копачи; в комбайн СКН-2А — сменный сепарирующий рабочий орган перевалочного типа.

При работе на легких и средних почвах комбайны обеспечивали чистоту вороха, достаточную для последующей механизированной доработки на стационарном пункте, но по качеству обрезки ботвы убранный ими морковь не удовлетворяла агротехническим требованиям. При работе свеклоуборочного комбайна наблюдались также значительные потери моркови через просветы в сепарирующих рабочих органах.

Общим недостатком использования картофелеуборочных комбайнов (как грохотной, так и элеваторной модификаций) для

уборки моркови является повышенная длительность пребывания корней на сепарирующих рабочих органах, что увеличивает их повреждения.

Первые образцы специальных машин для уборки столовых корнеплодов появились в начале 60-х годов. Среди них можно отметить однорядную, элеваторную, навесную на самоходное шасси ДВСШ-16 или Т-16 машину КБШ-1 для уборки моркови.

Машина состояла из ботвореза роторного типа с эластичным копирующим катком, копча, имеющего лемех и два активных пальчатых диска, и двух элеваторов: продольного и поперечного.

Машина удовлетворительно выкапывала морковь, пастернак и другие аналогичные культуры, повышая в 1,5 раза производительность труда по сравнению со свеклоподъемником СНШ-3, однако, ее рабочие органы не обеспечивали достаточной очистки корнеплодов от земли и ботвы.

Более производительной и совершенной по технологическому процессу явилась машина КУД-1 для уборки моркови (рис. 33), навесная на гусеничный трактор Т-38.

К основным рабочим органам машины относятся ботвосрезающий аппарат 1, выкапывающий рабочий орган 2, продольный 3 и поперечный 4 элеваторы и выгрузной транспортер (некоторые образцы машин были оборудованы также бункером - копильником 5 вместимостью 500 кг, смонтированным над трактором).

Ботвосрезающий аппарат состоит из роторного ножа и эластичного копирующего катка. Копирующий каток аналогичен по конструкции катку машины КБШ-1. Нож представляет собой стальной диск с шестью лезвиями, установленный на валу, который отклонен на 4—5° от вертикали в сторону противоположную направлению движения машины. Вследствие наклона диска происходит двойная обрезка ботвы: вначале ботва срезается на высоте 5—6 см от поверхности почвы лезвиями, находящимися в передней части диска, затем окончательно обрезается лезвиями, находящимися в непосредственной близости от зоны копирования.

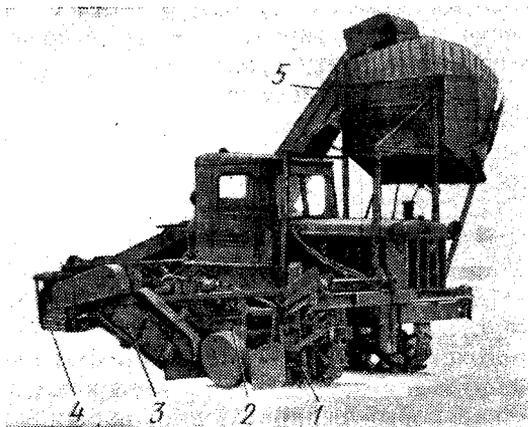


Рис. 33. Машина КУД-1 для уборки моркови с бункером-копильником

Выкапывающий рабочий орган состоит из подкапывающей скобы и пальчатых дисков. В отличие от машины КБШ-1, пальчатые диски машины КУД-1 установлены под углом друг к другу (угол атаки и угол развала дисков равны  $25^{\circ} 30'$ ), вследствие чего достигается более интенсивное крошение почвенного пласта и уменьшается поступление почвы на сепарирующие рабочие органы.

При движении машины вдоль ряда ротационный нож сначала предварительно срезает ботву, а затем очищает головки корнеплодов от оставшейся ботвы. После обрезки ботвы скоба подкапывает и рыхлит почвенный пласт, нарушая связь корнеплодов с почвой; пальчатые диски входят в разрыхленный пласт на глубину 10—11 см с обеих сторон убираемого ряда, постепенно сходятся и сжимают почву с находящимися в ней корнеплодами. При этом разрушаются комки и почва частично сепарируется через зазоры между пальцами. Корнеплоды вместе с оставшейся частью почвы поднимаются дисками вверх и сталкиваются отражателем на прутковый элеватор. На продольном и поперечном элеваторах почва сепарируется, а корнеплоды выгрузным транспортером подаются в транспортные средства или в бункер-копильник.

По производительности, чистоте вороха моркови и некоторым другим показателям машина КУД-1 превосходит машину КБШ-1. К недостаткам ее можно отнести сложность и трудоемкость навески и агрегатирование с трактором, который не применяется в основных зонах возделывания столовых корнеплодов.

Одной из наиболее трудных задач при механизированной уборке моркови является отделение корнеплодов от почвы. В рассмотренных машинах КБШ-1 и КУД-1 решению этой задачи способствует ограничение количества поступающей в них почвы и интенсивная деформация почвенного пласта в процессе выкапывания. Копач машины КБШ-1 забирает около 50 кг почвы с 1 м длины ряда, машины КУД-1 — не более 20 кг.

Другое решение этой задачи было предложено при разработке копателя КН-1. Количество почвы, забираемой корытообразным лемехом копателя (до 100 кг с 1 м длины ряда), не ограничивалось, а для повышения ее сепарации был разработан принципиально новый сепарирующий рабочий орган перевалочного типа, обладающий, по мнению его создателей, более высокой эффективностью сепарации по сравнению с ранее известными.

Ботвудаляющее устройство в копателе отсутствует, поэтому перед работой требуется предварительное удаление ботвы.

Испытания показали, что транспортер перевалочного типа имеет некоторые преимущества перед прутковым элеватором по эффективности сепарации, но потери корнеплодов у него выше.

Из-за сложности, повышенной металлоемкости и невысокой надежности транспортеры перевалочного типа до настоящего времени не нашли широкого применения. Недостатком копателя,

кроме того, являлась незаконченность технологического процесса уборки: все операции уборки, за исключением выкапывания и частичной сепарации (подбор, очистка от почвы и ботвы, затаривание) выполняются вручную.

В последние годы основным направлением при механизации уборки столовых корнеплодов является создание комплекса машин для уборки и послеуборочной обработки. Для выполнения уборочных операций были разработаны машины УМП-2 (рис. 34) и МКГ-1,4 для уборки моркови.

Машина УМП-2 — полунавесная на колесный трактор класса 1,4 тс, предназначена для обрезки черешков ботвы на корнеплодах, оставшейся после прохода ботвоуборочной машины, выкапывания корнеплодов, отделения их от почвы и погрузки в рядом идущие транспортные средства для перевозки на сортировально-очистительный пункт.

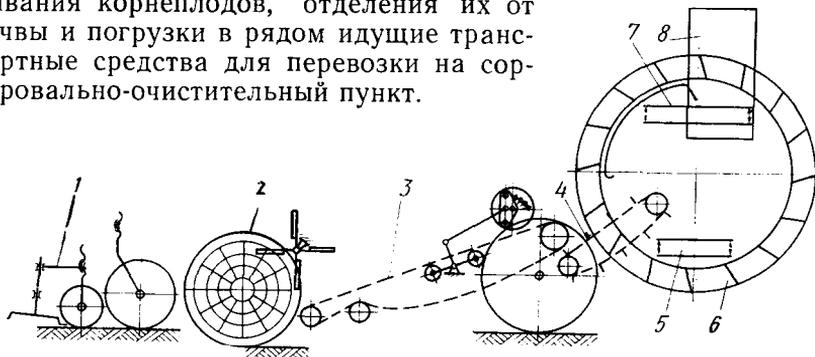


Рис. 34. Схема машины УМП-2 для уборки моркови

Машина состоит из ботвоудалителей 1, дисковых копачей 2, основного элеватора 3 с принудительным встряхиванием полотна, скребкового транспортера 4, поперечного элеватора 5, подъемного барабана 6, транспортера-переборщика 7 и выгрузного транспортера 8. Для точного вождения ботвосрезающих и выкапывающих рабочих органов вдоль рядов машина оборудована механизмом управления и сиденьем для машиниста.

В зависимости от схемы посева машина может одновременно убирать два ряда (при междурядьях 45 см) или одну двухстрочную ленту при междурядьях 62 + 8 см.

Кроме основного варианта машины, описанного выше, была разработана модификация, у которой вместо дисковых копачей установлен колеблющийся лемех с выжимными лемешковыми копачами.

Машина МКГ-1,4 предназначена для обрезки черешков ботвы, оставшихся после прохода ботвоуборочной машины КИР-1,5Б, выкапывания корнеплодов, отделения их от почвы и погрузки в рядом идущие транспортные средства для перевозки на пункт сортирования ПСК-6 или в овощехранилище.

Машина агрегатируется с трактором МТЗ-50 или МТЗ-52 и состоит из двух самостоятельных агрегатов, обрезчика ботвы и корнеуборочной машины.

Обрезчик ботвы, предназначенный для обрезки черешков, навешивается впереди трактора на лонжероны и приводится от бокового ВОМ. Это дает возможность использования его как в машине МКГ-1,4, так и в комплексе с комбайном ККУ-2 или с ботвоуборочной машиной КИР-1,5Б.

Обрезчик состоит из продольных труб, поперечной трубы, рамы, двух или трех ботвосрезающих аппаратов в зависимости от схемы посева, механизмов подъема и привода.

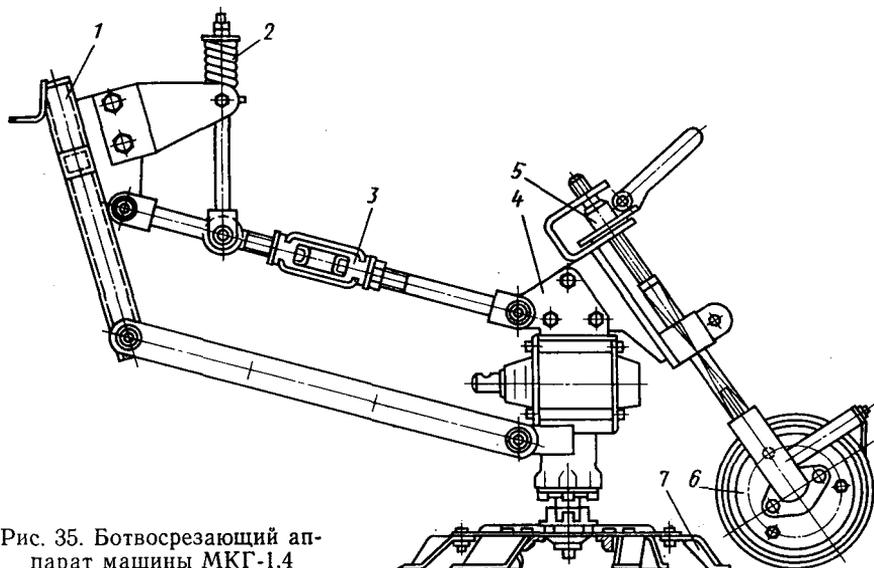


Рис. 35. Ботвосрезающий аппарат машины МКГ-1,4

Ботвосрезающий аппарат (рис. 35) состоит из редуктора 4, диска с лезвиями 7, копирующего катка 6 и параллелограммного механизма навески 3. Высота обрезки регулируется с помощью винтового механизма 5. Для снижения давления катка на корнеплоды аппарат снабжен разгружающей пружиной 2.

Ботвосрезающий аппарат навешивают на раму с помощью кронштейна 1, позволяющего переставлять его в зависимости от ширины междурядий.

При уборке моркови, посеянной с междурядьями 45 см, устанавливают три ботвосрезающих аппарата, посеянной с междурядьями 60 и 70 см и по схеме 62 + 8 см — два аппарата.

Корнеуборочная машина (рис. 36) состоит из машины ЛКГ-1,4 для уборки лука 1 и механизма 2 точного вождения по рядам, включающего в себя автономную гидросистему и сиденье для машиниста.

Перед уборкой машиной МКГ-1,4 ботва моркови должна быть срезана косилкой КИР-1,5Б и вывезена с поля.

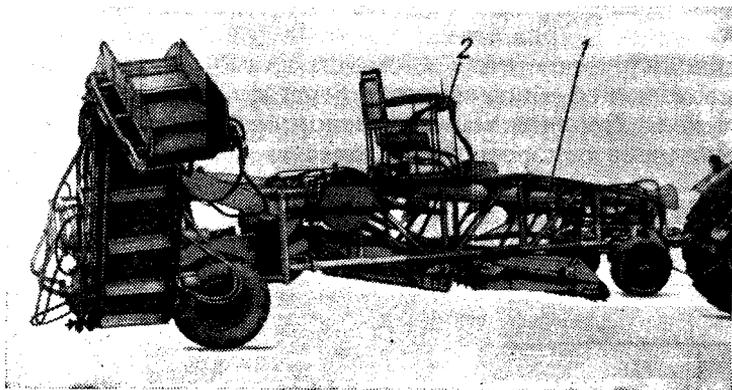


Рис. 36. Машина МКГ-1,4 для уборки моркови (корнеуборочная машина без обрезчика черешков ботвы)

В странах Западной Европы широкое распространение для уборки столовых корнеплодов получили картофеле- и свеклоуборочные машины. В ГДР для этой цели применяют картофелекопатели Е 649 и картофелеуборочный комбайн Е 675 со специальными выжимными вильчатыми приспособлениями, схема и основные размеры которых показаны на рис. 37.

В Англии для уборки моркови и других корнеплодов, ботва которых предварительно обрезана ботвоудаляющими машинами, применяют картофелеуборочные комбайны фирм Джонсон, Бенедикт, швейцарской фирмы Самро и др.

Из специальных машин для уборки корнеплодов наибольшее распространение получили комбайны фирмы Рут харвестер. Фирмой разработано несколько моделей комбайна. Комбайн «Витсед супер джуниор» (рис. 38) имеет ботвоудаляющее устройство 1, копачи 2 и 3, три прутковых элеватора (два продольных 4 и 5 и поперечный 6), транспортер-переборщик 7 с площадками 8 для рабочих и мешков и устройство для упаковки корнеплодов в мешки. Вместо устройства для упаковки комбайн может оборудоваться загрузочным транспортером 9.

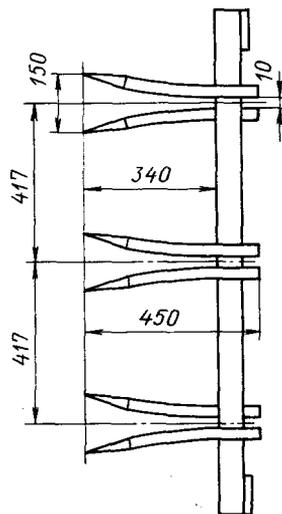


Рис. 37. Сменное вильчатое приспособление к комбайну Е 675 для выкапывания моркови

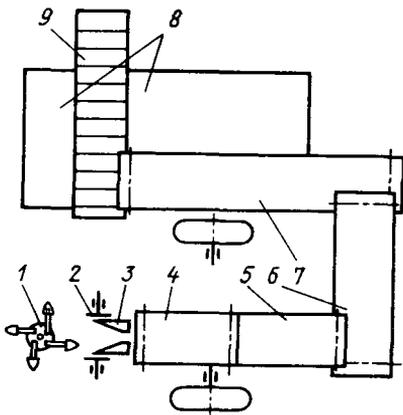
Ботвоудаляющее устройство выполнено в виде закрепленных на вертикальном валу четырех бичей из стального троса с наколочниками и четырех лопастей для отвода ботвы.

Комбайн последней, наиболее совершенной, модели «Витсед сениор» имеет гидравлический привод транспортера-переборщика и гидравлическое подъемное устройство переднего бруса рамы, повышающее маневренность агрегата при поворотах на неровном поле. Верхняя часть транспортера для выгрузки продукции выполнена поворотной, что дает возможность регулировать

с помощью гидроцилиндра высоту падения корнеплодов при работе с различными по высоте транспортными средствами. Выгрузной транспортер расположен над комбайном и подает продукцию в левую сторону от комбайна.

Для небольших фермерских хозяйств фирмой Рут харвестер создана более простая корнеклубнеуборочная машина, состоящая из ботвоудалителя, выкапывающего рабочего органа и элеваторов: продольного и поперечного. Рабочие органы машины такие же, как у комбайна «Витсед сениор». Машина работает

Рис. 38. Схема комбайна «Витсед супер джуниор» для уборки столовых корнеплодов



как копатель с укладкой продукции в валок на поверхность поля. Она может убирать картофель, лук и корнеплоды различных видов.

При уборке картофеля выжимные лемешковые копачи заменяют плоским лемехом.

В ФРГ для уборки корнеплодов применяют картофелеуборочные комбайны и копатели различного типа: грохотные, элеваторные и с сепарирующими решетными дисками. При этом лемеха заменяют выжимными копачами, представляющими собой, как правило, двухрожковые вилки, к которым привариваются щеки с направляющими прутками.

Фирма Вюльмаус для уборки моркови выпускает также специальную машину в трех модификациях: с бункером-копильником вместимостью 1000 кг, который поднимается и опрокидывается с помощью гидроцилиндра; с транспортером для загрузки моркови в рядом идущие транспортные средства и с приспособлением для упаковки в мешки или ящики.

Машина по технологической схеме подобна комбайну «Витсед супер джуниор» и состоит из обрезчика ботвы с очистительным устройством, вильчатых копачей, сепарирующего планчатого и поперечного сортировального транспортеров.

Основные рабочие органы машины показаны на рис. 39.

Ботвообрезчик 3 имеет гидравлический привод, заданная высота обрезки регулируется с помощью ползкового копира, установленного впереди ножа со смещением влево относительно оси убираемого ряда.

В работе машина опирается на опорный каток 1, поддерживающий нужную глубину подкапывания, заглубление копачей 4 регулируется автоматически с помощью копирующего ролика 2 и гидросистемы, возможно также регулирование с помощью ручного гидравлического насоса.

Угол наклона сортировального транспортера может изменяться с помощью рычага в зависимости от количества поступающей

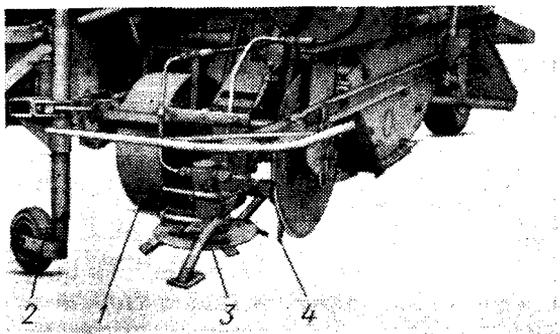


Рис. 39. Рабочие органы машины «Вюльмаус»

моркови и примесей. При увеличении угла наклона морковь скатывается на правую сторону транспортера и дополнительно очищается от почвенных примесей, которые остаются на левой стороне. Окончательно морковь очищают вручную, после чего она поступает в бункер-накопитель или упаковывается в мешки, корзины или ящики.

В США фермерские хозяйства имеют более узкую специализацию, чем в странах Западной Европы, поэтому для уборки столовых корнеплодов практически не применяются картофелеуборочные машины, а используются специальные и частично свеклоуборочные машины. Уборочные машины, как правило, не имеют собственных ботвоудалителей, и предварительная обрезка ботвы производится специальными машинами-ботводробителями. Убирается только стандартная морковь, а мелкая, деформированная и переросшая остается на плантации, где ее скармливают скоту.

В 1970 г. машина «Витсед супер джуниор», а в 1971 г. также комбайны «Скотт Арчел» и «Армер» проходили сравнительные испытания на Пушкинской машиноиспытательной станции вмес-

те с отечественной машиной МКГ-1,4. Агротехнические показатели работы и краткая техническая характеристика испытуемых машин приведены в табл. 16.

В результате испытаний было установлено, что как по эксплуатационным показателям (производительность, надежность), так и по агротехническим машина МКГ-1,4 превосходит машину «Витсед супер джуниор». Преимущество отечественной машины особенно заметно в таких показателях, как полнота сбора и повреждаемость продукции. В чистоте вороха и качестве обрезки ботвы разница показателей небольшая, так как обе машины являются подкапывающими.

Комбайн теребивного типа «Скотт Арчел» по чистоте вороха и качеству удаления ботвы имеет лучшие показатели, но количество поврежденных корнеплодов у него очень велико — 48,7%; из них 17,5% повреждаются ботвоудаляющим аппаратом. Комбайн имеет низкую производительность за час чистого времени (0,07 га) и еще более низкую сменную производительность из-за частых забиваний ботвоудаляющего аппарата.

Машина «Армер» оказалась неработоспособной из-за неуправляемости трактора, вызванной боковой навеской машины.

Ворох корнеплодов, убранных как отечественной, так и зарубежными машинами, требует доработки, включающей операции очистки корнеплодов от необрезанных листьев ботвы, почвенных и растительных примесей, сортирования и упаковки.

### **МАШИНЫ ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕПЛОДОВ**

Для послеуборочной обработки столовых корнеплодов, как правило, применяют стационарные поточные линии (пункты), механизующие все операции, начиная от приемки продукции и кончая загрузкой в тару.

Разработанный в ГСКТБО совместно с ВИСХОМом и НИИОХом сортировально-переборочный пункт ПСК-6 (рис. 40) состоит из следующих основных агрегатов: приемного бункера ПБ-2, загрузочного транспортера, сортировки, переборочных столов и транспортеров для отвода примесей и нестандартной продукции.

Приемный бункер имеет подвижное дно, представляющее собой прорезиненное полотно, установленное по краям на втулочно-роликовых цепях и опирающееся на специальные ролики. Рама бункера опирается на колеса, которые могут подниматься винтовым механизмом при переводе бункера в рабочее положение. Подача корнеплодов регулируется изменением линейной скорости подвижного дна при помощи двухступенчатого редуктора.

Морковь в сортировку загружается наклонным лопастным транспортером. Перед сортированием масса поступает на пружинный транспортер, где отсеиваются почвенные примеси.

## Показатели качества работы и характеристика машин для уборки столовых корнеплодов

Показатели	МКГ-1,4		«Вытесд супер джунпор»		«Скотт Арчел»	«Армер»
Тип почвы и влажность в % . . . . .	Легкий суглинок, 19,3—21,0	Тяжелый суглинок, 23,1—24,5	Легкий суглинок, 19,3—21,0	Тяжелый суглинок, 23,1—24,5	Тяжелый суглинок, 23,1—24,5	Тяжелый суглинок, 23,1—24,5
Количество собранных корнеплодов в % . . . . .	100,0	99,9—100,0	100,0	87,8	95,4	—
Потери в % . . . . .	0,0	0,0—0,1	0,0	12,2	4,6	—
Состав вороха в %:						
корнеплоды . . . . .	76,4	37,9—49,2	36,9	53,3	91,8	—
свободная почва . . . . .	15,1	40,3—52,9	40,2	37,1	0,0	—
почва на корнеплодах . . . . .	7,4	6,2—11,6	7,8	9,3	7,6	—
растительные примеси . . . . .	1,1	0,2—1,1	15,1	0,3	0,6	—
Повреждения корнеплодов в % . . . . .	19,3	23,2—40,4	28,5	56,6	48,7	—
Количество корнеплодов, обрезанных с длинной черешков, ботвы 0—2 см (в соответствии с ГОСТом 1721—67) в % . . . . .	22,2	26,6—41,4	15,6	34,1	70,7	—
Производительность за час чистой работы в га . . . . .	0,2—0,4		0,11		0,07	
Габаритные размеры в мм*:						
длина . . . . .	11 550		5350		4500	5450
ширина . . . . .	4 450		4920		4060	4000
высота . . . . .	2 360		2450		1920	2280
Масса в кг . . . . .	3000		1765		1795	936/937**

\* Габаритные размеры машин МКГ-1,4 и «Армер» приведены вместе с трактором.

\*\* В числителе приведена масса гребильной модификации, в знаменателе — выкапывающей.

Сортирующая поверхность образована круглыми резиноканевыми ремнями диаметром 16 мм, движущимися (с целью ориентации моркови вдоль щели) с различной линейной скоростью. Размер просвета в начале щели принят равным 25 мм.

В схему пункта включены трехсекционные переборочные столы, рабочее русло которых имеет роликовую поверхность, а боковые транспортеры примесей — ленточную. На сходе моркови со стола установлены мешкодержатели.

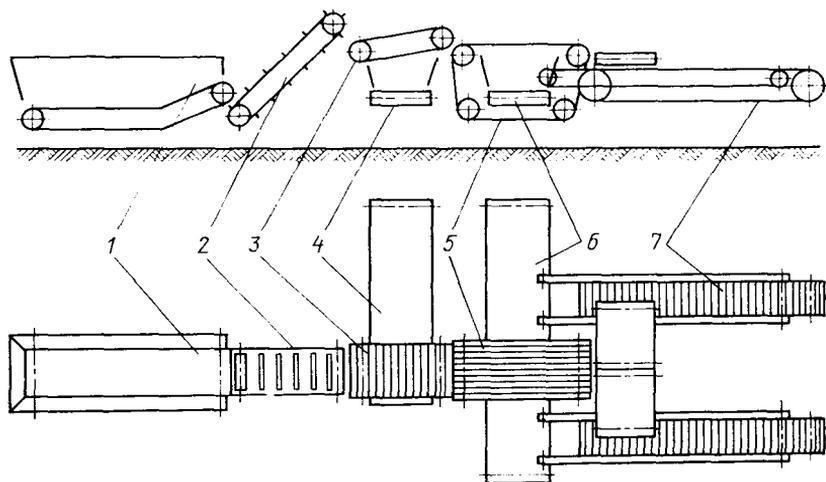


Рис. 40. Пункт ПСК-6 послеуборочной обработки столовых корнеплодов: 1 — приемный бункер ПБ-2; 2 — загрузочный транспортер; 3 — прутковый элеватор; 4 — транспортер примесей; 5 — сортировка; 6 — транспортер нестандартной продукции; 7 — переборочные столы

Дополнительно пункт комплектуется транспортерами для отвода примесей. Технические данные пункта следующие:

Производительность в т/ч . . . . .	До 5
Линейная скорость в м/с:	
дна бункера . . . . .	0,09 и 0,18
полотна загрузочного транспортера . . . . .	0,47
полотна транспортера примесей . . . . .	0,50
ремней сортировки . . . . .	0,46; 0,51 и 0,55
полотна переборочного стола . . . . .	0,2 и 0,4
Количество обслуживающего персонала . . . . .	12—19
Общая масса в кг . . . . .	3090
в том числе приемного бункера . . . . .	800
сортировки . . . . .	1150
переборочного стола . . . . .	570

Технологический процесс послеуборочной обработки моркови на пункте ПСК-6 состоит в следующем. Морковь доставляется с поля транспортными средствами и выгружается в приемный бункер, подвижным дном которого равномерно подается в приемную часть загрузочного транспортера. Полотном транспортера

масса поднимается на поверхность пруткового элеватора, где отделяются мелкие частицы почвы, растительные примеси и мелкие корнеплоды. Отходы выносятся поперечным ленточным транспортером в сторону, а оставшаяся масса поступает на сортировку, где разделяется на две фракции: мелкую (нестандартную) и крупную. Крупная фракция подается на переборочные столы, где рабочие вручную отбирают нестандартные по виду (уродливые, разветвленные и т. д.), а также поврежденные корнеплоды и при необходимости окончательно обрезают ботву у стандартных. Стандартные корнеплоды, сходящие с переборочного стола, упаковывают в мешки или контейнеры, а поврежденные и нестандартные по виду корнеплоды возвращают на транспортер нестандартной продукции.

В зависимости от состава исходного вороха и требуемой кондиции получаемой продукции машины для послеуборочной обработки могут выполнять различный технологический процесс. Пункт ПСК-6 работает по описанной технологической схеме, если морковь после обработки направляется в торговую сеть. В случае закладки моркови в хозяйство на хранение технологический процесс работы пункта может быть упрощен. В частности, могут быть сокращены операции переборки и окончательной обрезки моркови, так как перед реализацией после хранения морковь обязательно перебирают и дорабатывают.

За рубежом поточные линии оснащаются машинами для мойки и расфасовки корнеплодов. Типичная схема подобной линии,

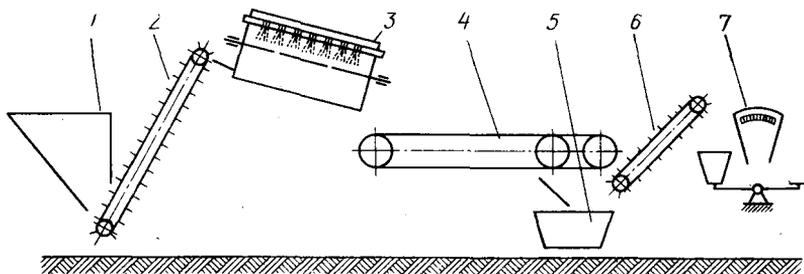


Рис. 41. Линия для мойки и переборки корнеплодов:

- 1 — бункер-копильник; 2 — загрузочный транспортер; 3 — моечный барабан;  
4 — переборочный стол; 5 — емкость для нетоварной продукции и примесей;  
6 — отводной скребковый транспортер; 7 — весы с бункером-дозатором

применяющейся в фермерских хозяйствах Франции, представлена на рис. 41. Линия состоит из бункера-копильника, загрузочного транспортера, моечного барабана, переборочного стола и весов с бункером-дозатором для автоматического взвешивания продукции.

Корнеплоды загружаются в бункер-копильник, откуда с помощью скребкового транспортера подаются в моечный барабан, выполненный в виде решета из расположенных по образующим

продольных планок. Ширина планок 25 мм, просвет между планками 15 мм, длина барабана 1500 мм, диаметр 800 мм, угол наклона 15°, частота вращения около 25 об/мин. Внутри барабана, в верхней части установлены три водопроводные трубы с распределителями, через которые подается вода. При вращении барабана под действием струй воды корнеплоды отмываются и скатываются на трехсекционный переборочный стол. Здесь рабочие осматривают корнеплоды и отбирают примеси и нетоварную продукцию. Длина переборочного стола 2000 мм, ширина 800 мм. После переборочного стола товарная продукция скребковым транспортером подается в бункер-дозатор для автоматического взвешивания на рычажных весах. После наполнения бункера до заданного веса рабочий нажимает ногой на педаль рычажных весов и масса из бункера высыпается в пакет, при этом поточная линия отключается. После снятия ноги с педали бункер открывается и включаются транспортеры.

Линию обслуживают 7 человек: 4 — на переборке, 1 — на расфасовке и 2 — на загрузке бункера, укладке готовых пакетов и отnose отходов.

Сильно загрязненные корнеплоды перед поступлением на линию предварительно моют в специальном моечном отделении, представляющем собой бетонную яму с проточной водой, куда корнеплоды загружают в сетчатой таре объемом около 1 м<sup>3</sup>. После предварительной мойки корнеплоды загружаются в бункер-копильник и проходят все последующие операции.

В нашей стране линии с моечными машинами на послеуборочной обработке столовых корнеплодов, за исключением редиса, до настоящего времени не применяются, так как основная часть продукции в период уборки направляется не на реализацию, а на хранение. Мытые же корнеплоды имеют значительно меньшую лежкость при хранении.

Редис на длительное хранение не закладывается, поэтому введение моечных машин в поточную линию для его послеуборочной обработки является целесообразным. Линия для послеуборочной обработки редиса включает приемный бункер ПБ-2, загрузочный транспортер, роликовый переборочный транспортер и моечную машину с резервуаром предварительного увлажнения. Линия выполняет тот же технологический процесс, что и рассмотренная, за исключением операции взвешивания.

Исходный ворох (редис, убранный машинами) загружается в приемный бункер и загрузочным транспортером подается на переборочный стол, где отбирают нестандартные и поврежденные корнеплоды, свободную ботву и другие примеси и при необходимости обрезают ботву стандартных корнеплодов. Последние с переборочного стола попадают в резервуар предварительного увлажнения, где размачивается налипшая на корнеплоды земля, а затем транспортируются в моечную камеру. Здесь корнеплоды передвигаются по пальчатой поверхности вращающихся резино-

вых валиков и обмываются сверху струями воды. После мойки редис укладывают в ящики. Линию обслуживают 8 человек.

Аналогичные поточные линии, включающие моечную машину, могут найти применение и на доработке других корнеплодов (морковь, столовая свекла и др.), направляемых на консервные заводы и в торговую сеть.

### МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ КАПУСТЫ

Первая капустоуборочная машина была изготовлена по предложению И. Н. Болотова в 1931 г.

Основными рабочими органами машины (рис. 42) являлись левая и правая теребивные секции, дисковый пилообразный нож и поперечный скребковый транспортер для погрузки кочанов в рядом идущую тележку.

Теребивная секция состояла из двух бесконечных цепей, внутренние ветви которых прижимались друг к другу пружинами. Секции устанавливали под углом  $25^\circ$  к горизонту; при этом горизонтальная проекция скорости движения цепей равнялась 1,38 м/с, т. е. была намного больше поступательной скорости трактора (1,33 м/с).

Растения капусты, захваченные теребивными цепями за кочерыги, извлекались из почвы и подавались к ножу. Последний обрезал кочерыги, а кочаны при выходе из теребивного аппарата падали на поперечный скребковый транспортер и подавались им в рядом идущую тележку.

Машина была выполнена однорядной и агрегатировалась с трактором СТЗ 15/30.

Скребок транспортер, на обоих концах которого закреплено по теребивному аппарату, был установлен на раме трактора шарнирно и мог поворачиваться в левую или правую сторону, в зависимости от того, какой аппарат работал. Такое конструктивное решение позволяло убирать капусту челночным способом с одного края поля. В ра-

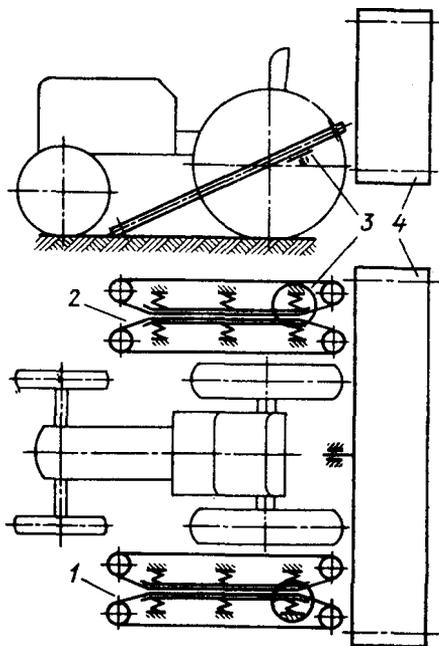


Рис. 42. Схема капустоуборочной машины, изготовленной по предложению И. Н. Болотова:

1 — левая теребивная секция; 2 — правая теребивная секция; 3 — дисковый нож; 4 — поперечный скребковый транспортер

боте всегда находилась одна теребильная секция; вторая в это время была поднята вверх. На конце поля после поворота машины изменялось положение теребильных секций и направление движения скребкового транспортера.

Результаты испытаний оказались неудовлетворительными, так как теребление капусты производилось при помощи цепей, которые не могли подойти к кочерыге, не затронув листьев и кочана. При малой высоте кочерыги кочаны попадали в цепь и затормаживали движение впереди стоящих кочанов, что в конечном счете приводило к их сгруживанию и нарушению технологического процесса.

Широкие работы по механизации уборки капусты развернулись начиная с 1951 г. В период с 1951 по 1954 гг. были созданы однорядные капустоуборочные машины СКМ-1 и ПКН-1, имеющие одинаковую технологическую схему и рабочие органы, но различающиеся способом агрегатирования: первая — прицепная к трактору ХТЗ-7 или «Универсал-2», вторая — навесная на тракторы КДП-35 и МТЗ-2.

Машины СКМ-1 и ПКН-1 предназначены для теребления кочанов, обрезки кочерыги, сбора кочанов в автоприцеп и кочерыг в бункер.

Технологический процесс уборки капусты выполняется следующим образом: во время движения агрегата лифтеры скользят по почве и подходят под листья кочанов. Кочаны вытеребливаются под давлением наклонной плоскости, образованной нижней частью желоба теребильного транспортера, захватываются за кочерыги бесконечными цепями и подаются вверх по желобу транспортера к элеватору. Под цепями расположены два дисковых ножа с принудительным вращением, которые срезают прикорневую часть кочерыги. Кочерыги собираются в бункер, расположенный на раме машины под ножами, и после наполнения его выгружаются путем открывания двухстворчатого днища. Кочаны поступают в приемную камеру поперечного элеватора и подаются им в саморазгружающийся автоприцеп, присоединенный сзади к трактору.

В 1954—1955 гг. заводом «Моссельмаш» было выпущено около 2000 машин ПКН-1, однако в 1956 г. они были сняты с производства из-за неустойчивой работы, особенно при значительном увлажнении почвы, отсутствия экономической эффективности и низких качественных показателей (значительные потери листьев и загрязнение их землей, повреждения кочанов из-за косо и рваного среза кочерыг и др.). Одним из основных недостатков машины, обусловивших отсутствие экономического эффекта от ее применения, являлось то, что она не обеспечивала доведение кочанов до товарной кондиции. Для доработки кочанов требовались значительные затраты ручного труда.

В 1963—1964 гг. проводились испытания разработанного ВИСХОМом комплекса машин для уборки и послеуборочной об-

работки капусты, включающего капустоуборочную машину МК-1 и пункт доработки капусты ПДК-10 [17].

Капустоуборочная машина МК-1 — однорядная, навесная на колесный трактор класса 1,4 тс, имеет следующие рабочие органы: трубчатые лифтеры, два расположенных вертикально цепных стропных транспортера, каждый из которых представляет собой две бесконечные втулочно-роликовые цепи с лапками, соединенные стропами из резиновых трубок, и скребковый выгрузной транспортер.

Технологический процесс работы машины выполняется следующим образом. При движении машины вдоль ряда лифтеры, копируя микрорельеф почвы, подходят под розеточные листья кочанов и частично выравнивают их. По мере движения машины растения входят в зону двигающихся навстречу друг другу стропных транспортеров и кочерыги подходят к расположенным под цепями двум дисковым ножам. Кочерыги обрезаются, а кочаны с розеточными листьями поступают на выгрузной транспортер и подаются в транспортные средства, которые доставляют их на пункт ПДК-10 доработки капусты.

В зависимости от состояния продукта и его назначения на пункте производится инспектирование и доведение кочанов до кондиций, соответствующих условиям длительного хранения, переработки на квашение или реализации в торговой сети.

В результате испытаний было установлено, что применение данного комплекса машин экономически убыточно из-за низкой производительности пункта, обусловленной тем, что капустоуборочная машина МК-1 обрезала кочерыги ниже розеточных листьев. Поэтому каждый кочан, убранный этими машинами, требовал доработки.

Несколько лучшие качественные показатели получались при уборке капусты машиной КРН-1, разработанной ВИСХОМом совместно с ГКБО и НИИОХом [17].

Основное отличие этой машины от рассмотренных (МК-1, машины И. Н. Болотова и др.) заключается в том, что нож для обрезки кочерыги располагается не под нижними теребивильными цепями, а над ними, что позволяет обрезать кочерыгу вместе с частью зеленых листьев.

Капустоуборочная машина КРН-1 — однорядная, навесная на тракторы МТЗ-5ЛС и МТЗ-50ПЛ, предназначена для сплошной уборки капусты, посаженной с междурядьями 60, 70 и 80 см, и одновременной погрузки продукта в рядом идущие транспортные средства.

Основными рабочими органами машины (рис. 43) являются: лифтеры 1, дисковые ножи 2 для обрезки кочерыги вместе с частью зеленых листьев, прутковый элеватор с расположенными над ним горизонтальным стропным транспортером 3 и скребковым транспортером для погрузки продукции в транспортные средства.

Машина КПН-1 обеспечивает несколько лучшее качество уборки по сравнению с машиной МК-1, однако и при ее работе выход товарной продукции получается невысоким, вследствие чего убранная капуста требует доработки с применением ручного труда.

Начиная с 1960 г. проводятся работы по изысканию рабочих органов для механизированной уборки капусты с доведением кочанов до товарного вида. Один из апробированных рабочих

органов, применявшихся на капустоуборочной машине КДН-1, предназначенный для захватывания кочана за кочерыгу, тербления его и обрезки корневой части кочерыги, показан на рис. 44.

Рабочий орган представляет собой два установленных на об-

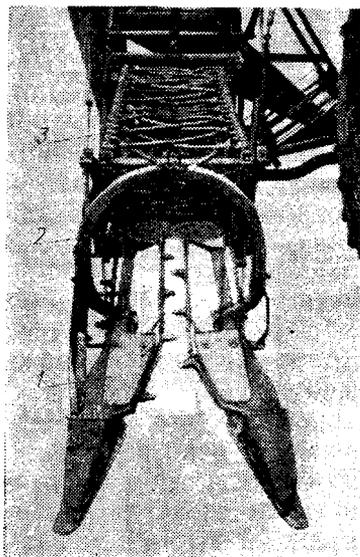


Рис. 43. Рабочие органы капустоуборочной машины КПН-1



Рис. 44. Рабочий орган капустоуборочной машины КДН-1

щем валу трехлопастных диска, вращающихся с одинаковой угловой скоростью навстречу друг другу. Лопасты имеют спиральную форму. При вращении пазы между лопастями верхнего и нижнего дисков периодически (трижды за один оборот) образуют ромбовидный замкнутый контур, перемещающийся вдоль убираемого ряда от периферии дисков к центру. Диски установлены под углом к горизонтали таким образом, что передняя часть находится на уровне поверхности почвы, а задняя — приподнята. Из-за наклона дисков, а также вследствие того, что верхний диск представляет собой усеченный конус, высота расположения над поверхностью почвы ромбовидного контура увеличивается при перемещении от передней части диска к центру. В центральной части пазов установлены серповидные лезвия для обрезки кочерыги. Диаметр дисков 810 мм, частота вращения 48,5 об/мин.

Испытания данного рабочего органа показали, что как по агротехническим показателям, так и по эксплуатационной надежности он не имеет преимуществ перед рабочими органами капустоуборочной машины КРН-1.

Одновременно с разработкой средств для механизированной сплошной уборки кочанной капусты велись работы по частичной механизации уборочных процессов, направленные на уменьшение затрат рабочей силы и облегчение труда. Наибольшая эффективность средств частичной механизации достигается при выборочной уборке капусты ранних и среднеспелых сортов за счет исключения затрат труда на вынос продукции к межквартальным дорогам, погрузку в транспортные средства и другие операции. Для этой цели был разработан ряд уборочных платформ.

При выборочной и частично сплошной уборке кочанной капусты наибольшее распространение получила овощная универсальная платформа ПОУ-2 грузоподъемностью 2 т [17]. С использованием этой платформы при выборочной уборке капусты ранних и среднеспелых сортов затраты труда сокращаются в 3 раза.

К средствам частичной механизации можно отнести также навесной транспортер ТН-12, предназначенный для сплошной уборки капусты среднеспелых и поздних сортов во всех зонах страны [17]. Транспортер состоит из трех секций (центральной, расположенной горизонтально, и двух боковых: правой и левой) общей длиной 12 м, лотков для схода кочанов, механизма привода с реверсивным устройством и опорных колес. Крайние секции с помощью гидросистемы трактора могут устанавливаться как горизонтально, так и под различными углами к поверхности поля в зависимости от высоты бортов транспортных средств. Реверсивный механизм дает возможность грузить кочаны капусты в транспортные средства как правой, так и левой секциями, что позволяет агрегату работать челночным способом. Транспортер можно применять также при укладке капусты в бурты или при погрузке из валков в транспортные средства.

Основные уборочные операции (рубка кочанов и очистка их до товарного вида) при использовании средств частичной механизации выполняются вручную.

В последние годы ведутся работы по созданию комплекса машин для уборки капусты раздельным способом с доведением кочанов до товарного вида в полевых условиях. Сущность этого способа заключается в том, что срезанные и частично доведенные до товарной кондиции уборочной машиной кочаны с шести рядов укладываются в один валок, откуда их вручную подают на полотно транспортера подборщика с одновременной инспекцией и (при необходимости) доработкой. Подборщик грузит их в транспортные средства.

Комплекс состоит из трехрядной уборочной установки МК-3 и позиционного погрузчика ПКП-2.

Установка МК-3 — навесная спереди на гусеничный трактор Т-74, состоит из трех теребивильных секций (по числу убираемых рядов) и поперечного транспортера для укладки кочанов в валок.

Каждая теребивильная секция, в свою очередь, состоит из двух встречно-вращающихся шнеков, двух дисковых ножей, прижимного стропного и отводного пруткового транспортеров.

При движении установки по полю лифтеры подходят под рзеточные листья кочанов, поднимают полеглые и отклонившиеся от центра ряда кочаны и направляют их в шнеки. Последние выравнивают кочаны и с помощью прижимного стропного транспортера подводят их к дисковым ножам. Ножи расположены над шнеками, при этом зазор между шнеками и ножами можно регулировать с помощью винтового механизма, благодаря чему повышается процент товарных кочанов.

После обрезки кочерыг кочаны вместе с опавшими листьями попадают между прутковым и стропным транспортерами и передаются на поперечный отводящий транспортер. Последний с помощью откидной доски позволяет укладывать в один валок капусту, убранную за два прохода установки.

Для погрузки капусты с одновременной ручной доработкой кочанов, обрезка которых машиной не соответствует агротехническим требованиям, применен навесной на трактор МТЗ-50 позиционной погрузчик ПКП-2. Погрузчик состоит из двух продольных и одного поперечного транспортеров и элеватора для погрузки кочанов в транспортные средства.

За рубежом белокочанная капуста не получила такого широкого распространения, как в нашей стране. Например, в США под белокочанной капустой занята площадь около 50 тыс. га, в то время как в колхозах и совхозах СССР она возделывается на площади, превышающей 300 тыс. га.

Механизированная уборка капусты за рубежом в основном ограничивается применением средств частичной механизации типа платформ.

В США для уборки капусты используются машины-платформы конструкции Флоридского университета и др.

В последние годы появились сообщения о создании за рубежом экспериментальных образцов машин для сплошной уборки капусты: однорядной капустоуборочной машины производительностью 0,17 га/ч, разработанной Берлинским комбинатом садоводческой техники в ГДР; капустоуборочной машины, разработанной в штате Северная Каролина (США), универсальной овощеуборочной машины конструкции Национального института сельскохозяйственной техники (Англия) и др.

Технологическая схема машины, разработанной в ГДР, аналогична схеме машины МК-1; только машина дополнительно оборудована пальчатой горкой для очистки кочанов от свободных зеленых листьев, а стропные транспортеры заменены щеточными.

Машина для сплошной уборки кочанной капусты штата Северная Каролина имеет рабочий орган типа пилы с гидравлическим приводом, срезающий кочаны на высоте 2—7 см от поверхности почвы. Кочаны поступают на сепаратор, где они очищаются от срезанных листьев и транспортером подаются в прицепную тележку.

При уборке кочанной капусты английской универсальной овощеуборочной машиной на основной раме (см. рис. 22) вместо применяемого для уборки корнеплодов теребильного аппарата

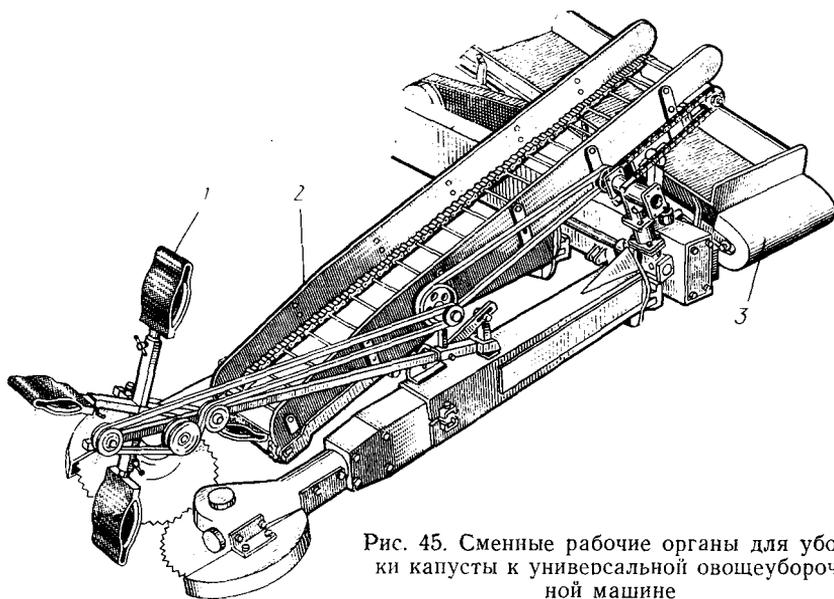


Рис. 45. Сменные рабочие органы для уборки капусты к универсальной овощеуборочной машине

устанавливают мотовило 1 и разреженный прутковый транспортер 2 (рис. 45). Гладкие диски заменяют зубчатыми диаметром 406,4 мм, установленными с перекрытием 12,7 мм. Диски имеют сферические колпаки, скользящие по почве и обеспечивающие заданную высоту среза. Кочаны мотовилом проталкиваются к режущему аппарату и далее поступают на прутковый транспортер, на котором они располагаются в ячейках, образованных поперечными прутками. С пруткового кочаны поступают на поперечный транспортер 3, после чего подаются в транспортные средства.

При такой технологической схеме отсутствует выравнивание кочанов перед режущим аппаратом, поэтому машина может убирать капусту без обрезки зеленых листьев и, следовательно, она не исключает необходимости ручной доработки продукции. Производительность машины — до 120 кочанов в минуту.

С зубчатыми дисками машина может убирать также брюссельскую и листовую капусту, но в этом случае прутковый транспортер и мотовило заменяют теребильным аппаратом. Кочанчики брюссельской капусты отделяют от стеблей вручную или специальной машиной на складе.

В ФРГ фирмой Бляйнрот создан комбайн «Рустика» для уборки капусты. Все рабочие органы комбайна: вращающиеся навстречу один другому шнеки, стропные транспортеры и др., аналогичны рабочим органам, ранее разработанным в СССР. Комбайн изготовляется в двух вариантах с бункером и с транспортером для погрузки кочанов в транспортные средства. Емкость бункера 3,28 м<sup>3</sup>; масса машины с бункером 2200 кг, с транспортером 1700 кг.

### МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ТОМАТОВ

Первой мерой по облегчению труда сборщиков томатов было применение ручных тележек для перевозки четырех-пяти ящиков, тракторных платформ грузоподъемностью до 2 т и, наконец,

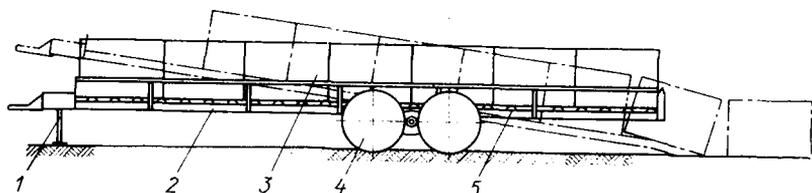


Рис. 46. Схема платформы ПТ-3,5:

1 — стойка; 2 — рама; 3 — контейнеры; 4 — ходовая часть; 5 — рольганг

транспортеров шириной захвата более 10 м. С помощью этих средств механизмуется процесс транспортирования собранных плодов по полю. В нашей стране для этих целей используются платформы ПОУ-2 и ПНСШ-12.

При работе платформ рабочие собирают плоды в подручные средства (ведра, корзины и др.) и высыпают их в ящики, расположенные на платформе. После заполнения всех пустых ящиков (количество их определяется грузоподъемностью платформы) платформа выезжает на край поля, где разгружается вручную.

В случае применения транспортеров плоды высыпают непосредственно на полотно транспортера, который сразу направляет их в рядом идущие транспортные средства.

В последнее время при уборке томатов используется платформа ПТ-3,5 (рис. 46) с загрузкой плодов в контейнеры. Контейнеры имеют длину 800 или 1000 мм и ширину 1200 мм. В зависимости от назначения томатов (для переработки или поставки в торговую сеть) используются контейнеры глубиной соответственно 600 или 300 мм.

Платформу обслуживают один тракторист и 11—15 сборщиц. Процесс уборки такой же, как и при работе предыдущих платформ, но разгрузка платформы в конце поля или на сырьевой площадке пункта первичной переработки томатов автоматическая. Рама при помощи прицепной системы трактора наклоняется на 7—8°, полозья-зажимы открываются и контейнеры при медленном передвижении платформы мягко скатываются на землю. Погрузочно-разгрузочные операции выполняются в дальнейшем погрузчиком АВН-0,5, оборудованным контейнеропрокidyвателем КОН-0,5.

При такой технологии уборки ликвидируются ручные разгрузочные операции в поле и на площадке перерабатывающего пункта. Однако главная операция — сбор плодов выполняется вручную, поэтому наряду с совершенствованием средств частичной механизации уборки томатов создаются средства механизации сбора плодов.

Первые экспериментальные томатоборочные машины имели очесывающие (рис. 47, а — е) или вальцовые (рис. 47, ж — з) плодоотделители. При движении машины вдоль ряда куст томатов прочесывался гребенками (спиралью), плоды отрывались от кисти и скатывались на плодособирающие транспортеры, которые направляли их к месту упаковки. Однако эти машины, так же как и машины с вальцовыми плодоотделителями, не получили дальнейшего развития в основном из-за забываемости плодоотделителя стеблями томатов.

В 1955 г. в нашей стране была изготовлена машина для отделения спелых томатов путем встряхивания кустов на корню. При испытаниях выяснилось, что улавливать отделившиеся плоды трудно и поэтому дальнейшие работы над машинами такого типа были прекращены.

В 1958 г. в США была изготовлена машина (рис. 48, а) на базе картофелеуборочного комбайна с прутковым встряхивающим устройством, рассчитанная не на выборочный сбор томатов, а на разовую уборку с подрезанием куста.

Эта машина стала прототипом всех последующих экспериментальных томатоборочных машин, основными элементами которых независимо от конструктивных особенностей были подрезающий аппарат 1, подборщик 2, плодоотделитель встряхивающего типа 3 и сортировально-выгрузной транспортер 4.

Машина фирмы Петоу сид компани (рис. 48, б) применялась для уборки семенных томатов в агрегате с семеотделителем, который шел рядом с ней. Машина состояла из подборщика с подрезающим скобообразным ножом 5, ременного плодоотделителя 6, шнекового удалителя стеблей и сортировального стола 7.

Оригинальная конструкция плодоотделителя (рис. 48, в) предложена изобретателем Цигенмейером (США). Плодоотделитель имеет кольцообразную дорожку 8 с выступами 9, по которой катятся пневматические колеса 10. Оси колес одним концом соеди-

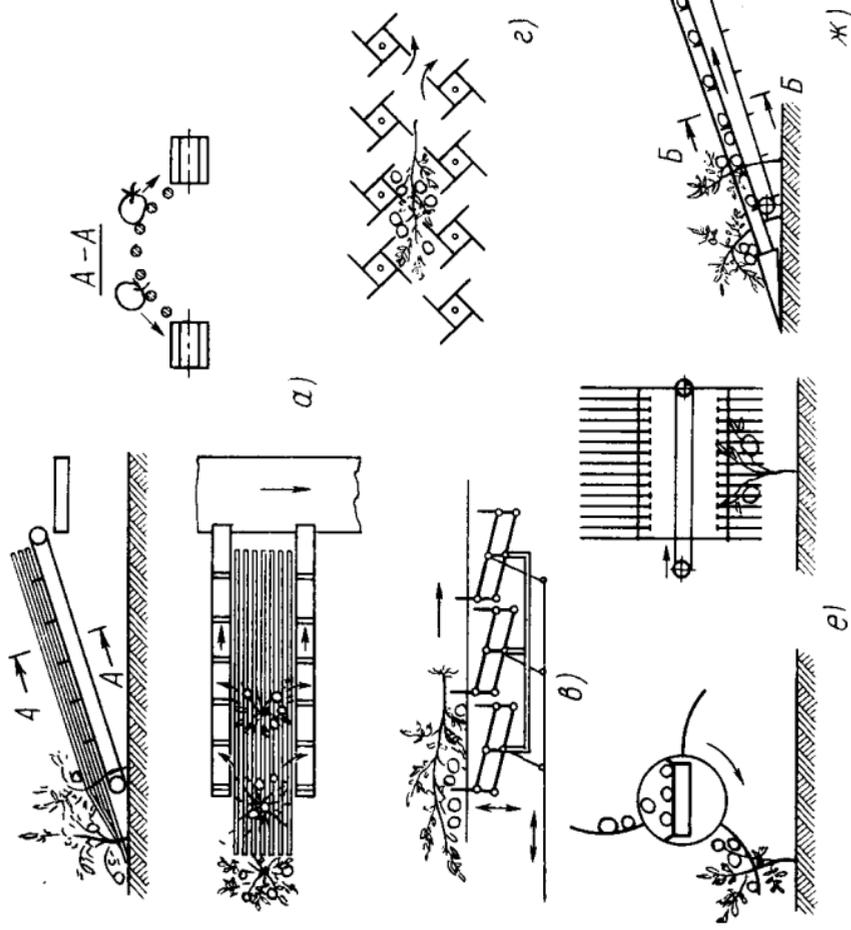
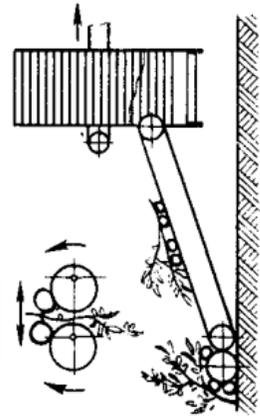
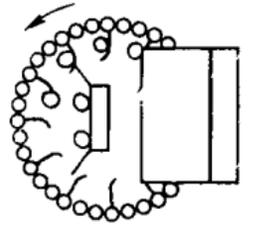
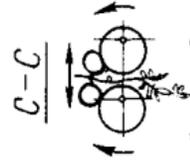
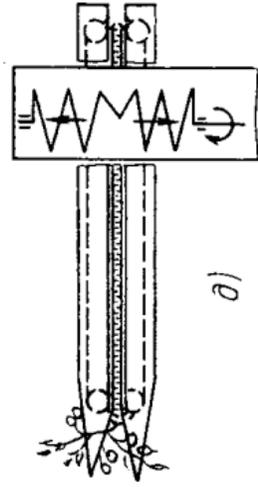
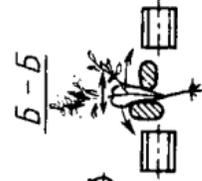
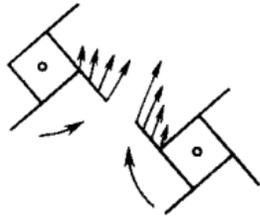
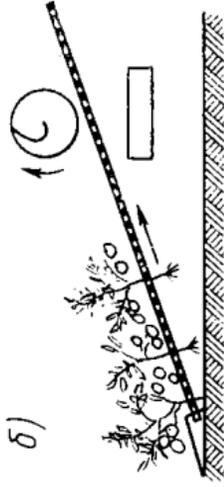
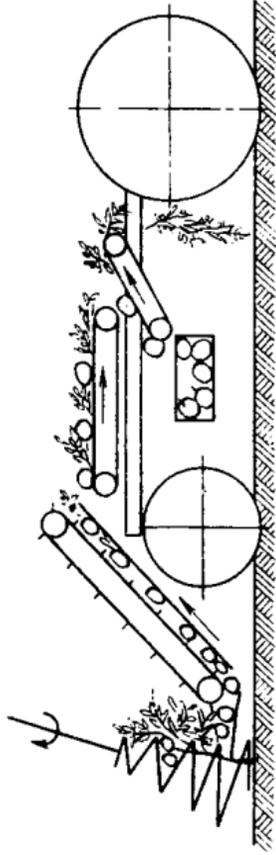


Рис. 47. Схемы томатоборочных машин с плододели-  
 телями очесывающего типа:

*a* — пассивная гребенка; *б* — коническая спираль; *в* — качаю-  
 щаяся гребенка; *г* — вращающиеся гребенки; *д* — цилиндриче-  
 ская спираль; *е* — барабан с гребенками; *ж* и *з* — овалыные и  
 эксцентриковые валцы



3)

нены с вертикальным приводным валом в центре дорожки. На другом конце оси расположен зажим 11. Растения подаются подборщиком к плодоотделителю, где рабочие вручную вставляют в зажимы кусты томатов вверх корнями. При движении колес по выступам происходит ударное встряхивание куста и плоды отрываются.

В Венгрии Сельскохозяйственным институтом зоны Дунай — Тиса (г. Кечкемет) была создана и испытана томатоборочная машина с барабанным плодоотделителем (рис. 48, 2).

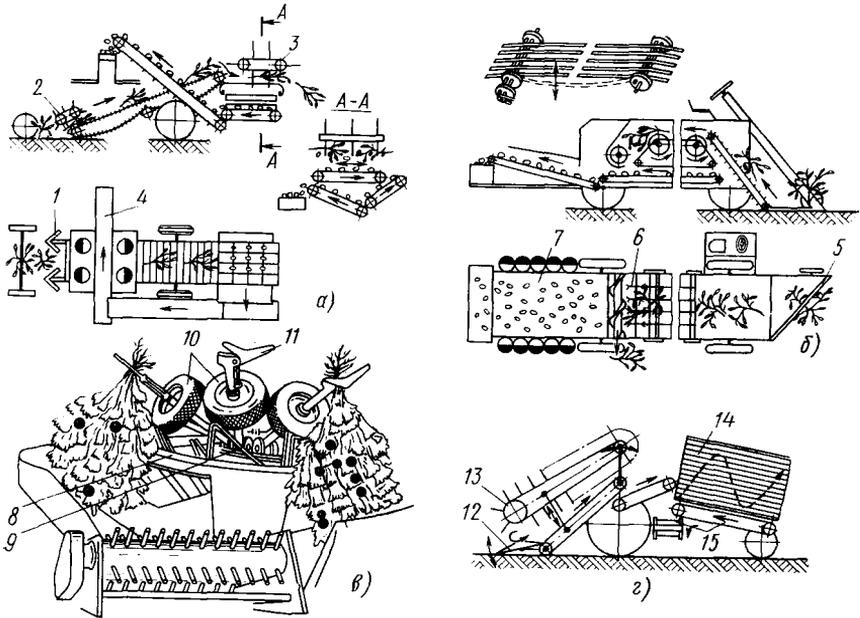


Рис. 48. Томатоборочные машины с инерционными встряхивающими плодоотделителями

При работе этой машины стебли подрезаются двумя дисками 12 и с помощью подборщика 13 подаются в наклонный барабанный плодоотделитель 14, в котором после неоднократного падения плоды отделяются и поступают на плодособирающие транспортеры 15, а кусты выбрасываются на поле.

Однако эти машины по разным причинам не получили широкого распространения.

В настоящее время за рубежом наибольшее распространение получили самоходные томатоборочные комбайны двух фирм: ФМС (Фуд мэшинери корпорейшен) и Блэкуелдер мэньюфекчуринг компани.

Комбайн фирмы Блэкуелдер (рис. 49) подрезает кусты томатов лезвиями ножей 1 и передает на транспортер-подборщик 4

с помощью катка-мотовила 2. Транспортер-подборщик подает кусты на плодоотделитель 7, который напоминает клавишный соломотряс зерноуборочного комбайна (12 клавишей, объединенных в два блока). В отверстия клавишей горизонтально вставлены резиновые пальцы, которые не позволяют кустам проскакивать под плодоотделитель.

Отделившиеся плоды падают на продольный плодособирающий транспортер 10, а стебли клавишами выбрасываются в поле.

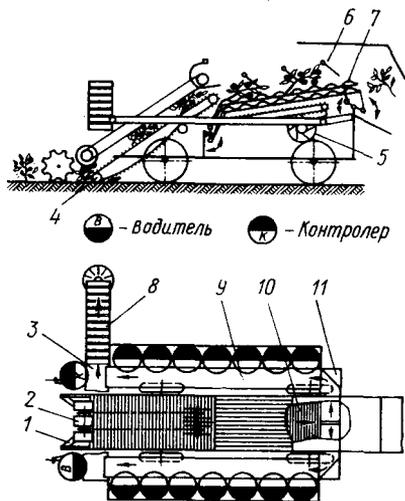


Рис. 49. Схема томатоуборочного комбайна фирмы Блэкуелдер

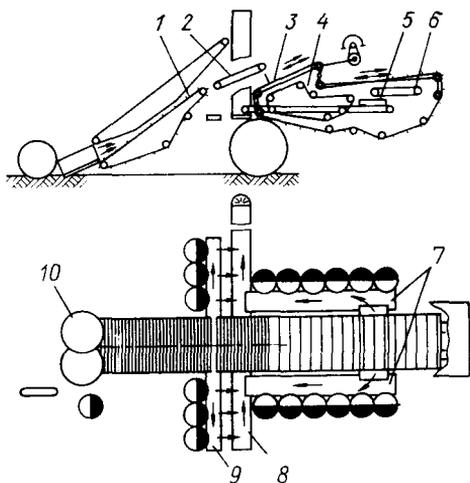


Рис. 50. Схема томатоуборочного комбайна «Каскад»

Для замедления продвижения стеблей по плодоотделителю над клавишами установлены гребенки 6.

С продольного транспортера 10 плоды поступают на поперечные 11, а затем на переборочные столы 9, расположенные по бокам машины. При падении с продольного транспортера на поперечные, плоды проходят сквозь воздушный поток от вентилятора 5, который удаляет легкие примеси.

На переборочных столах рабочими удаляются комья земли, примеси, зеленые, битые и больные плоды. Отсортированные плоды поступают на поперечный транспортер 3, а затем наклонным элеватором 8 направляются в контейнеры на специальном прицепе, идущем рядом с комбайном.

Комбайн фирмы FMC (рис. 50) подрезает стебли томатов дисковым срезающе-подбирающим аппаратом 10, подбирает их и направляет на прутковый наклонный транспортер 1. Осыпавшиеся при подрезании и подборе кустов плоды вместе с захваченной дисками и непросыпавшейся на наклонном транспортере почвой падают на поперечные переборочные транспортеры 9.

Плоды выбираются рабочими и перекладываются на поперечный выгрузной транспортер 8, а комья почвы выносятся в поле. Кусты томатов промежуточным транспортером 2 направляются на транспортер 3 плодотделителя, который совершает 180—200 колебаний в минуту, перемещая кусты к выходу из машины. Плоды отрываются и падают на плодособирающие транспортеры 4 и 6, направляющие их на поперечные выносные транспортеры 5. При падении на них плоды проходят воздушный поток, который удаляет легкие примеси. Поперечные транспортеры 5 направляют плоды на переборочные столы 7, где удаляются неспелые плоды и примеси. Отсортированные плоды выгрузным элеватором направляются в контейнеры транспортного средства.

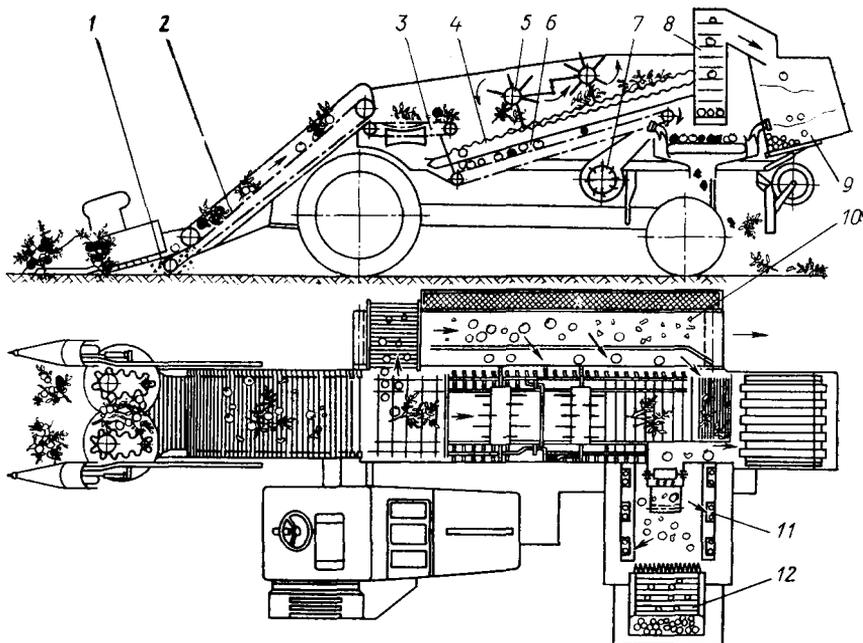


Рис. 51. Схема томатуборочного комбайна КТН-2

который удаляет легкие примеси. Поперечные транспортеры 5 направляют плоды на переборочные столы 7, где удаляются неспелые плоды и примеси. Отсортированные плоды выгрузным элеватором направляются в контейнеры транспортного средства.

По такой же технологической схеме работает отечественный томатуборочный комбайн КТН-2, навешенный на самоходное шасси СШ-75 (рис. 51) [27]. Верхний слой почвы с растениями и осыпавшимися плодами срезается вращающимися дисками 1 и передается на прутковый транспортер-элеватор 2. Затем масса подается на систему транспортеров для выделения почвы и осыпавшихся плодов. Комки почвы и не связанные с ботвой плоды, просеянные прутковым элеватором 3, перед зоной плодотделения поступают на транспортер-переборщик 10, где рабочие выбирают из этого потока кондиционные плоды и направляют их

на поперечный сортировальный стол 11. Кусты с томатами поступают на клавишный плодоотделитель 4. Плоды, отделенные клавишами от кустов, транспортером 6 подаются на поперечный стол 11 для ручного сортирования. Легкие примеси удаляются воздушным потоком вентилятора 7. Ботва клавишами плодоотделителя удаляется за пределы машины на убранный участок поля. Кондиционные красные плоды выгрузным элеватором 12

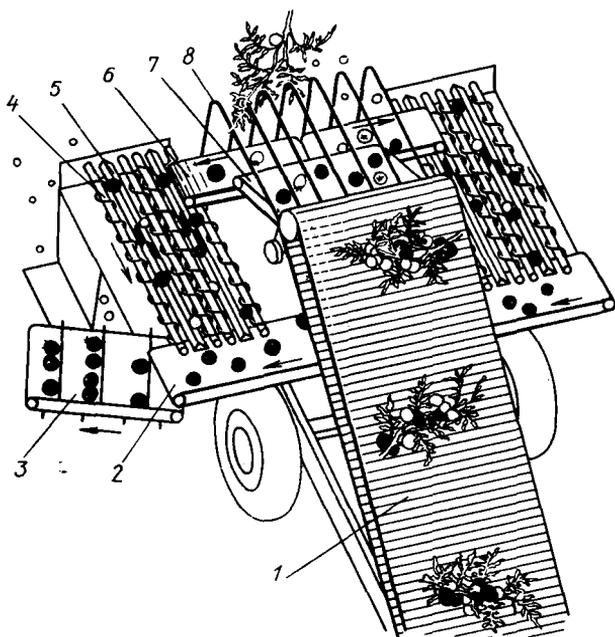


Рис. 52. Томатоуборочный комбайн Пенсильванского университета с фотоэлектронной сортировкой

подаются в контейнеры, установленные на специальном прицепе. Зеленые плоды элеватором 8 отводятся в бункер 9.

Производительность рассмотренных комбайнов невелика, поэтому для повышения производительности мобильной уборочной машины фирма Блэкуелдер увеличила количество рабочих мест для рабочих-переборщиков. Однако это утяжелило машину и усложнило ее конструкцию.

Другой путь повышения производительности — это автоматизация процесса сортирования томатов по степени спелости с помощью фотоэлектрических устройств. Томатоуборочный комбайн, созданный в Пенсильванском университете (рис. 52), обслуживается бригадой всего из трех человек (вместо 15—18 на рассмотренных комбайнах), удаляющих комья земли и переспевшие плоды.

В этом комбайне помимо подъемного транспортера 1, плододеливателя 8 и системы транспортеров 6 и 7 установлено два сортирующих блока, каждый из которых включает в себя четыре шнековых валика 4 и два фотоэлектрических анализатора 5. Валики распределяют поступающие плоды по одному в ряд и перемещают их вдоль оси к анализатору, оценивающему степень спелости томатов по отраженному излучению. В зависимости от цвета плода отраженное от него излучение воздействует на фотоэлемент устройства, вызывая электрические сигналы разной

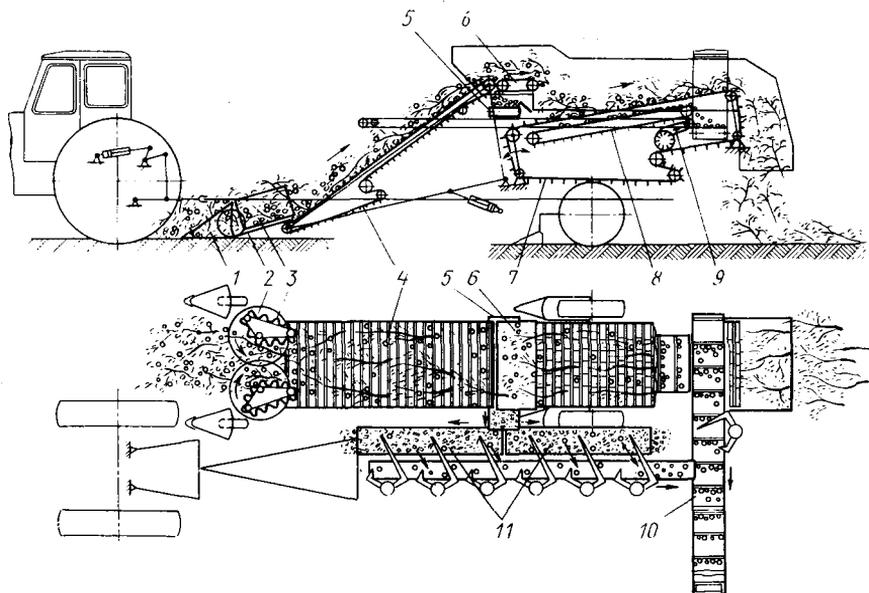


Рис. 53. Схема томатоборочного комбайна КТ-5

силы, которые затем усиливаются и управляют заслонкой. Сигнал от зеленых плодов и плодов молочной спелости достаточен, чтобы заслонка открылась, и они упали на поле, а при сигнале от красных — заслонка не открывается, плоды проходят над ней и поступают на поперечный транспортер 2, а затем выгрузным транспортером 3 подаются в транспортное средство. Такое устройство сортирует томаты только на две фракции — спелую и неспелую.

Наряду с описанной технологией уборки применяется и раздельная, при которой томаты убираются упрощенной машиной без рабочих-переборщиков, а окончательно сортируются на стационарном пункте. К таким машинам относятся отечественные томатоборочные комбайны КТ-2 и КТ-5 (рис. 53).

Стеблеподъемник 1, подборщики 2 и 3 и почвоотделители комбайнов КТ-2 и КТ-5 аналогичны таким же рабочим органам

томатоуборочного комбайна «Каскад» фирмы ФМС. Осыпавшиеся при подборе плоды транспортером подборщика 4 и поперечным транспортером 5 подаются на переборочный стол 11, где вручную отбираются и направляются в общий поток томатов.

Стебли с плодами с промежуточного транспортера 6 попадают на поверхность транспортерно-грохотного плодоотделителя 7, на котором томаты отделяются от стеблей и просыпаются на продольный плодособирающий транспортер 8, направляющий их

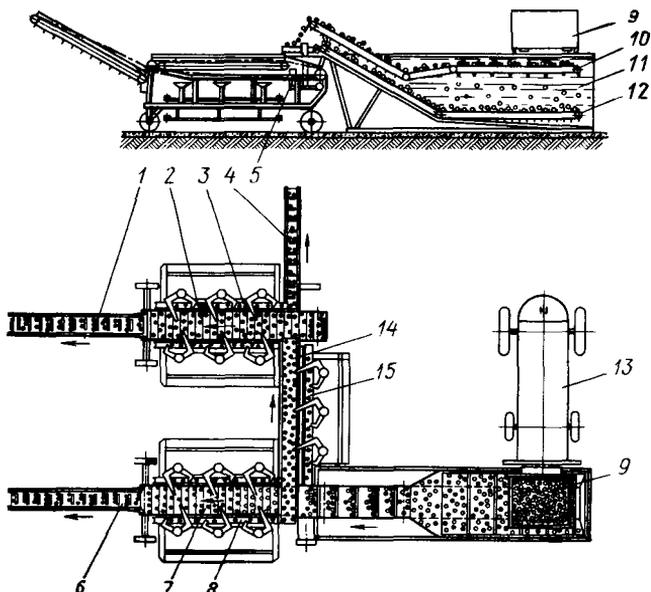


Рис. 54. Сортировальный пункт для томатов

к выгрузному транспортеру 10. Легкие примеси удаляются с помощью вентилятора 9.

Плоды выгрузным транспортером направляются в рядом идущую транспортную платформу ПТ-3,5. После заполнения всех контейнеров платформа направляется на разгрузочную площадку сортировального пункта (рис. 54).

Специальным контейнероопрокидывателем 13 плоды из контейнеров 9 выгружаются в приемный бункер 11. Если томаты подвергаются водному сортированию, то основная часть спелых плодов опускается на нижний транспортер 12 и выносится из бункера на переборочный стол 7. Отсортированные спелые томаты с переборочного стола подаются транспортером 6 на линию первичной переработки.

Всплывшая часть плодов подается лопастным транспортером 10 к верхнему транспортеру, который переносит их на поперечный ременный переборочный стол 14, где спелые томаты

выбирают и возвращают вспомогательным транспортом 15 в поток красных плодов.

Оставшиеся зеленые томаты поступают на переборочный стол 2, где выбирают стандартные плоды, годные для переработки или дозаривания, или, наоборот, удаляют нестандартные, в зависимости от количества той или другой фракции. Оставшиеся зеленые томаты попадают на выгрузной транспортер 1. Отходы выносятся за пределы пункта транспортерами 3, 4, 5 и 8.

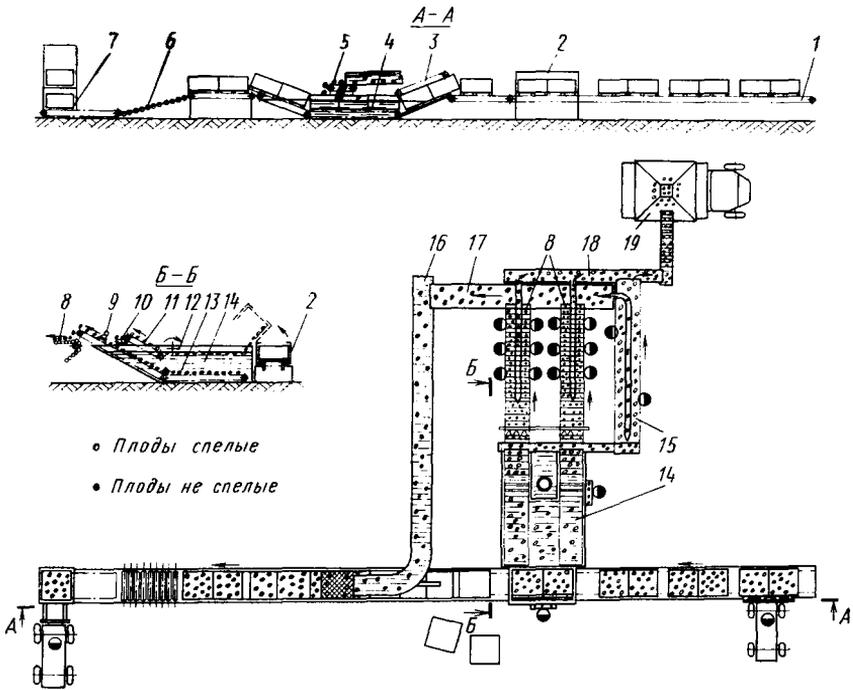


Рис. 55. Станция для сортирования томатов по степени спелости

В том случае, когда плоды не подвергаются водному сортированию, пункт можно перестроить в линию, поставив переборочные столы один за другим. В пункте последней модели благодаря конструктивному усовершенствованию приемного бункера такая перестройка не требуется.

В США плоды окончательно сортируют на центральной сортировальной станции, где их разделяют на спелые и неспелые. При этом спелые плоды упаковывают и перевозят на консервный завод.

Станция работает следующим образом (рис. 55). Поступившие от уборочной машины контейнеры с томатами вильчатым погрузчиком переносятся на стеллаж 1 с транспортными цепями,

которые перемещают контейнеры к опрокидывателю 2. Контейнеры поворачиваются так, что все плоды высыпаются из них в приемный бункер 14.

Пустые контейнеры направляются к ванне 4, принудительно погружаются прижимной цепью 3 в воду под сетчатый транспортер 5, который подает в них отсортированные спелые плоды. Заполненные контейнеры выносятся из ванны и направляются к рольгангу 6, по которому они скатываются к автоматическому подъемнику 7, группирующему по два контейнера для складирования или погрузки их на трайлеры.

Вторая линия начинается с приемного бункера 14 с водой. Спелые плоды и почва оседают вниз на транспортер 13 и, пройдя под душевым устройством 9, подаются на роликовые транспортеры-переборщики 8. Отсортированные стандартные спелые плоды направляются на поперечный транспортер 17, откуда они поступают в гидротранспортер 16 и переносятся к сетчатому транспортеру для загрузки в контейнеры.

Неспелые и небольшая часть спелых плодов всплывают и крыльчаткой 12 подаются на выносной транспортер 11, который направляет их на поперечный транспортер 10, откуда они поступают на переборщик 15. Здесь из потока плодов выбирают стандартные спелые, которые затем направляются в гидротранспортер, а неспелые транспортером 18 в бункер отходов 19.

В США фирмой Элекс сортинг мэшин разработана сортировальная машина томатов по цвету с помощью фотоэлектронной аппаратуры. Томаты высыпают на транспортер 1 предварительного сортирования (рис. 56), где вручную удаляют битые, раздавленные плоды и различные примеси. Оставшиеся плоды элеватором 2 подаются на сингулятор, обеспечивающий поштучную подачу их в транспортер 5. Сингулятор 3 представляет собой мягкий семижелобчатый стол, совершающий колебательные движения. В конце сингулятора установлен качающийся затвор 4, который поднимается и опускается каждую секунду. Благодаря этому каждую секунду при опускании затвора плоды падают в карманы вертикального конвейера 5. Карманы с плодами при опускании вниз закрываются при помощи другого транспортера 6 и только внизу открываются, а плод падает в ячейки карусельного конвейера 8, вращающегося с частотой 30 об/мин. Каждая ячейка состоит из двух створок. При падении в ячейку плод проходит смотровую камеру 7, где фотоэлементы осматривают плод с трех сторон. Сигналы фотоэлементов усиливаются и подвергаются электронной классификации, чем обеспечивается определение средней величины степени окраски плода. После этого результат электронным устройством фиксируется в памяти машины, которая связана с исполнительным механизмом, управляющим створками ячеек карусельного конвейера. Ячейки проходят над ленточным транспортером, разделенным на три-пять желобков (в зависимости от количе-

ства фракций). Каждый желобок предназначен для плода определенного цвета. Створки ячеек карусельного транспортера раскрываются над тем желобом, который соответствует цвету находящегося в ячейке плода. Ленточный транспортер 9 подает плод к упаковочным местам.

Обе технологические схемы уборки, комбайновая и раздельная, имеют свои преимущества и недостатки.

При первой схеме уборки из комбайна выходят только спелые плоды, которые сразу могут быть направлены на перерабатывающее предприятие; лучше используется грузоподъемность транспортных средств, так как не требуется перевозить

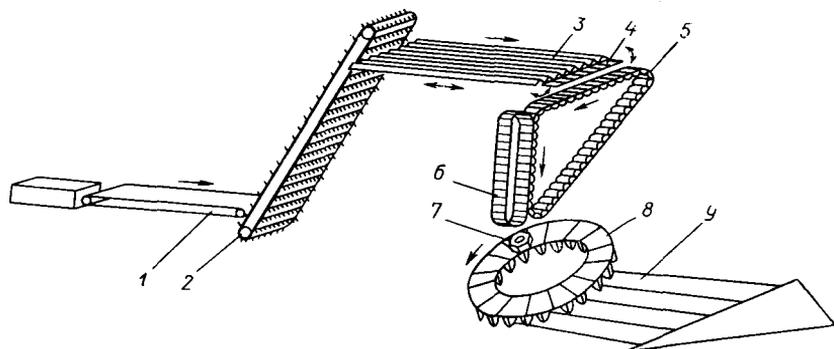


Рис. 56. Схема фотоэлектронной сортировальной машины фирмы Элексо сортинг мэшин (США)

балласт в виде нестандартной продукции и примесей. Однако ручное сортирование плодов на комбайне не позволяет полностью использовать пропускную способность плодоотделителя.

Коэффициент использования рабочего времени смены у комбайна значительно ниже (0,6), чем у стационарного пункта (0,8—0,85). Следовательно, сортировщики на комбайне используются менее эффективно, чем на сортировочном пункте. Рабочие на уборочной машине находятся в худших санитарно-гигиенических условиях (шум, запыленность), чем на пункте.

Стационарные сортировочные пункты более перспективны с точки зрения полной автоматизации процесса сортирования томатов.

### МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ОГУРЦОВ

Для уборки огурцов применяются машины, выполняющие вспомогательные операции (транспортирование по полю, разгрузка и перевалка собранных плодов) и уборочные, выполняющие все операции, в том числе и сбор плодов. Последние,

в свою очередь, делятся на машины для выборочного и сплошного (одноразового) сборов.

Сортирование плодов может выполняться как на самой уборочной машине (частичное), так и на стационарном пункте (полное сортирование с калиброванием).

В нашей стране для выборочной уборки огурцов используются платформы ПОУ-2 и ПНСШ-12. Наряду с этим ведутся работы по выведению новых сортов огурцов, пригодных для машинной уборки, исследуются рабочие органы для подбора растений и отделения огурцов от стеблей [28]. На основании отечественных установок и венгерской уборочной машины исследуется общая технология уборки огурцов и определяются требования к агротехнике их возделывания.

В США исследовательские работы по механизации выборочной уборки огурцов начались с 1945 г. Был разработан ряд экспериментальных машин. Для работы машины, созданной в Мичиганском университете, необходимо, чтобы плети были уложены только перпендикулярно к оси ряда. Это осуществляется с помощью плетукладчика, который создает мощный воздушный поток перпендикулярно ряду и ориентирует плеть.

Плети поднимаются вакуумным (или механическим) транспортером-подъемником, который представляет собой трехслойную прорезиненную ленту с отверстиями, вращающуюся вокруг всасывающей камеры. Когда камера, представляющая собой закрытый полый цилиндр с окном снизу, проходит над растениями, листья огурцов притягиваются к перфорированной ленте. Так как скорость ленты равна скорости машины, то плети остаются неподвижными. Огурцы (зеленцы) свисают с приподнятой плети и, когда плодоотрывочный стол машины проходит под плетью, сбиваются специальными планками.

Другая машина, испытанная в 1966 г., основана на отрыве плодов неподвижными прутками при перемещении ее вдоль оси ряда [37].

Машина состоит из щеточных валиков и вибрирующих решет. Щеточные валики поднимают плети и опускают их на переднюю часть решет. При встрече со свисающим огурцом прутки отрывают его. Отделившиеся огурцы перемещаются к элеватору, который выгружает их в ящики. Проверка показала, что машиной отрывается 40—60% мелких и средних плодов и до 100% крупных. Эти машины, а так же ряд других, предлагавшихся другими фирмами (фирма Чисхолм райдер выпустила 26 машин для выборочной уборки огурцов), предназначались для пяти-, восьмикратного сбора плодов.

Исследованиями Мичиганского университета установлены существенные недостатки многоразового способа механизированной уборки огурцов [38]:

- 1) невозможность собрать все товарные плоды;
- 2) повреждения плетей при повторных подъемах;

3) низкие урожаи из-за широких междурядий (1,5—1,8 м), которые необходимы для удовлетворительной работы машины;  
 4) тербление растений из почвы при сильно развитых плетях;

5) ограниченная производительность машины из-за необходимости повторной уборки плодов с одних и тех же растений.

В экономическом отношении более выгодной оказалась машина для одnorазовой уборки огурцов.

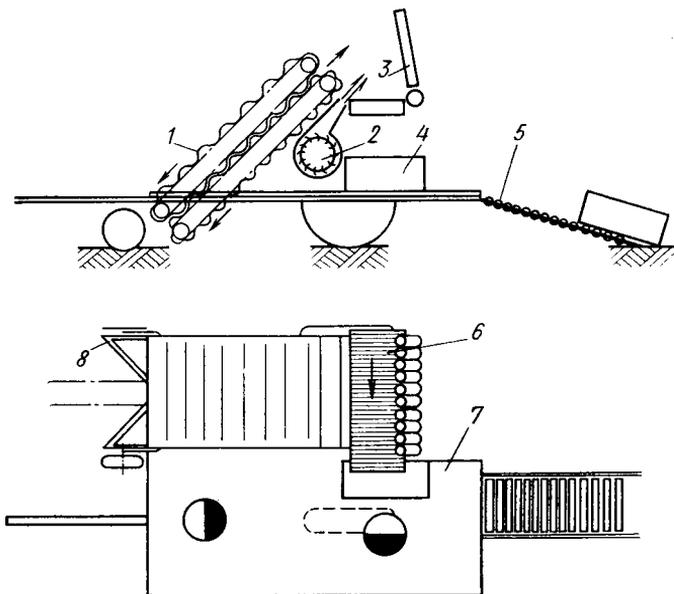


Рис. 57. Схема венгерской прицепной машины для уборки огурцов:

1 — подбирающие гофрированные транспортеры; 2 — вентилятор; 3 — плодоотделяющие вальцы; 4 — тара для сбора огурцов; 5 — ролик; 6 — плодособирающий транспортер; 7 — площадка для ящиков; 8 — подрезающие ножи

В Венгерской Народной Республике создана прицепная машина для уборки огурцов шириной захвата 1 м (рис. 57).

В процессе работы растения подрезаются лезвиями ножей 8 и захватываются гофрированными транспортерами 1. Плети с огурцами направляются транспортерами к плодоотделяющим вальцам 3. При сходе с транспортеров 1 плети подхватываются воздушным потоком от вентилятора 2. Прижатые к вальцам воздушной струей листья и плети огурцов захватываются ими, а плоды отрываются и падают вниз на поперечный плодособирающий транспортер 6, который направляет их к площадке 7 затаривания в ящики.

Машина фирмы Портер-Уей харвестер (США) имеет четыре горизонтальных вальца 5 (рис. 58). Растения подбираются пружинами

жинными пальцами подборщика 2 и подрезаются у самой земли сегментным колеблющимся ножом 1. Затем плети с огурцами захватываются двумя передними вальцами 5, верхний из которых покрыт резиной, а нижний гладкий, и протаскиваются. Сзади плети подхватываются второй парой покрытых резиной валцов и выбрасываются в поле. Оторвавшиеся плоды падают на плодособирающий транспортер 3, затем на транспортер подачи плодов 4, где отделяются примеси потоком воздуха от вентилятора. Отсортированные огурцы перебрасывающим диском подаются на наклонный элеватор 8, а затем транспортером 7 в бункер 6. Наполнением бункера управляет оператор, периодически разгружая его в транспортные средства.

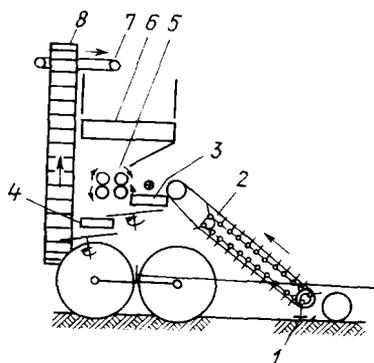


Рис. 58. Схема машины фирмы Портер-Уей харвестер для уборки огурцов

Фирмой ФМС создан самоходный комбайн модели 5 для уборки огурцов. Плетви огурцов подрезаются в почве ножами с автоматическим регулированием глубины подкапывания. Растения с плодами подбираются стальными пальцами ременного полотна подборщика и подаются на промежуточный транспортер для рассредоточения. С транспортера плети поступают на покрытые мягкой резиной плодотделяющие ролики, которыми огурцы отрываються. Плетви удаляются, а плоды падают на поперечный конвейер, где отделяются почвенные примеси. От легковесных примесей огурцы освобождаются воздушной струей, создаваемой вентилятором.

Освободившиеся от остатков плетей огурцы направляются на прутковый калибровщик, который выделяет переросшие плоды. Наконец, огурцы проходят небольшой инспекционный участок, где один или два рабочих удаляют желтые плоды. После этого плоды поступают в бункер вместимостью 2,5 м<sup>3</sup>. Резиновые перегородки, установленные в бункере, регулируют загрузку и уменьшают давление вышележащих плодов на нижележащие.

Огурцы, убранные комбайном, необходимо калибровать, так как в ворохе плодов находятся зеленцы, корнишоны и пиккули.

### МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ОВОЩНОГО ГОРОХА

Для механизации уборки овощного гороха в настоящее время применяются следующие машины: приспособления к косилкам для уборки трав, позволяющие убирать овощной горох с образованием валка; жатки-валкообразователи; жатки-погрузчики;

машины, выдергивающие стебли растений из почвы; подборщики-погрузчики; стационарные горохомолотильные машины; передвижные горохомолотильные машины; комбайны.

Одной из основных операций при всех известных в настоящее время способах уборки является срез зеленой массы и укладка ее в валки.

Специфической особенностью гороха является низкое расположение бобов и сильное переплетение растений. Тем не менее, возможна уборка овощного гороха косилкой КСХ-2,1А, снабженной дополнительным приспособлением ПБ-2,1.

Приспособление ПБ-2,1 состоит из режущего аппарата нормального резания, к которому шарнирно прикреплена валкообразующая решетка. На пальцевом бруске болтами закреплены кронштейны для крепления на каждом третьем пальце лифтеров, поднимающих и направляющих к режущему аппарату полеглые растения.

Жатки для бобовых культур, в том числе и для зеленого горошка, делятся на два типа: жатки-валкообразователи и жатки-погрузчики.

В нашей стране получили распространение жатки-валкообразователи, к которым относятся жатки ЖНУ-3,2 и ЖНБ-3,2, выпущавшиеся опытными партиями до 1962 г., и жатка-валкообразователь ЖБА-3,5, изготавливаемая с 1962 г.

Технологический процесс, выполняемый жатками валкообразователями ЖНУ-3,2, ЖНБ-3,2 и ЖБА-3,5 при уборке гороха, протекает следующим образом. Лифтеры поднимают полеглые стебли растений, а плавающий режущий аппарат срезает их. Пальцы мотовила перехватывают срезанные стебли и по планкам переходной решетки подают их на транспортер, которым скошенная масса укладывается в валок.

Наряду с жатками в некоторых странах используют теребивные машины. Так, в Румынии создана прицепная теребивная машина МРМ-2,2, основными рабочими органами которой являются теребивный барабан, ротационный делитель, продольный и поперечный транспортеры.

Стебли гороха поднимаются и извлекаются из почвы пальцами теребивного барабана, а затем вся масса подается на систему продольных транспортеров, которые укладывают ее в валок.

В Советском Союзе создана навесная безмотовильная жатка ЖНТ-2,1, которая может обеспечить работу как чистым тереблением, так и с одновременным подрезанием стеблей растений режущим аппаратом. Жатка ЖНТ-2,1 (рис. 59) состоит из эксцентрикового пальцевого барабана 3, режущего аппарата 4, поперечного транспортера 1, делителей 2, механизма привода рабочих органов и уравновешивающих пружин.

При уборке овощного гороха в комплексе с комбайном КБК-1,0 жатка может образовать одинарный или сдвоенный

валок в зависимости от густоты стеблестоя. Подбор гороха из валков может выполняться подборщиком-погрузчиком ППГ-1,4.

Подбирающий барабан, вращаясь от ходовых колес, поднимает валок зеленой массы гороха и подает на цепочно-планчатое полотно элеватора, которым он направляется в кузов автомашины.

С целью исключения промежуточных операций (образование валков и последующий подбор их) сейчас применяются жатки-погрузчики.

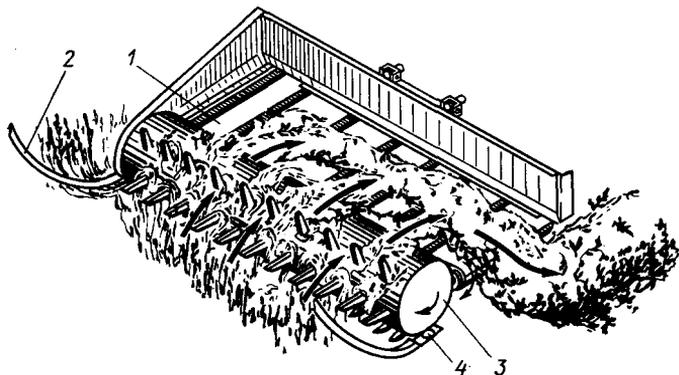


Рис. 59. Схема жатки ЖНТ-2,1

Подобранный из валков и загруженный в транспортные средства (автосамосвалы или саморазгружающиеся тракторные тележки) овощной горох направляется на стационарный молотильный пункт, где разгружается на асфальтированной или бетонированной площадке.

Технологический процесс, выполняемый на пункте, заключается в следующем: зеленая масса подается в питатели, которые направляют ее в молотильные барабаны. Вымолоченное и частично отсепарированное зерно от всех молотилок поступает на гидравлический транспортер, который направляет его в устройства для удаления тяжелых примесей (земли, камней), отделения створок, мелких лепестков, дробленого гороха. Далее зерно с водой насосом перекачивается в бункер вместимостью 2,5—4 м<sup>3</sup>, а затем в автоцистерну, предварительно заполненную охлажденной водой из расчета, чтобы отношение зерна к воде было 2 : 1.

В последнее время горохомолотильные пункты объединяют с пунктом первичной переработки томатов. При этом пункты размещаются взаимно перпендикулярно, имеют общую сырьевую площадку и общие бункеры-накопители, что снижает их металлоемкость и занимаемую площадь, повышает сезонную загрузку оборудования.

На горохомолотильном пункте устанавливают молотилки фирмы Готхардт и Кюне (ГДР), венгерские молотилки, а также английские молотилки фирмы Мадер энд Плэтт [14].

Для небольших хозяйств в ГДР выпускаются передвижные горохомолотильные машины, которые можно перевозить из одного хозяйства в другое. Машины имеют молотильные барабаны конической формы с поперечной сепарирующей горкой, как и на машине фирмы Мадер энд Плэтт.

При раздельной уборке овощной горох претерпевает неоднократные перевалки (сбор в валок, подбор из валка и погрузка в транспортные средства, разгрузка на сырьевой площадке и загрузка в приемные устройства молотилок). В связи с этим в Советском Союзе и за рубежом были созданы мобильные молотилки. У нас в стране была выпущена серия передвижных прицепных горохомолотильных комбайнов КБК-1,0, привод подборщика в которых осуществляется от ВОМ трактора, а молотилки — от автономного двигателя. Ширина захвата подборщика составляет 1 м, рабочие скорости — 0,8—1,5 км/ч, производительность — 0,25 га/ч.

Схема технологического процесса подбора и обмолота овощного гороха этим комбайном показана на рис. 60.

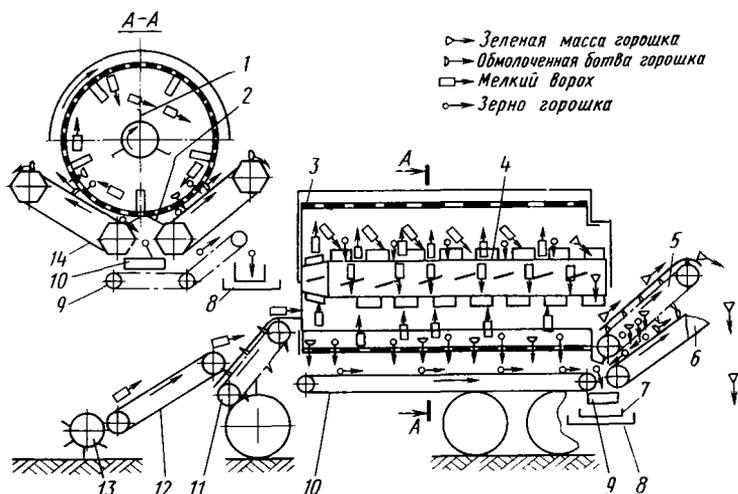


Рис. 60. Схема технологического процесса комбайна КБК-1,0 по обмолоту овощного гороха

Вращающийся барабан 13 подборщика подхватывает пальцами зеленую массу валка, подает ее на транспортер 12 подборщика и далее на питающий транспортер 11. Отсюда масса поступает в молотильный барабан 4, где зерно лопастями 1 вымолачивается из бобов и вместе с мелкими примесями поступает через отверстия в наружном барабане 3 на сепари-

рующие горки 14, или частично на скатную доску 2 и уже затем на горки. Далее чистое зерно скатывается вниз и попадает на продольный зерновой транспортер 10, затем в тару (ящики 7). Легкие примеси (створки бобов, листья и т. п.) по сепарирующим горкам поднимаются вверх и выбрасываются. Обмолоченные стебли со створками бобов из молотильного аппарата выносятся на соломотряс 5, зерна проваливаются между прутками и попадают на очистительную горку 6. Зерно скатывается вниз на транспортер 9 и далее в ящики 7, установленные на специальной площадке 8, а примеси сбрасываются вместе с зеленой массой на площадку копнителя.

Качество обмолота регулируют изменением частоты вращения двигателя, а также наклоном молотилки при помощи выравнивающей гидросистемы с автоматическим управлением.

Комбайн ИМС 963 (Бельгия) аналогичен комбайну КБК-1. В этом комбайне подборщик приводится в движение гидромотором, а его скорость может регулироваться на ходу. Автоматическая система выравнивания обеспечивает не только продольную, но и поперечную стабилизацию. Комбайн имеет бункер, вмещающий 750 кг зерна.

Самоходная молотилка ИМС/ФМС 363 имеет бункер вместимостью 600 кг. Высота выгрузного транспортера регулируется в зависимости от высоты транспортных средств.

Наиболее рационально применять такие машины группами по три-пять одновременно. Это позволяет лучше использовать валкообразующие жатки и транспортные средства для перевозки зеленого горошка.

Все рассмотренные молотилки, различаясь конструктивно, имели общий принцип выделения зерна, основанный на ударном воздействии рабочих органов на бобы.

Английская фирма Мадер энд Плэтт сконструировала комбайн с оригинальным устройством для обмолота зерна, основанным на принципе перетирания бобов между роликами [14]. Комбайн может подбирать валки или сам выдергивать овощной горох с помощью сдвоенных барабанов.

Как видно из рассмотренных схем комбайнов, основным направлением в разработке их конструкций является создание высокопроизводительных машин, работа которых не зависит от рельефа поля.

Каждая из рассмотренных технологических схем уборки имеет преимущества и недостатки. При отдельной уборке с использованием стационарного горохомолотильного пункта в поле работает сравнительно простая, легкая и высокопроизводительная машина — жатка, а сложный процесс обмолота и очистки зерна происходит в стационарных условиях, где многие операции можно механизировать и даже автоматизировать. Работа может выполняться в три смены, что очень важно в период созревания овощного гороха. На стационарном пункте

можно организовать более тщательную очистку зерна с помощью воды, рациональнее используются транспортные средства на перевозке зерна и зеленой массы для силосования.

Однако на стационарных пунктах ручная загрузка не позволяет создать непрерывную и выравненную подачу зеленой массы в молотилки, что снижает производительность и ухудшает качество обмолота гороха. Этот недостаток устранен в мобильных горохомолотилках и комбайнах. При высокой надежности машин и четкой организации работ мобильные молотилки могут дать такую же производительность, как и стационарные.

## Глава III

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ТЕРЕБИЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ

#### БОТВОПОДЪЕМНИКИ

**Б**отвоподъемники (лифтеры) монтируют в передней части машины. Они выполняют первую операцию процесса уборки — поднимают лежащие на земле листья ботвы, формируют ее в пучок и передают в теребильный аппарат.

От качества работы ботвоподъемников в значительной степени зависит качество выполнения остальных уборочных операций. При неудовлетворительной работе ботвоподъемников полеглые листья ботвы не попадают в теребильный аппарат, что отрицательно сказывается на полноте извлечения корнеплодов, а свисающие из теребильного аппарата листья ботвы не подводятся к ножу и не обрезаются.

Наибольшее распространение получили пассивные ботвоподъемники, выполненные из прутков (рис. 61) или из листового материала. Они располагаются с обеих сторон убираемого ряда таким образом, чтобы расстояние  $B$  между их носками составляло 210—240 мм, а ширина  $b$  щели, образуемой ботвоподъемниками в зоне приемной части теребильного аппарата, не превышала 50 мм.

Для нормальной работы ботвоподъемников угол между направлением движения машины и прутками ботвоподъемника (или образующими ботвоподъемников, выполненных из листа) и угол трения ботвы по поверхности ботвоподъемника в сумме не должны превышать  $90^\circ$ .

$$\operatorname{arctg} \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_{\text{п}} + \operatorname{tg}^2 \beta_{\text{п}}} + \varphi \leq \frac{\pi}{2}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\text{п}}$  и  $\beta_{\text{п}}$  — соответственно углы между прутками и направлением движения в продольно-вертикальной и горизонтальной плоскости;

$\varphi$  — угол трения ботвы по материалу ботвоподъемника.

Длина прутков ботвоподъемников может быть определена по формуле:

$$l = \frac{B - b}{2 \sin \beta_n \cos \alpha_n}.$$

Пассивные ботвоподъемники удовлетворительно поднимают листья ботвы, лежащие поперек убираемого ряда, и не поднимают листья, лежащие вдоль ряда.

Для подъема листьев, лежащих вдоль ряда, применяются активные ботвоподъемники: щеточные и лопастные (рис. 62), которые также располагаются с обеих сторон убираемого ряда. В процессе работы вращаются прикрепленные к валам гибкие лопасти и, касаясь земли, прочесывают ряд и поднимают ботву на нужную высоту, подавая ее к приемной части тербильного аппарата.

Конструкция активных ботвоподъемников для обеспечения качественного подъема ботвы должна отвечать следующим требованиям:

1) лопасти должны не только касаться почвы, но и чертить на ней следы, заканчивающиеся за линией ряда, что достигается достаточной длиной и эластичностью лопастей;

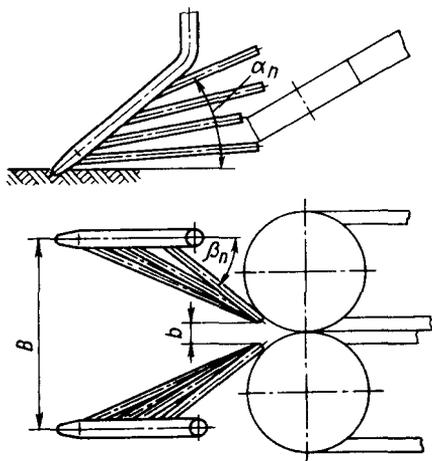


Рис. 61. Пассивный прутковый ботвоподъемник

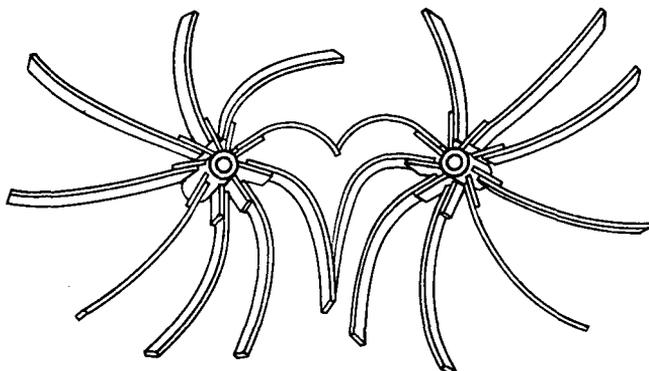


Рис. 62. Активный лопастной ботвоподъемник

2) наклон оси вращения ботвоподъемника должен обеспечивать ввод ботвы в устье теребильного аппарата и свободный проход ее между лопастями.

В соответствии с этими требованиями межосевое расстояние  $s = O_1O_2$  (рис. 63) ботвоподъемников определяется по формуле:

$$s \leq l_c \sin \alpha_{л} + 2 \sqrt{R^2 - \left(\frac{l_c}{2}\right)^2} \cos^2 \beta_{л}, \quad (2)$$

где  $l_c$  — длина следа лопастей на поверхности поля;

$\alpha_{л}$  — угол наклона плоскости вращения лопастей к оси ряда;

$R$  — радиус окружности, описываемой наружными точками лопастей ботвоподъемника;

$\beta_{л}$  — угол наклона плоскости вращения лопастей к горизонтальной плоскости.

Чтобы ботвоподъемники поднимали без пропуска все листья ботвы, лежащие как вдоль, так и поперек ряда, длина участков ряда, не обработанных лопастями, должна быть меньше ширины листа ботвы,  $\Delta s \leq 0,02 \div 0,03$  м.

Из этого условия определяем ширину  $a_{л}$  лопастей ботвоподъемника

$$\alpha_{л} = \frac{\frac{60v_m}{zn} - \Delta s}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где  $v_m$  — поступательная скорость машины в м/с;

$z$  — число лопастей ботвоподъемника;

$n$  — частота вращения ботвоподъемника в об/мин.

По экспериментальным данным, оптимальная частота вращения ботвоподъемников  $n = 70 \div 80$  об/мин (при большей частоте вращения повреждается ботва); количество лопастей  $z = 6 \div 9$ ; углы наклона  $\alpha_{л} = \beta_{л} = 60^\circ$  и  $l_c = 0,15$  м.

Активные (лопастные) ботвоподъемники обеспечивают лучшее качество работы при уборке столовой свеклы, чем пассивные. При уборке моркови результаты работы активных и пассивных ботвоподъемников различаются незначительно, так как ботва моркови образует сплошную ленту, и

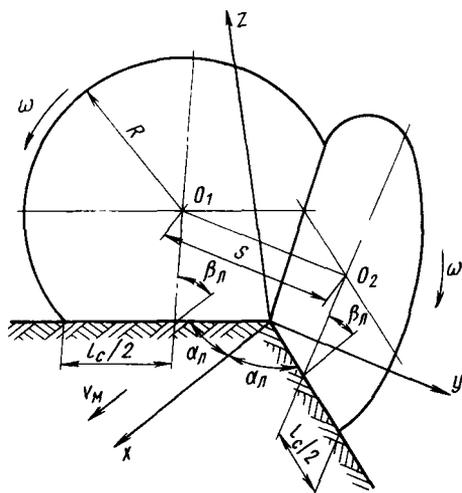


Рис. 63. Схема лопастного ботвоподъемника

у нее практически отсутствуют листья, лежащие вдоль ряда. Недостатком щеточных ботвоподъемников является забивание их ботвой моркови и сорняками.

### ТЕРЕБИЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Теребильный аппарат (рис. 64) представляет собой две гибкие бесконечные ленты, ведущие (рабочие) ветви которых прижимаются друг к другу прижимными роликами. При уборке столовых корнеплодов применяют в основном клиновые ремни с гладкой или зубчатой поверхностью и цепи с прорезиненными накладками на звеньях.

Диаметр ведомых шкивов или звездочек, расположенных в приемной части теребильного аппарата, выбирают из условия захвата ботвы теребильными лентами, которое выполняется при

$$\alpha_1 = \arccos \frac{D}{D+d} < \varphi, \quad (4)$$

где  $D$  — диаметр шкива;

$d$  — диаметр пучка ботвы ( у столовой свеклы  $d = 20 \div 60$  мм, у моркови  $d = 10 \div 30$  мм);

$\varphi$  — угол трения ботвы по материалу ленты.

Теребильный аппарат устанавливают под углом к горизонту  $\alpha_2 = 30 \div 40^\circ$ , благодаря чему устье аппарата приближается к почве, чтобы захватить ботву по возможности ближе к головке корнеплода.

Место захвата ботвы должно находиться над уровнем почвы на высоте

$$H = h + \frac{D}{2} \sin \alpha_2, \quad (5)$$

где  $h$  — высота расположения передней кромки шкива, обеспечивающая перемещение аппарата над выступающими из почвы головками корнеплодов без повреждений. Она определяется высотой расположения головок корнеплодов над уровнем почвы и точностью копирования рельефа поля.

Как видно из зависимости (5), чтобы приблизить место захвата ботвы к головке корнеплода, необходимо уменьшить диаметр шкива. Обычно это достигается тем, что между шкивами или звездочками в зоне захвата оставляют зазор  $\Delta s =$

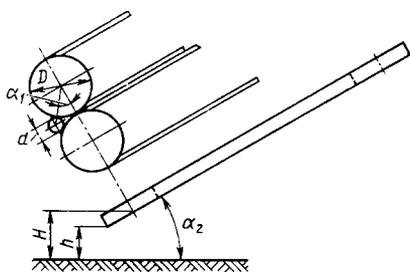


Рис. 64. Схема теребильного аппарата

= 15 ÷ 20 мм. В этом случае уравнение (4) принимает следующий вид:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{D + \Delta s}{D + d} < \varphi. \quad (6)$$

Длину теребивильной секции выбирают в пределах 1,5—2,0 м с тем, чтобы при установленном угле наклона обеспечить высоту подъема ее верхнего конца над уровнем почвы, достаточную для размещения последующих рабочих органов.

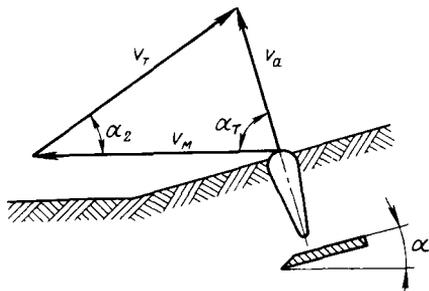


Рис. 65. Схема скоростей при теребивлении подкопанного корнеплода

Оптимальным условием извлечения корнеплода из почвы за ботву является приложение силы теребивления вдоль оси корнеплода, так как в этом случае прочность ботвы максимальная, а усилие на извлечение корнеплода требуется минимальное.

Считая, что направление действия силы теребивления определяется направлением вектора абсолютной скорости теребивильных лент, можем найти относительную скорость теребивильных лент для неподкопанного корнеплода по следующей зависимости:

$$v_T = \frac{v_M}{\cos \alpha_2}, \quad (7)$$

где  $v_M$  — скорость машины;

$\alpha_2$  — угол наклона теребивильного аппарата.

Так как перед теребивлением корнеплод подкапывают для нарушения связи с почвой, при этом он вместе с пластом почвы поворачивается на угол  $\alpha$  (рис. 65), то для подкопанного корнеплода уравнение (7) будет выглядеть так:

$$v_T = v_M \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha_2 - \alpha)}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  — угол подкапывающего клина.

В общем случае (при произвольном соотношении скорости машины  $v_M$  и относительной скорости теребивильных лент  $v_T$ ) вектор абсолютной скорости теребивильных лент будет направлен к горизонтали под углом

$$\alpha_T = \operatorname{arccctg} \left( \frac{v_M}{v_T \sin \alpha_2} - \operatorname{ctg} \alpha_2 \right). \quad (9)$$

Зависимости (7) и (8) справедливы при совпадении направления действия силы теребления и вектора абсолютной скорости теребильных лент. Такое совпадение произойдет, если точка захвата пучка ботвы корнеплода теребильным аппаратом находится на продолжении продольной оси корнеплода.

При произвольном положении точки захвата направление силы теребления не совпадает с направлением вектора абсолютной скорости лент, так как усилие прикладывается не непосредственно к корнеплоду, а передается ему через ботву, которую можно рассматривать как гибкую связь, способную передавать корнеплоду усилие лишь вдоль своей оси. Поэтому направление силы теребления определяется не только вектором абсолютной скорости теребильных лент, но и положением ботвы в момент теребления.

Ботвоподъемники и теребильный аппарат отклоняют ботву вперед по ходу машины, что приводит к смещению точки захвата пучка относительно оси корнеплода. В результате этого появляется расхождение между углом приложения силы теребления и углом вектора абсолютной скорости ремней.

Как показывает рис. 66, направление вектора силы теребления зависит от отношения относительной скорости теребильных лент  $v_T$  к их переносной скорости  $v_M$  в несколько меньшей степени, чем направление вектора абсолютной скорости лент.

С учетом поправочных коэффициентов, полученных экспериментальным путем, угол вектора силы теребления, приложенной к корнеплоду,

$$\alpha_k = a\alpha_T + b. \quad (10)$$

При тереблении корней столовой свеклы значения коэффициентов составляют:  $a = 0,554$  и  $b = 26^\circ$ . В этом случае

$$\alpha_k = 0,554 \operatorname{arccctg} \left( \frac{v_M}{v_T \sin \alpha_2} - \operatorname{ctg} \alpha_2 \right) + 26^\circ. \quad (11)$$

Решая уравнение (11) относительно  $v_T$ , получаем

$$v_T = \frac{v_M}{\cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 \operatorname{ctg} \frac{\alpha_k - 26^\circ}{0,554}}. \quad (12)$$

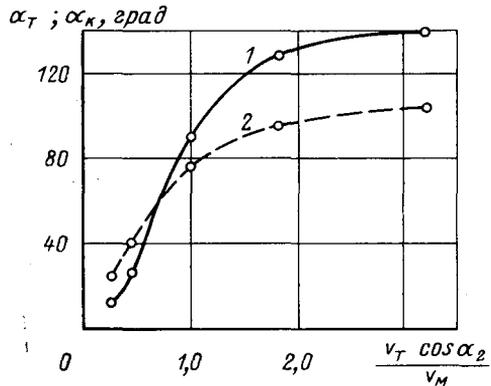


Рис. 66. Зависимости расчетного (1) и действительного (2) угла наклона вектора силы теребления от скорости теребильного аппарата

Уравнение (12) позволяет определить скорость теребильных ремней при известных остальных параметрах. При этом  $\alpha_k = 90^\circ - \alpha$  для подкопанного корнеплода и  $90^\circ$  — для неподкопанного.

### МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ГОЛОВОК КОРНЕПЛОДОВ И УБОРКИ БОТВЫ

Согласно стандартам длина черешков ботвы на корнеплодах после обрезки должна находиться в пределах 0—2 см. При этом головки корнеплодов не должны быть срезаны или повреждены.

Относительная неравномерность расположения головок корнеплодов по высоте при размещении их в почве достигает 6 см для моркови, 10 см для столовой свеклы. Это приводит к неравномерности высоты свисания корнеплодов в теребильном аппарате. При машинном тереблении неравномерность высоты свисания корнеплодов в теребильном аппарате может превышать неравномерность расположения их относительно поверхности почвы из-за несовершенства копирующего механизма, неточности вождения машины и смещения корнеплодов в сторону относительно оси ряда.

Основными задачами, стоящими перед механизмами для выравнивания головок корнеплодов и удаления ботвы являются устранение неравномерности расположения головок по высоте и удаление ботвы в соответствии с агротехническими требованиями, предъявляемыми к уборочным машинам.

Как было указано ранее (см. гл. II), аппараты пассивного и полуактивного выравнивания не нашли широкого применения в машинах для уборки столовых корнеплодов, так как они не обеспечивают удовлетворительного качества выравнивания при значительной густоте размещения растений в ряд. Поэтому проведенные до настоящего времени теоретические и экспериментальные исследования в основном касаются работы активных (винтовых) выравнивающих аппаратов.

Винтовой выравнивающий аппарат представляет собой два винта, расположенных параллельно один другому в плоскости, составляющей угол  $\theta$  с горизонтом и  $\theta_1$  с направлением движения теребильного аппарата (рис. 67). Винты 1 вращаются в противоположных направлениях. Для устранения контакта винтов с головками во избежание повреждений корнеплодов под винтами устанавливают ограничивающие пластины 2, нижняя поверхность которых является выравнивающей. В задней части между винтами и ограничивающими пластинами размещают дисковый нож 3 для обрезки ботвы.

К настоящему времени наиболее полные исследования процесса выравнивания корнеплодов винтовыми аппаратами проведены в ВИСХОМе И. А. Майковским [15].

Процесс выравнивания происходит следующим образом. Ботва корнеплодов, извлеченных из почвы теребильным транспортером, вводится им в зазор между винтами. Вследствие давления на ботву со стороны винтов возникают силы трения, благодаря которым ботва протаскивается между винтами и корнеплоды подтягиваются к ограничивающим пластинам. Ботва вместе с корнеплодами передвигается вдоль оси винтов к ножам и обрезается.

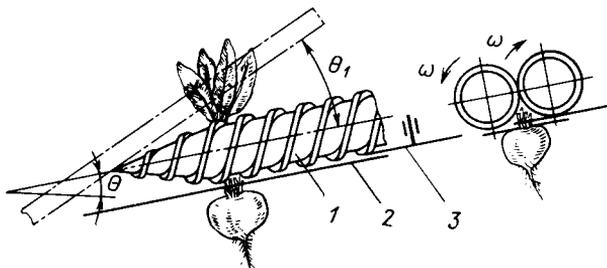


Рис. 67. Винтовой выравнивающий аппарат

Весь процесс выравнивания корнеплодов, начиная с ввода их в приемные конусы и кончая обрезкой ботвы, можно разделить на четыре фазы.

- 1) введение ботвы в приемные конусы, а затем в зазор между винтами;
- 2) одновременное выравнивание и перемещение корнеплодов к задней части винтов;
- 3) перемещение выровненных корнеплодов к ножу;
- 4) обрезка ботвы.

В первой фазе ботва вводится в приемные конусы винтов, которые воздействуют на нее, выталкивая в направлении, обратном направлению движения корнеплодов. Выталкивающие силы имеют минимальное значение при условии

$$v + v_1 \leq 2\varphi, \quad (13)$$

где  $v$  — угол при вершине приемного конуса по внешней поверхности винтов;

$v_1$  — угол при вершине приемного конуса по поверхности впадин;

$\varphi$  — угол трения ботвы по материалу винтов.

Выполнение этого условия облегчает введение ботвы в приемные конусы, но не обеспечивает защемление ее винтами. Для ввода ботвы в зазор между винтами необходима какая-то внешняя сила. Этой силой является сила инерции корнеплодов, перемещающихся вместе с теребильными лентами относительно винтов со скоростью  $v_T$ . В момент ввода пучка ботвы в зазор между цилиндрическими частями винтов первая фаза заканчивается.

Во второй фазе происходит одновременное выравнивание и перемещение корнеплодов вдоль оси винтов. Выравнивание должно закончиться раньше, чем корнеплод дойдет до передней кромки ножа. Длительность второй фазы

$$t_1 = \frac{60l_6}{\pi n D_{cp}(1 - \varepsilon_1)}, \quad (14)$$

где  $l_6$  — высота свисания корнеплодов из винтов в момент ввода их в зазор между винтами в м;

$n$  — частота вращения винтов в об/мин;

$D_{cp}$  — диаметр винтов по средней линии витка в м;

$\varepsilon_1$  — коэффициент проскальзывания ботвы относительно винтов при подтягивании корнеплодов к ограничивающим пластинам.

Значения коэффициентов проскальзывания ботвы столовой свеклы при зазоре между винтами 10 мм и моркови при зазоре между винтами 4 мм для винтов с углом подъема винтовой линии  $\beta = 25^\circ$  представлены на рис. 68. Характер кривых показывает, что в начале второй фазы коэффициент проскальзывания уменьшается, затем он становится примерно постоянным.

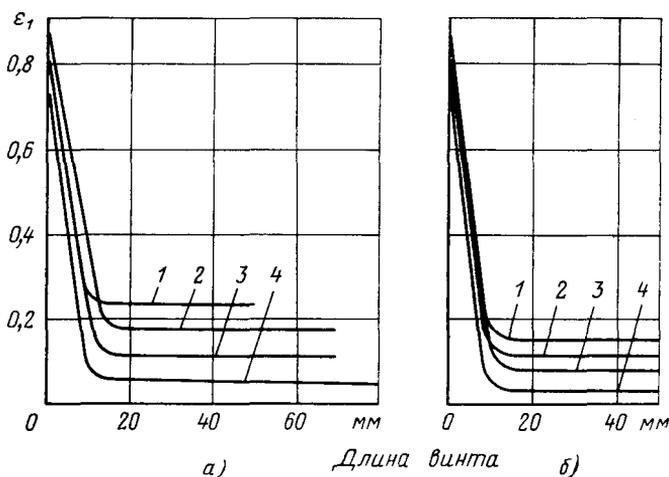


Рис. 68. Зависимости коэффициента проскальзывания  $\varepsilon_1$  ботвы от скорости винтов:

$a$  — столовой свеклы;  $b$  — моркови; 1 —  $n = 1100$  об/мин; 2 —  $n = 1000$  об/мин; 3 —  $n = 820$  об/мин; 4 —  $n = 585$  об/мин

Большее проскальзывание в начале цилиндрической части винтов объясняется тем, что на участке винтов длиной 10—15 мм происходит захватывание ботвы. После того, как винтами захвачен весь пучок, ботва начинает протаскиваться равномерно.

Действительная скорость перемещения корнеплодов к ограничивающим пластинам (скорость выравнивания) может быть определена по формуле

$$v_k = \frac{\pi D_{\text{ср}} n}{60} (1 - \varepsilon_1). \quad (15)$$

Коэффициент проскальзывания зависит от окружной скорости винтов: чем она меньше, тем меньше и коэффициент про-

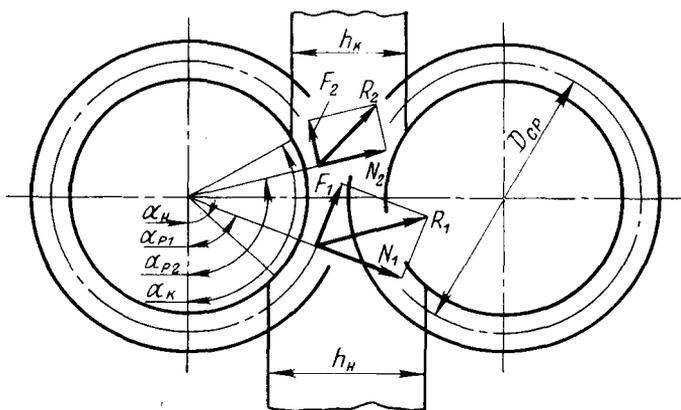


Рис. 69. Схема сил, действующих на ботву при протаскивании ее между винтами

скальзывания, так как при большой скорости винтов быстрее нарушается поверхностный слой ботвы. Увеличение пробуксовывания с повышением окружной скорости винтов более заметно проявляется у ботвы столовой свеклы, имеющей большую влажность, чем ботва моркови.

Процесс выравнивания корнеплодов винтами во второй фазе аналогичен процессу прокатки вальцами растительных материалов, таких как лен, трава, стебли кукурузы и т. д. В отличие от прокатки металла, нагретого до пластического состояния, материалы растительного происхождения имеют упруго-пластические свойства. Толщина их  $h_k$  после выхода из винтов вновь увеличивается, становясь больше минимального зазора между винтами, но меньше первоначальной толщины  $h_n$  (рис. 69). В частности, ботва корнеплодов восстанавливается в пределах 60—70% первоначального объема.

Поэтому при протаскивании винтами ботвы различаются две зоны: зона сжатия, где плотность ботвы увеличивается, достигая максимального значения в месте минимального зазора между винтами, и зона восстановления, где плотность уменьшается от максимальной до конечной, несколько превышающей первоначальную.

Обозначив равнодействующую элементарных сил нормального давления винтов на ботву в зоне сжатия через  $N_1$  и в зоне восстановления через  $N_2$ , найдем результирующие сил, сжимающих ботву  $R_y$  и подтягивающих корнеплод к ограничивающим пластинам  $R_z$ :

$$R_y = N_1 [\sin \alpha_{p1} + f(1+k) \cos \alpha_{p1}] + N_2 [\sin \alpha_{p2} - f(1+k) \cos \alpha_{p2}]; \quad (16)$$

$$R_z = N_2 [\cos \alpha_{p2} + f(1+k) \sin \alpha_{p2}] - N_1 [\cos \alpha_{p1} - f(1+k) \sin \alpha_{p1}], \quad (17)$$

где  $\alpha_{p1}$  и  $\alpha_{p2}$  — углы отклонения от вертикали сил  $N_1$  и  $N_2$ , действующих на ботву соответственно в зонах сжатия и восстановления;

$f$  — коэффициент трения ботвы по материалу винтов;

$k$  — коэффициент бокового давления, выражающий отношение давления со стороны боковых поверхностей витков к давлению со стороны их наружной поверхности.

Коэффициент бокового давления зависит от физико-механических свойств ботвы и нормального давления. Как видно

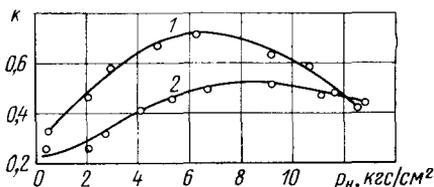


Рис. 70. Зависимость коэффициента бокового давления  $k$  от нормального давления  $p_n$ :

1 — ботва столовой свеклы; 2 — ботва моркови

из рис. 70, для ботвы столовой свеклы влажностью 93% при возрастании нормального давления  $p_n$  в пределах 0,5—6,3 кгс/см² коэффициент бокового давления увеличивается в пределах 0,33—0,73; затем он уменьшается, так как начинается разрушение стеблей и выделение из них сока. Максимальное значение коэффициента бокового давления ботвы моркови влажностью 77%,

равное 0,53, соответствует нормальному давлению 9,2 кгс/см². На основании уравнения (17) условие протаскивания ботвы винтами может быть записано следующим образом:

$$f \geq \frac{N_1 \cos \alpha_{p1} - N_2 \cos \alpha_{p2} + \frac{G}{2} \cos \theta + T}{(1+k)(N_1 \sin \alpha_{p1} + N_2 \sin \alpha_{p2})}, \quad (18)$$

где  $G$  — вес корнеплода в кгс;

$T$  — сопротивление протаскиванию ботвы между ограничивающими пластинами в кгс.

Для перемещения ботвы вдоль винтов сумма углов наклона винтовой линии  $\beta$  и трения ботвы по материалу винтов не дол-

жна превышать  $90^\circ$ , откуда можно определить предельное значение угла  $\beta$ :

$$\beta = \arctg \frac{S}{\pi D_{\text{ср}}} \leq \frac{\pi}{2} - \varphi, \quad (19)$$

где  $S$  — шаг винтовой линии в м.

Скорость перемещения корнеплода вдоль оси винтов во второй и третьей фазе определяется по уравнению

$$v_{\text{ос}} = \frac{nS}{60} (1 - \varepsilon_2), \quad (20)$$

где  $\varepsilon_2$  — коэффициент проскальзывания ботвы относительно винтов при движении в осевом направлении (вдоль ограничивающих пластин).

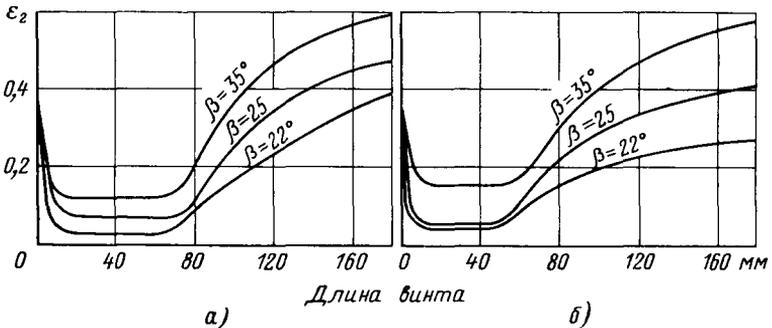


Рис. 71. Зависимость коэффициента проскальзывания  $\varepsilon_2$  от скорости винтов:

*a* — ботвы столовой свеклы; *б* — ботвы моркови

Характер изменения коэффициента  $\varepsilon_2$  при перемещении корнеплодов вдоль винтов и различных значениях угла подъема винтовой линии  $\beta = 22, 25$  и  $35^\circ$  (соответственно  $S = 0,088, 0,112$  и  $0,160$  м) показан на рис. 71. Значение коэффициента уменьшается на участке винта длиной до 10 мм, а затем до конца второй фазы сохраняется постоянным.

Как только корнеплод упрется головкой в ограничивающие пластины, что соответствует началу третьей фазы выравнивания, винты начинают воздействовать на один и тот же участок ботвы, разрушая ее. Это приводит к увеличению пробуксовывания винтов относительно ботвы, и коэффициент проскальзывания  $\varepsilon_2$  возрастает. Из графиков на рис. 68 и 71 видно, что выравнивание моркови заканчивается на участке винтов длиной 50 мм, а столовой свеклы — на участке 50—80 мм. Далее корнеплоды транспортируются вдоль винтов к ножу для обрезки ботвы. Если во второй фазе коэффициент проскальзывания  $\varepsilon_2$  находится в пределах 0,03—0,12 для ботвы столовой свеклы и 0,05—0,15 для ботвы моркови, то после транспортирования корнеплодов

на расстояние 180 мм он становится соответственно 0,40—0,60 и 0,27—0,57. На основании этих зависимостей И. А. Майковский делает вывод о нецелесообразности применения винтов длиной более 130 мм.

Увеличение угла наклона винтовой линии также приводит к увеличению проскальзывания, но, с другой стороны, при уменьшении угла наклона (и соответственно, шага винтовой линии) согласно зависимости (20) снижается скорость перемещения корнеплода вдоль оси винтов. И. А. Майковский рекомендует брать угол  $\beta = 25^\circ$ , который для винтов диаметром  $D_{\text{ср}} = 0,07$  м соответствует шагу  $S = 0,112$  м.

Зависимости изменения коэффициента проскальзывания от длины винта при угле  $\beta = 25^\circ$  и различных значениях окружной скорости винтов имеют характер, аналогичный показанным на рис. 71. Значения коэффициента проскальзывания возрастают с увеличением частоты вращения винтов, однако в целом скорость осевого перемещения корнеплодов в соответствии с формулой (20) увеличивается.

Для работы выравнивающего аппарата без сгруживания необходимо, чтобы скорость перемещения корнеплодов в нем была больше суммы диаметров корнеплодов, поступающих в теребильный аппарат в 1 с

$$v_{\text{ос}} > \frac{v_{\text{м}} K_{\text{р}} d_{\text{max}}}{\cos \theta}, \quad (21)$$

где  $K_{\text{р}}$  — количество корнеплодов на 1 м длины ряда;

$d_{\text{max}}$  — максимальный диаметр корнеплода в м.

При шаге винтов  $S = 112$  мм значению скорости, удовлетворяющему выражению (21), соответствует  $n = 800 \div 1000$  об/мин для моркови и  $n = 1000 \div 1100$  об/мин для столовой свеклы.

Результаты лабораторно-полевых исследований показывают, что наилучшее выравнивание и обрезка ботвы моркови получаются при  $n = 820$  об/мин; наибольшая полнота выравнивания столовой свеклы достигается при  $n = 1000$  об/мин.

Кроме окружной скорости винтов на качество выравнивания оказывают влияние форма витков и зазор между винтами. Зависимость качества обрезки ботвы от зазора между винтами при  $n = 820$  об/мин для моркови и  $n = 1000$  об/мин для столовой свеклы представлена на рис. 72.

Качество обрезки повышается при увеличении зазора между винтами (расстояния от выступа одного винта до впадины другого) до 3,0 и 4,5 мм для моркови и до 7,0 и 10,0 мм для столовой свеклы; дальнейшее увеличение зазора приводит к снижению качества обрезки.

К недостаткам винтового выравнивающего аппарата относится невысокая надежность. При постоянном зазоре между винтами пучки ботвы большой толщины могут передавливаться и перетираться винтами в то время, как корнеплоды со слабо-

развитой ботвой могут не быть подтянуты из-за ее недостаточного сжатия. При отсутствии ограничивающих пластин корнеплоды повреждаются винтами; наличие пластин способствует сгуживанию корнеплодов в винтах; мелкие корнеплоды могут быть затянuty в зазор между пластинами.

Качество работы винтового выравнивающего аппарата зависит также от густоты посевов, хотя и в меньшей степени, чем качество работы пассивного и полуактивного аппаратов.

При большой густоте посевов целесообразно предварительно рассредоточить корнеплоды, с тем чтобы они поступали в выравнивающий аппарат поштучно.

В простейшем виде операция рассредоточения может быть выполнена самим теребильным аппаратом с высокой скоростью теребильных лент, т. е. при  $v_T \gg v_M$ . Однако увеличение скорости теребления приводит к изгибу ботвы, что в конечном счете отрицательно сказывается на полноте теребления.

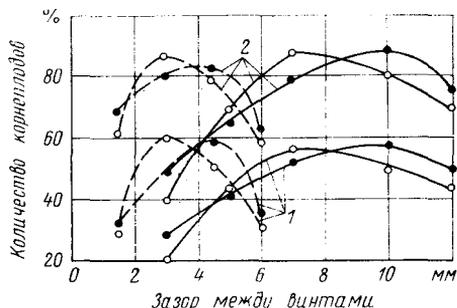


Рис. 72. Зависимость количества корнеплодов с ботвой, обрезанной на высоте 0—10 мм (1) и 0—30 мм (2), от зазора между винтами:

— — — столовая свекла; — — — морковь; ○ — винты с полукруглыми витками; ● — винты с прямоугольными витками шириной 12 мм



Рис. 73. Схема расположения рассредоточивающего транспортера:

1 — ботвоподъемники; 2 — теребильный аппарат; 3 — рассредоточивающий транспортер; 4 — выравнивающий аппарат; 5 — нож для обрезки ботвы

Более надежное рассредоточение достигается установкой специального транспортера (рис. 73), ленты которого движутся со скоростью

$$v_p \gg v_M K_p d_{\max}. \quad (22)$$

При  $v_M = 1$  м/с,  $K_p = 50$  шт. на 1 м и  $d_{\max} = 0,04$  м получаем  $v_p \gg 2$  м/с. Эксперименты показывают, что скорость рассредоточивающего транспортера должна приниматься в пределах  $v_p = 3,0 \div 3,5$  м/с. При  $v_p < 3,0$  м/с не обеспечивается достаточ-

ная полнота рассредоточения; при  $v_p > 3,5$  м/с появляется опасность обрыва ботвы из-за значительных сил инерции, возникающих при передаче корнеплодов из теребильного транспортера в рассредоточивающий.

Недостатком рассредоточивающих транспортеров является низкая работоспособность. При работе на тяжелых почвах высокой влажности корнеплоды извлекаются вместе с пластом почвы, которая связывает их и не дает возможности рассредоточиться. Поэтому до настоящего времени рассредоточивающие транспортеры не получили распространения.

Другой способ рассредоточения, разработанный и исследованный в НИИОХе В. И. Федоровым, заключается в последовательном выделении из общего потока корнеплодов, подтянутых к поверхности выравнивания, чтобы они не мешали подтягиванию корнеплодов, свисающих на более длинной ботве. Для отделения ботвы подтянутых корнеплодов В. И. Федоровым предложен динамический способ, заключающийся в возбуждении колебаний корнеплода в выравнивающем аппарате. Возникающие при колебаниях силы инерции отклоняют корнеплоды от вертикали, создавая в сечении ботвы изгибающий момент. При этом амплитуда отклонения корнеплодов от вертикали зависит от жесткости системы. Корнеплоды, свисающие из выравнивающего аппарата на длинной ботве, имеют меньшую жесткость по сравнению с подтянутыми к его плоскости. Поэтому для получения максимальных отклонений при различной жесткости ботвы требуются различные кинематические режимы вибратора. Можно подобрать такой режим, при котором подтянутые корнеплоды будут иметь большие отклонения, а свисающие на длинной ботве будут отклоняться на незначительную величину. Таким образом можно удалять ботву у подтянутых корнеплодов, исключая их из потока, в то время как для корнеплодов, свисающих на длинной ботве, процесс выравнивания будет продолжаться.

Если планки выравнивающего аппарата привести в колебательное движение с амплитудой  $B$  по периодическому закону  $x = B \sin \omega t$ , то корнеплод, защемленный за ботву, будет отклоняться от вертикали под действием силы инерции на угол  $\varphi$ .

Пренебрегая демпфирующими сопротивлениями и весом корнеплода и полагая угол  $\varphi$  малым, напишем дифференциальное уравнение колебаний корнеплода в виде

$$J_z \ddot{\varphi} + M = m\omega^2 B l_c \sin \omega t, \quad (23)$$

где  $J_z$  — момент инерции корнеплода относительно оси, проходящей через точку подвеса, в кгс·см·с<sup>2</sup>;

$\ddot{\varphi}$  — угловое ускорение относительного движения корнеплода в 1/с<sup>2</sup>;

$M$  — момент силы сопротивления ботвы изгибу в кгс·см;  
 $m$  — масса корнеплода в кгс·с<sup>2</sup>/см;  
 $\omega$  — частота колебаний вибратора в 1/с;  
 $B$  — амплитуда заданных колебаний в см;  
 $l_c$  — расстояние от точки подвеса до центра тяжести корнеплода в см.

Решение уравнения (23) зависит от изменения момента  $M$ , характеризующегося жесткостью ботвы, в функции угла  $\varphi$ . При свисании корнеплода на длинной ботве (80—100 мм)  $M \approx 0$ , и вынужденные колебания корнеплода могут быть представлены уравнением математического маятника

$$\varphi = \frac{B}{l_c} \left( \frac{1}{\frac{k^2}{\omega^2} - 1} \right) \sin \omega t, \quad (24)$$

где  $k = \sqrt{\frac{g}{l_k}}$  — частота собственных колебаний корнеплода в 1/с;

$l_k$  — расстояние от точки подвеса до центра качания корнеплода в см.

Жесткость системы ботва-корнеплод изменяется в зависимости от длины свисающей ботвы. Эксперименты показывают, что если корнеплод зажат за ботву без зазора между головкой и поверхностью выравнивания (нижней кромкой зажима), то упругая характеристика системы линейна и подчиняется закону Гука, т. е.

$$M = C\varphi,$$

где  $C$  — жесткость ботвы в кгс·см/рад (для ботвы моркови Нантская  $C = 26$  кгс·см/рад).

В этом случае интегрирование уравнения (23) дает следующую зависимость:

$$\varphi = \frac{B}{l_c} \left( \frac{1}{\frac{k_{\pi}^2}{\omega^2} - 1} \right) \sin \omega t, \quad (25)$$

где  $k_{\pi} = \sqrt{\frac{C}{J_z}}$  — частота собственных колебаний корнеплода при линейной упругой характеристике.

Уравнение (25) графически представлено в виде амплитудной кривой (рис. 74), выражающей зависимость отношения амплитуды колебаний центра тяжести корнеплода в относительном движении к амплитуде вынужденных колебаний от отношения частот собственных и вынужденных колебаний. Из графика видно, что амплитуда без учета демпфирующих сопротивлений может достигать бесконечных значений при  $k_{\pi}/\omega = 1$ .

Из графика можно определить пределы частот, достаточных для получения критических углов отклонения корнеплодов, соответствующих излому ботвы.

Подставив в выражение  $D_{\text{л}} = \frac{\varphi_{\text{max}} l_c}{B}$  вместо  $\varphi_{\text{max}}$  критическое значение угла излома ботвы  $\varphi_{\text{изл}}$  и среднее значение  $l_c$ , а также задавшись амплитудой  $B$ , получим коэффициент динамичности  $D_{\text{л}}$ . Отложив его значение на оси ординат и проведя горизонталь до пересечения с амплитудной кривой, на оси абсцисс получим интервал отношений  $k_{\text{л}}/\omega$ , достаточных для излома ботвы. Зная частоту собственных колебаний корнеплода

$k_{\text{л}}$ , по этому отношению найдем интервал необходимых частот вынужденных колебаний.

На основании экспериментальных данных для моркови сорта Нантская принимаем следующие значения параметров:  $\varphi_{\text{изл}} = 22^\circ$  (0,384 рад);  $k_{\text{л}} = 87,5$  1/с. Тогда при  $B = 10$  мм и  $l_c = 35$  мм получаем  $D_{\text{л}} = \frac{0,384 \cdot 35}{10} = 1,35$ , чему

на графике соответствуют два значения отношения  $k_{\text{л}}/\omega = 0,5$  и  $1,3$ .

Следовательно, при амплитуде  $B = 10$  мм частоту можно устанавливать в пределах  $\omega = 67 \div 175$  1/с. Произведя аналогичные расчеты при  $B = 20$  мм, можем убедиться, что при этой амплитуде возможность выбора частот вибратора расширяется. Обрыв ботвы должен наступить при  $\omega \geq 55$  1/с; верхний предел частот отсутствует.

При зазоре между головкой корнеплода и поверхностью выравнивания 10—15 мм упругая характеристика системы ботва — корнеплод нелинейная и выражается уравнением

$$M = C_1 \varphi_1 + C_2 (\varphi_2 - \varphi_1) + C_3 (\varphi - \varphi_2),$$

где  $C_1$ ;  $C_2$  и  $C_3$  — жесткость ботвы на различных участках деформации.

Такой характер изменения момента силы сопротивления ботвы изгибу объясняется следующим. Между стеблями пучка ботвы имеются зазоры и в начальный период отклонения корнеплода от вертикали до угла  $\varphi_1 = 9^\circ$  (0,157 рад) стебли сближаются, при этом на их изгиб затрачивается небольшое усилие ( $C_1 \approx 0$ ).

После соприкосновения стеблей между ними возникает сила трения, и деформация изгиба сопровождается резким

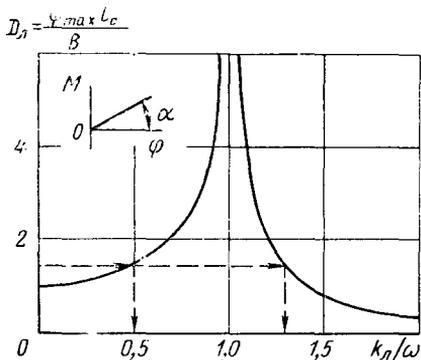


Рис. 74. Амплитудная кривая линейных колебаний корнеплодов

изменением жесткости пучка до  $C_2 = 6$  кгс·см/рад. Такое значение жесткости остается постоянным в интервале изменения угла от  $\varphi_1 = 9^\circ$  (0,157 рад) до  $\varphi_2 = 33,5^\circ$  (0,58 рад).

При дальнейшем изгибе корнеплод касается головкой нижней кромки зажима и жесткость снова изменяется до  $C_3 = 35,5$  кгс·см/рад, оставаясь постоянной до момента излома ботвы.

При нелинейной упругой характеристике уравнение (23) в точном виде не решается. Приближенное решение его дает следующий результат:

$$\frac{A}{\varphi_2} \left( \frac{\omega^2}{k_3^2} - 1 \right) \frac{\rho}{1-\rho} + \frac{\omega^2}{k_3^2} \frac{B}{\varphi_2 l_c} \frac{\rho}{1-\rho} = \mp \frac{2}{\pi(1-\rho)} \times$$

$$\times \left[ \frac{A}{\varphi_2} \arcsin \frac{\varphi_1}{A} + \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \sqrt{1 - \left( \frac{\varphi_1}{A} \right)^2} \right] \pm$$

$$\pm \frac{2}{\pi} \left[ \frac{A}{\varphi_2} \arcsin \frac{\varphi_2}{A} + \sqrt{1 - \left( \frac{\varphi_2}{A} \right)^2} \right], \quad (26)$$

где  $A = \varphi_{\max}$  — наибольший угол отклонения корнеплода;

$k_3 = \sqrt{\frac{C_3}{J_z}}$  — частота собственных колебаний корнеплода на третьем участке упругой характеристики.

$$\rho = \frac{C_3}{C_2}.$$

Графически уравнение (26) представлено на рис. 75. Эти кривые отличаются от амплитудной кривой линейных колебаний, но для них также характерен резонанс при  $\omega/k_3 = 1,0$ .

По амплитудным кривым нелинейных колебаний можно найти необходимые частоты вибратора, определив коэффициент динамичности  $D' = A/\varphi_2$ .

При  $A = \varphi_{\text{изл}} = 50,5^\circ$  и  $\varphi_2 = 33,5^\circ$  получаем  $D' = 1,52$ . Отложив на оси ординат значение 1,52 и проведя горизонталь до кривой, соответствующей определенному значению амплитуды заданных колебаний, получаем на оси абсцисс значение  $\omega/k_3$ , откуда определяем частоту  $\omega$ .

Если  $B = 10$  мм,  $\varphi_2 = 0,58$  рад и  $l_c = 35$  мм, то  $\frac{B}{\varphi_2 l_c} = 0,49$ , чему на графике наиболее близко соответствует кривая 2. Проведя горизонталь от  $D' = 1,52$  до пересечения с кривой 2 получаем два значения отношения частот:  $\omega'/k_3 = 0,5$  и  $\omega''/k_3 = 0,72$ .

Для моркови сорта Нантская среднее значение  $k_3 = 107,5$  1/с, тогда  $\omega' = 53,8$  и  $\omega'' = 77,4$  1/с. Значит, для корней моркови, свисающих на ботве длиной 10—15 мм, зона частот обрыва ботвы находится в пределах 54—77 1/с.

Аналогично можно установить, что при  $B = 20$  мм необходимая частота колебаний вибратора находится в пределах  $\omega = 43 \div 105$  1/с. Чем длиннее ботва, на которой свисает корнеплод, тем при меньшей частоте колебаний вибратора наступает резонанс, следовательно, увеличение частоты вибратора должно приводить к уменьшению средней длины черешков ботвы, оставшихся на корнеплодах после ее обрыва.

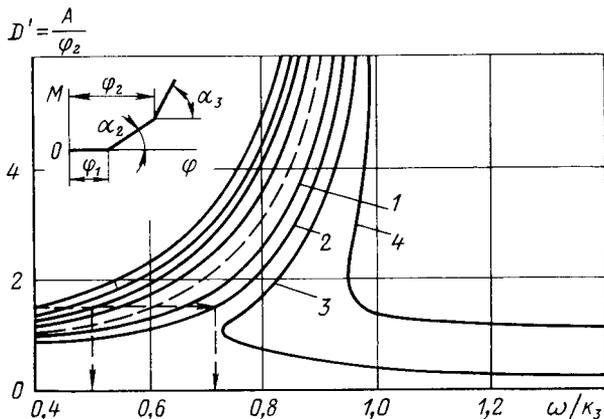


Рис. 75. Амплитудные кривые нелинейных колебаний корнеплода:

1 — при  $B/\varphi_2 l_c = 0,25$ ; 2 — при  $B/\varphi_2 l_c = 0,5$ ; 3 — при  $B/\varphi_2 l_c = 0,75$ , и 4 — при  $B/\varphi_2 l_c = 1,0$

При амплитуде  $B = 10$  мм для обрыва ботвы с черешками длиной до 10 мм требуется  $\omega_1 > 77$  1/с; длиной до 20 мм (в соответствии с ГОСТом 1721—67) требуется  $\omega_2 > 54$  1/с. Соответственно при  $B = 20$  мм требуется  $\omega_1 > 55$  1/с и  $\omega_2 > 43$  1/с.

Экспериментальные исследования, проведенные на стенде, состоящем из вибрационного зажимного устройства и вариатора скоростей, подтверждают теоретические предпосылки о возможности последовательного выделения из общего потока с помощью вибрации корнеплодов, подтянутых к поверхности выравнивания, и позволяют уточнить кинематические параметры вибратора.

Средние значения частот колебаний, обеспечивающих излом ботвы, находятся в пределах  $\omega = 40 \div 45$  1/с при амплитуде  $B = 15 \div 20$  мм. Время на отделение ботвы составляет 0,2—0,5 с.

По данным В. И. Федорова, зависимость полноты отделения  $W$  в % ботвы моркови от амплитуды и частоты колебаний вибратора (рис. 76) может быть выражена эмпирической формулой

$$W = \frac{B}{a + bB}, \quad (27)$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств моркови и параметров вибратора.

Для моркови сорта Нантская: при  $\omega = 30$  1/с  $a = 0,23$ ;  $b = 0,0083$ ; при  $\omega = 50$  1/с  $a = 0,07$ ;  $b = 0,007$ ; при  $\omega = 70$  1/с  $a = 0,0216$ ;  $b = 0,009$ .

Как видно из графика, с увеличением амплитуды и частоты колебаний вибратора полнота отделения ботвы повышается и при  $B = 20 \div 24$  мм с частотой колебаний  $\omega = 50 \div 70$  1/с приближается к 100%.

На основании изложенных результатов изготовлен аппарат, совмещающий операции выравнивания корнеплодов и прореживания потока путем отделения ботвы подтянутых корнеплодов. Аппарат состоит из двух планок, установленных с зазором для прохода ботвы. Передние концы планок закреплены шарнирно, задние — соединены с эксцентриками. При вращении эксцентриков планки приводятся в колебательное движение. Частота колебаний вибратора равна 50 1/с при амплитуде концов планок 0; 5; 15 и 25 мм. В задней части аппарата установлен пассивный нож. Нож в сочетании с колебательным движением планок обрезает ботву тех корнеплодов, у которых она не отрывается в результате вибрации.

Аппарат был смонтирован на полевой установке теребильного типа; эксперименты проводились на однострочных посевах моркови Нантская при скорости движения установки 3,5 км/ч.

Результаты исследований, графически представленные на рис. 77, показывают, что при увеличении амплитуды в пределах 0—25 мм количество корнеплодов с длиной черешков до 1 см возрастает с 45 до 80% и с длиной черешков 0—3 см — с 55 до 95%.

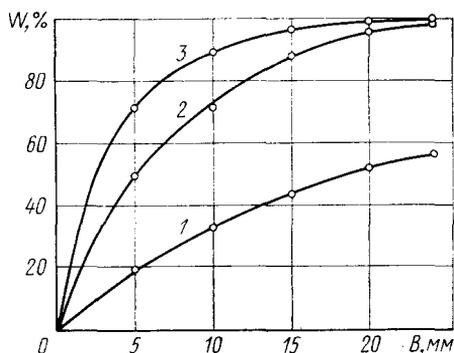


Рис. 76. Зависимость полноты отделения ботвы моркови от амплитуды и частоты колебаний вибратора:

1 — при  $\omega = 30$  1/с; 2 — при  $\omega = 50$  1/с; 3 — при  $\omega = 70$  1/с

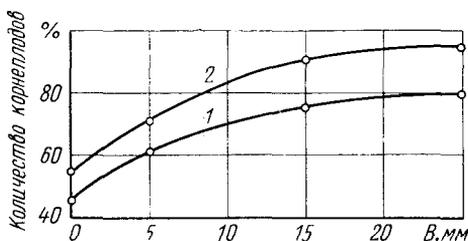


Рис. 77. Влияние амплитуды колебаний планок выравнивающего аппарата на количество отделения ботвы:

1 — корнеплоды с оставшейся ботвой длиной 0—10 мм; 2 — корнеплоды с оставшейся ботвой длиной 0—30 мм

## Глава IV

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ПОДКАПЫВАЮЩЕГО ТИПА ДЛЯ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И ЛУКА

#### БОТВОУДАЛЯЮЩИЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ

##### Роторные ботворезы

**Б**отву можно удалять различными способами: механическим (обрыв, срезание, сбивание и т. д.), химическим и др.

Наиболее распространенным способом удаления ботвы является срезание, при этом в качестве режущего аппарата применяются преимущественно роторные ботворезы. Они просты по устройству, надежны в работе и, в отличие от аппаратов косилочного типа, могут быть установлены на сколько угодно малую высоту среза, вплоть до того, что могут обрезать ботву корнеплодов, головки которых расположены ниже уровня почвы.

По принципиальной схеме роторные рабочие органы можно разделить на три типа:

1) с горизонтальной осью вращения, перпендикулярной направлению движения машины (барабанные);

2) с горизонтальной осью вращения, параллельной направлению движения машины;

3) с вертикальной или близкой к вертикальной осью вращения (дисковые).

К первому типу относятся роторные барабаны для сплошного среза, как правило, широкозахватные, применяющиеся в силосоуборочных и ботвоуборочных машинах. Эти барабаны в последние годы получили широкое распространение из-за простоты конструкции, высокой надежности и универсальности. Вращаясь с большой частотой, они могут совмещать операции резания и транспортирования срезанного материала.

Роторный барабан обычно представляет собой трубчатый вал с приваренными ушками, к которым шарнирно с помощью пальцев или цепных звеньев прикреплены ножи (бичи). Ушки располагаются по окружности вала через 90 или 120°, т. е. ротор имеет четыре или три ряда ножей. Вдоль образующей ротора

ножи обычно размещаются в шахматном порядке таким образом, чтобы ножи каждого последующего ряда находились в зазорах между ножами предыдущего.

Шарнирное крепление ножей предохраняет их от поломок при встрече с камнями и другими препятствиями. В радиальное положение ножи устанавливаются под действием центробежной силы, возникающей при вращении ротора. Из-за высокой частоты вращения ротора центробежные силы  $F_{ин}$ , действующие на ножи, достигают значительной величины.

$$F_{ин} = m\omega^2 r, \quad (28)$$

где  $m$  — масса ножа в кгс·с<sup>2</sup>/м;

$\omega$  — угловая скорость ротора в 1/с;

$r$  — расстояние от оси ротора до центра тяжести ножа в м.

Принимая  $m = 0,174$  кгс·с<sup>2</sup>/м;  $\omega = 157$  1/с и  $r = 0,2$  м, получаем  $F_{ин} = 860$  кгс. Таково примерное значение центробежной силы, действующей на каждый из 28 ножей косилки КИР-1,5Б.

При размещении ножей в четыре ряда, смещенных относительно друг друга по окружности на 90° (по семь ножей в ряду), на каждый из рядов действует центробежная сила около 6 тс. Если результирующие центробежных сил, действующих на каждый ряд, пересекаются в одной точке, то ротор является уравновешенным. Если не пересекаются, то их действие сводится к действию результирующей пары сил, вызывающей повышенные нагрузки на опоры ротора и вибрацию машины.

Для устранения вибрации ротор необходимо динамически отбалансировать. Сущность данной операции заключается в размещении на роторе (в плоскости действия результирующей пары сил) дополнительных масс, создающих при вращении момент центробежных сил, равный по значению и противоположный по направлению моменту результирующей пары сил. Операция эта очень трудоемка и не всегда приводит к благоприятному результату. В полевых условиях масса ножей может изменяться в зависимости от износа или количества налипшей на них почвы, а поскольку масса дополнительных грузов остается постоянной, то может появиться необходимость в новой балансировке ротора.

Более простым и надежным способом уравновешивания ротора является рациональное размещение на нем ножей. Чтобы ротор был уравновешен, необходимо обеспечить следующие условия: результирующие центробежных сил ножей, расположенных на диаметрально противоположных сторонах ротора, должны быть равны по значению, противоположны по направлению и проходить через общую точку. Конструктивно указанные условия могут быть выполнены следующим образом:

1. Количество ножей в рядах, расположенных на противоположных сторонах окружности вала ротора (а при нечетном числе рядов — во всех рядах), должно быть одинаковым.

2. Центры тяжести ножей в каждом ряду должны располагаться симметрично относительно плоскости, проходящей через центр ротора перпендикулярно его оси. В частности, при нечетном числе ножей в ряду центр тяжести одного из них должен размещаться в этой плоскости.

Ко второму типу роторных ботворезов относится рабочий орган машины КБШ-1 для уборки моркови, принципиальная

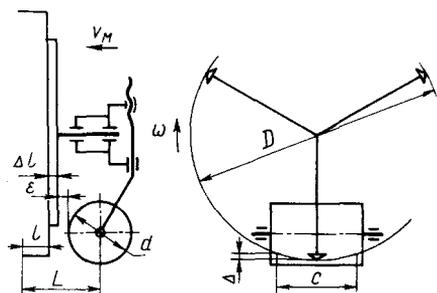


Рис. 78. Схема роторного ботвореза с горизонтальной осью вращения, параллельной оси ряда

схема которого представлена на рис. 78. Он состоит из ротора с тремя ножами и размещенного сзади эластичного копирующего катка. Лезвия ножей вращаются по окружности диаметром  $D$ , расположенной в плоскости, перпендикулярной оси ряда. Ножи ротора, как правило, имеют шарнирное крепление, предохраняющее их от поломок.

Достоинством ботворезов такого типа является высокая надежность и максимальное

сближение зоны копирования ряда с зоной обрезки ботвы. Расстояние между этими зонами (шаг копирования)  $L$  определяем по уравнению

$$L = l + \frac{d}{2} + \Delta l + \varepsilon, \quad (29)$$

где  $l$  — длина лезвия ножа в м;

$d$  — диаметр копирующего катка в м;

$\Delta l$  — толщина лопасти ротора в м;

$\varepsilon$  — зазор между ротором и копирующим катком в м.

Длину лезвия ножа находим из условия обрезки всех листьев ботвы в ряду без пропусков

$$l \geq \frac{60v_m}{zn}, \quad (30)$$

где  $v_m$  — поступательная скорость машины в м/с;

$z$  — количество лопастей ротора;

$n$  — частота вращения ротора в об/мин.

Диаметр копирующего катка берем  $d = 0,15 \div 0,20$  м. Принимая  $v_m = 1,5$  м/с,  $z = 3$ ;  $n = 900$  об/мин;  $d = 0,20$  м и  $\Delta l = \varepsilon = 0,015$  м, получаем  $L = 0,165 \div 0,180$  м.

По данным С. В. Кардашевского, корреляционная связь между ординатами траекторий перемещения копира и рабочего органа затухает при шаге копирования  $L \geq 130$  мм. Поэтому необходимым условием устойчивой корреляционной связи между указанными ординатами является уменьшение шага копиро-

вания до  $L \leq 130$  мм. Ни один из известных механизмов для удаления ботвы столовых корнеплодов не имеет конструктивных возможностей для реализации этого условия, но в ботворезах с горизонтальной осью вращения шаг копирования может быть максимально приближен к указанному.

К недостаткам ботворезов такого типа относится непостоянство высоты среза ботвы по ширине ряда. При вращении лезвий ножей по окружности точки траектории движения ножей располагаются на разной высоте относительно почвы. Неравномерность  $\Delta$  высоты среза зависит от диаметра ротора и бокового смещения корнеплода относительно оси ротора.

$$\Delta = D - \sqrt{D^2 - c^2}, \quad (31)$$

где  $c$  — зона возможных боковых смещений корнеплодов относительно оси ротора, определяемая по формуле

$$c = B_k + 2m_b, \quad (32)$$

где  $B_k$  — среднемаксимальная ширина размещения корнеплодов в ряду в мм;

$m_b$  — среднее отклонение ботвореза от оси ряда, обусловливаемое точностью его вождения, в мм.

Уравнение (31) графически может быть представлено в виде номограммы (рис. 79), по которой можно найти неравномерность

высоты среза в зависимости от диаметра ротора и ширины зоны обрезки. И наоборот, при заданном интервале неравномерности высоты среза можно определить диаметр ротора (при известной ширине зоны обрезки) или ширину зоны (при известном диаметре).

Например, при диаметре ротора  $D = 750$  мм из номограммы находим, что обрезка ботвы в соответствии с ГОСТом 1721—67, т. е. с неравномерностью  $\Delta = 20$  мм, может быть достигнута в зоне шириной не более 170 мм.

Изменение диаметра ротора в пределах 250—1000 мм приводит к увеличению ширины зоны обрезки от 100 до 200 мм при указанном интервале неравномерности.

К роторным ботворезам с горизонтальной осью вращения, параллельной оси ряда, близки по принципиальной схеме очистители головок сахарной свеклы от неполностью обрезанных листьев. Отличаются они конструкцией копирующего механизма

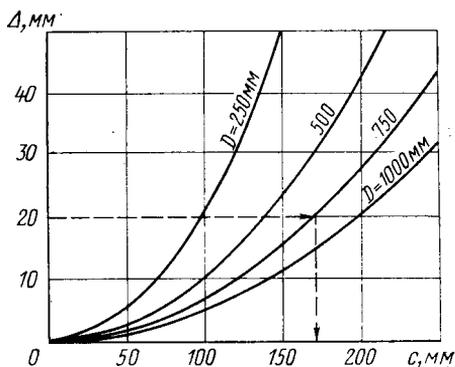


Рис. 79. Номограмма для определения неравномерности высоты среза в зависимости от диаметра ротора и ширины зоны обрезки

и тем, что вместо металлических ножей у них применяются эластичные бичи.

Роторные ботворезы третьего типа (дисковые) широко применяются в машинах для уборки сахарной свеклы. Ботворезы имеют, как правило, гребенчатый или гусеничный копирующий и расположенный сзади дисковый нож, ось которого отклонена на некоторый угол от вертикали вперед по ходу машины.

Размещение копира впереди ножа в машинах для уборки столовых корнеплодов, как правило, не применяется из-за трудности обрезки примятой копиром ботвы. Обычно копирующий механизм перемещается или по междурядью, сбоку от ножа, или

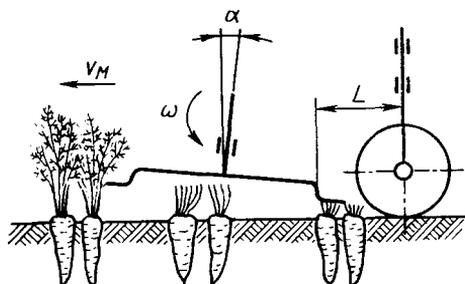


Рис. 80. Схема ботвосрезающего аппарата машин КУД-1, УМП-2 и МКГ-1,4

по ряду корнеплодов сзади ножа. Первый способ применяется в зарубежных машинах «Вюльмаус» (см. рис. 39) и «Витсед супер джуниор». В нашей стране он применялся на одном из первых вариантов машины КБШ-1 для уборки моркови, в которой вместо копирующего катка сбоку от ротора располагалось копирующее колесо. Однако испытания этого механизма показали, что при копировании междурядья не обеспечивается высокое качество обрезки ботвы, так как продольный профиль междурядья не соответствует профилю ряда.

К настоящему времени практически все разработанные и исследованные рабочие органы для обрезки ботвы моркови снабжаются эластичными копирующими катками, размещенными сзади ножа и отслеживающими профиль рядов моркови.

У роторных ботворезов с вертикальной или отклоненной от вертикали вперед по ходу машины осью вращения влияние ширины ряда на неравномерность высоты среза невелико. Но зона обрезки у них удалена от зоны копирования на значительное расстояние

$$L = D \cos \alpha + \frac{d}{2} + \varepsilon, \quad (33)$$

где  $\alpha$  — угол отклонения оси ротора от вертикали.

При  $D = 0,425$  м;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $d = 0,20$  м и  $\varepsilon = 0,015$  м по формуле (33) получаем  $L \approx 0,46$  м, что в 2,5 раза больше, чем соответствующее расстояние у ботвореза машины КБШ-1.

Этого недостатка лишен примененный в машинах для уборки моркови КУД-1, УМП-2 и МКГ-1,4 ботвосрезающий аппарат (см. рис. 35), принципиальная схема которого представлена на рис. 80. Ось вращения ротора аппарата отклонена от верти-

кали на угол 4—5° в направлении, противоположном направлению движения машины. Вследствие такого наклона ротора ботва обрезается в два этапа. Сначала ботва срезается на высоте 5—6 см от поверхности почвы лезвиями, находящимися в передней части диска, затем окончательно обрезается лезвиями, расположенными вблизи зоны копирования.

В этом случае расстояние от зоны копирования до зоны обрезки не превышает соответствующего расстояния у ботвореза с горизонтальной осью вращения, параллельной оси ряда, и влияние ширины ряда на неравномерность высоты среза невелико.

Неравномерность высоты среза ботвы в зависимости от ширины зоны обрезки в этом случае определяется так:

$$\Delta = (D - \sqrt{D^2 - c^2}) \sin \alpha. \quad (34)$$

Недостатком дисковых ботворезов является сравнительно низкая надежность при работе на каменистых почвах.

### Некоторые вопросы теории бесподпорного резания

Все ранее описанные роторные ботвосрезающие рабочие органы выполняют резание без подпора, т. е. без противорезающих элементов. Реакцию последних, необходимую для осуществления процесса резания, заменяет реакция, возникающая благодаря жесткости ботвы и инерции ее массы. При незначительной жесткости ботвы (например, ботвы моркови) решающую роль в создании реакции подпора приобретает сила инерции, являющаяся функцией скорости резания.

В общем случае условие, при котором обеспечивается срез стебля, может быть записано так:

$$R_s \leq P + \Sigma m_{ij}i, \quad (35)$$

где  $R_s$  — сила, необходимая для среза стебля;

$P$  — сопротивление стебля отгибу;

$\Sigma m_{ij}i$  — суммарная сила инерции части стебля, подвергающейся деформации при ударе.

Обоснованию критической скорости, обеспечивающей бесподпорное резание свободно стоящего стебля посвящены аналитические и экспериментальные исследования В. П. Горячкина, Е. М. Гутьяра, А. Ю. Ишлинского, Е. С. Босого, Н. Е. Резника и др. [4, 7, 21].

Вопрос бесподпорного резания свободно стоящего стебля впервые рассмотрен акад. В. П. Горячкиным. По его мнению, в момент удара в стебле возбуждается волна деформаций, распространяющаяся по всему стеблю и придающая ему особую жесткость.

На основании экспериментов акад. В. П. Горячкин установил, что критическая скорость резания зависит от массы ножа и стеб-

лей, в частности, она должна быть тем выше, чем меньше масса ножа.

Рассматривая процесс резания как ударный и предполагая, что для разрезания стебля при любой скорости импульс силы остается постоянным,  $R_s \Delta t = \text{const} = C_1$ , В. П. Горячкин определил значение критической скорости:

$$v = C_1 \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right),$$

где  $m_1$  — ударяющая масса (нож);

$m_2$  — ударяемая масса (масса стебля, участвующая в ударе).

Не считая данную зависимость единственно справедливой, В. П. Горячкин дал и другое выражение из предположения, что постоянной при любой скорости является работа, затраченная на срез стебля, т. е.

$$\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{v^2}{2} = \text{const} = C_2.$$

В этом случае

$$v = \sqrt{2C_2 \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}.$$

Относительно массы стебля, участвующей в ударе, В. П. Горячкиным высказаны следующие соображения:

1) если считать стебель неупругим, закрепленным внизу как бы шарнирно, то

$$m_2 = \frac{J}{l_1^2}, \quad (36)$$

где  $J$  — момент инерции стебля относительно горизонтальной оси, проходящей в месте его закрепления, т. е. на поверхности поля;

$l_1$  — высота резания.

2) если рассматривать стебель как балку, защемленную внизу, то

$$m_2 = \left\{ \frac{33}{140} + \frac{2}{9} \left[ \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{l}{l_1} - \frac{1}{2} \right)^3 - 1 \right] \right\} \rho \frac{l_1}{2}, \quad (37)$$

где  $l$  — длина стебля;

$\rho$  — масса единицы длины стебля.

В функции высоты резания  $l_1$  эта масса изменяется по гиперболе четвертого порядка. При  $l_1 = 0$   $m_2 = \infty$ ; при  $l_1 = l$

$$m_2 = \frac{33}{140} \rho l \approx \frac{1}{4} \rho l.$$

Указанные зависимости, по мнению В. П. Горячкина, могут служить основанием для следующих выводов:

1. Критическая скорость резания в равной степени зависит от массы ножа и массы стебля, участвующей в ударе. Чем меньше масса ножа и масса стебля, тем выше должна быть скорость резания<sup>1</sup>.

2. Критическая скорость резания возрастает с увеличением высоты резания.

Е. М. Гутьяр при определении критической скорости бесподпорного резания стебля злаковых культур исходил из предположения, что деформация изгиба во время среза перемещается вверх и вниз по стеблю от места среза со скоростью распространения звука в материале стебля и имеет вид синусоиды. Им получена зависимость

$$v = k_s \sqrt{\frac{g}{E\gamma}}, \quad (38)$$

где  $k_s$  — разрушающее напряжение при срезе;

$g$  — ускорение свободного падения;

$E$  — модуль упругости;

$\gamma$  — удельный вес материала.

При  $k_s = 200$  кгс/см<sup>2</sup>;  $E = 1,1 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup> и  $\gamma = 0,5 \times 10^{-3}$  кгс/см<sup>3</sup>  $v = 844$  см/с = 8,44 м/с.

А. Ю. Ишлинский при определении критической скорости резания стебля злаковых культур основывался на допущении, что жесткость стебля по длине постоянна, а масса его  $m_2$  сосредоточена в виде колоса с зерном на конце стебля. Приняв за основу расчета уравнение сопротивления материалов для изогнутой оси балки, он получает

$$v \geq R_s \frac{l-l_1}{3l-l_1} \sqrt{\frac{4l-l_1}{3m_2 E J_1}}, \quad (39)$$

где  $J_1$  — момент инерции сечения стебля в см<sup>4</sup>.

Е. С. Босой дает обоснование критической скорости при допущении, что работа в единицу времени  $T$ , необходимая для среза стебля, является величиной постоянной,

$$R_s v = T = \text{const} \text{ и } R_s = \frac{T}{v}.$$

Рассматривая стебель как консольную балку, жестко закрепленную у основания, Е. С. Босой получает

$$v \geq \frac{-\frac{M_{\text{из}}}{x_s-l_1} + \sqrt{\left(\frac{M_{\text{из}}}{x_s-l_1}\right)^2 + \frac{12\Delta t E J_1 T}{l_1^3}}}{\frac{6\Delta t E J_1}{l_1^3}}, \quad (40)$$

<sup>1</sup> Вывод справедлив при условии соизмеримости участвующих в ударе масс ножа  $m_1$  и стебля  $m_2$ . При работе роторных ботворезов  $m_1 \gg m_2$ , поэтому влиянием массы ножа можно пренебречь, принимая  $1/m_1 = 0$ .

где  $M_{из}$  — разрушающий изгибающий момент стебля;  
 $x_s$  — расстояние от места закрепления стебля (поверхности поля) до точки приложения равнодействующей сил инерции стебля;  
 $\Delta t$  — время удара.

Для стебля пшеницы  $x_s = l$ ; для стебля травы

$$x_s = \frac{2l^2 + l_1 + l_1^2}{3l + l_1}.$$

На основании зависимости (40) Е. С. Босой рекомендует следующие значения критической скорости бесподпорного резания: для стебля пшеницы при высоте среза  $l_1 = 200$  мм — 2,4 м/с, при  $l_1 = 100$  мм — 1,2 м/с, для стебля травы при высоте среза 50 мм — 3,1 м/с.

Н. Е. Резник отмечает, что в основу почти всех аналитических исследований бесподпорного среза положена схема процесса, отличающаяся значительным упрощением реальных условий, из-за сложности учета всех факторов, влияющих на процесс резания.

При этом принятые различными авторами допущения не всегда достаточно обоснованы. Например, допущение о постоянстве работы в единицу времени, необходимой для перерезания стебля, сделано на основании экспериментов А. Н. Карпенко, проведенных в условиях, не характерных для бесподпорного резания. Опыты проводились при резании стеблей овса и ржи аппаратом косилочного типа с противорежущей пластиной в интервале скоростей 0,3—0,8 м/с. Даже в таком узком интервале скоростей колебание потребляемой мощности достигало 40%, и наблюдалась тенденция к снижению ее с увеличением скорости резания.

Не случайно у разных авторов встречаются значительные расхождения в рекомендуемой критической скорости резания. По экспериментальным данным для различных тонкостебельных и травянистых культур критическая скорость бесподпорного резания колеблется в пределах 8—16 м/с [21]. Однако, для того чтобы обеспечить 100%-ное срезание барабанными роторами стеблей травы любой жесткости, необходимо увеличивать скорость резания до 40 м/с.

Полнота среза растений является не единственным критерием, определяющим выбор необходимой скорости резания. Скорость резания влияет и на такой важный показатель качества среза как высота стерни (при работе косилок) или высота необрезанных черешков ботвы (при работе ботвоуборочных машин или ботвосрезающих рабочих органов). От этого показателя, в свою очередь, зависит как полнота сбора растительной массы, так и (что особенно важно) качество обрезки ботвы корнеплодов, т. е. количество корнеплодов в процентном отношении,

обрезанных в соответствии с агротехническими требованиями.

Качество работы косилок обычно характеризуют коэффициентом увеличения высоты, т. е. отношением фактической длины оставшейся стерни к установочной высоте среза,

$$\varepsilon = \frac{l_{ст}}{h_{ср}},$$

где  $l_{ст}$  — фактическая длина стерни;

$h_{ср}$  — высота установки ножей.

Этот коэффициент зависит от физико-механических свойств скашиваемой растительности, остроты лезвия и в значительной

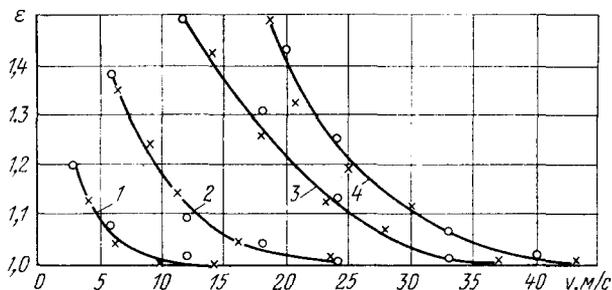


Рис. 81. Зависимость коэффициента увеличения высоты среза от скорости лезвия:

1 — клевер; 2 — костер; 3 — овсяница луговая; 4 — вегетативные побеги овсяницы луговой

степени от скорости бесподпорного резания. Экспериментальные исследования зависимости коэффициента увеличения высоты среза ботвы корнеплодов от скорости резания до настоящего времени не проводились. Данные по этим зависимостям получены в ВИСХОМе В. И. Фоминим для различных тонкостебельных культур [31]. Опыты проводились при следующих параметрах режущего аппарата: высота среза  $h_{ср} = 55$  мм; угол резания  $0^\circ$ ; угол заточки лезвия  $20^\circ$ ; острота лезвия 30 мкм. Полученные данные (рис. 81), хотя и не имеют непосредственного отношения к обрезке ботвы, однако могут служить исходным материалом для определения критической скорости ботвосрезающих механизмов, так как получены для срезаемых культур с широким диапазоном физико-механических свойств. Наибольшую влажность (82,2%) и жесткость имели стебли клевера, высота их находилась в пределах 30—40 см; наименьшие значения этих показателей (влажность 66,1%, высота 12—15 см) имели вегетативные побеги овсяницы луговой.

Как видно из графика, с увеличением скорости резания коэффициент увеличения высоты среза уменьшается и при некотором значении скорости (разной для различных культур) прибли-

жается к единице. Чем меньше высота стеблей, а также их жесткость и влажность, тем выше должна быть скорость резания.

Для обеспечения полноты среза растений, имеющих небольшую высоту и жесткость, скорость резания должна быть не менее 40 м/с. Такую скорость должны иметь универсальные ботвоуборочные машины, так как им приходится работать с различными культурами, и рабочие органы для обрезки черешков ботвы после прохода ботвоуборочной машины, так как при этом черешки ботвы имеют незначительную высоту.

### Элементы теории копирования

Работа копирующего механизма должна удовлетворять двум условиям:

1) между копиром и головкой корнеплода должен быть постоянный контакт, т. е. копир не должен отрываться от головки корнеплода при ее обкатывании;

2) давление копира не должно превышать механической прочности корнеплода.

Головки корнеплодов располагаются в почве по-разному: на уровне верхнего горизонта почвы, ниже и выше этого уровня.

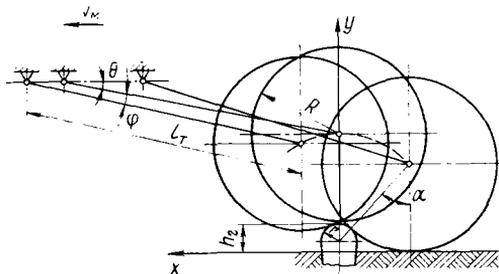


Рис. 82. Схема перемещения копира

Выступающие из почвы корнеплоды представляют наибольшую трудность для механизированной обрезки. Поэтому рассмотрим случай наезда копира на отдельный выступающий из почвы корнеплод. Определим параметры, при которых выполняется первое условие — постоянство контакта.

Контакт между копиром и корнеплодом может нарушаться под действием силы инерции, возникающей при перекатывании копира по корнеплодам.

Сила инерции равна произведению приведенной массы подвижных частей ботвореза на тангенциальную составляющую ускорения центра копира и направлена в сторону, противоположную направлению ускорения. Для определения этой силы рассмотрим кинематику перемещения копира. При этом сделаем допущение, что головки корнеплодов имеют сферическую форму (рис. 82).

Траектория движения копира во время его перекатывания по головке корнеплода может быть выражена уравнением

$$x^2 + (y - h_r + r)^2 = (r + R)^2, \quad (41)$$

где  $h_r$  — высота расположения головки корнеплода над поверхностью почвы;

$r$  — радиус сферы головки корнеплода;

$R$  — радиус копирующего катка.

При малых углах отклонения тяг навесной системы в процессе копирования можно принять  $\sin \varphi \approx \varphi$ ,  $\cos \varphi \approx 1$ .

В этом случае текущие координаты центра копира для осей координат, проходящих через точку пересечения оси корнеплода с верхним горизонтом почвы, записываем в следующем виде:

$$\begin{aligned}x &= v_m t + l_T \varphi \sin \theta; \\y &= R + h_r - l_T \varphi \cos \theta,\end{aligned}$$

где  $v_m$  — поступательная скорость машины;

$l_T$  — длина тяг навесной системы;

$\theta$  — угол отклонения тяги от горизонтали в крайнем верхнем положении копира.

Подставляя полученные значения  $x$  и  $y$  в уравнение (41) и производя некоторые преобразования, получаем квадратное уравнение

$$l_T^2 \varphi^2 - 2l_T \varphi [(R+r) \cos \theta - v_m t \sin \theta] + v_m^2 t^2 = 0,$$

решая которое, получаем уравнение перемещения центра копира относительно рамы машины

$$\begin{aligned}l_T \varphi &= (R+r) \cos \theta - v_m t \sin \theta - \\&- \sqrt{[(R+r) \cos \theta - v_m t \sin \theta]^2 - v_m^2 t^2}.\end{aligned}\quad (42)$$

Взяв первую производную по времени от уравнения (42), получаем скорость относительного перемещения центра копира:

$$\begin{aligned}v &= -\dot{l}_T \varphi = v_m \sin \theta - \\&\frac{2v_m^2 t \cos^2 \theta + (R+r) v_m \sin 2\theta}{2\sqrt{(R+r)^2 \cos^2 \theta - (R+r) v_m t \sin 2\theta - v_m^2 t^2 \cos^2 \theta}}.\end{aligned}\quad (43)$$

В этом уравнении положительное значение скорости соответствует периоду подъема копира, поэтому производная ее берется с отрицательным знаком. Вторая производная по времени от уравнения (42) дает тангенциальную составляющую ускорения относительного перемещения центра копира:

$$\begin{aligned}j_\tau &= -\ddot{l}_T \varphi = \\&= -\frac{v_m^2 (R+r)^2 \cos^2 \theta}{\sqrt{[(R+r)^2 \cos^2 \theta - (R+r) v_m t \sin 2\theta - v_m^2 t^2 \cos^2 \theta]^3}}.\end{aligned}\quad (44)$$

Перемещение копира по корнеплоду происходит в интервале времени от  $t_1$  (момент встречи катка с корнеплодом) до  $t = 0$  (фаза подъема) и далее от  $t = 0$  до  $t_2$  (фаза опускания).

Из геометрических построений (рис. 82) получаем

$$t_1 = -\frac{(R+r)\sin\alpha + h_r \operatorname{tg}\theta}{v_M}, \quad (45)$$

$$t_2 = \frac{(R+r)\sin\alpha - h_r \operatorname{tg}\theta}{v_M}, \quad (46)$$

где

$$\alpha = \arccos \frac{R - h_r + r}{R + r}.$$

Пусть  $R = 0,1$  м;  $h_r = 0,03$  м;  $r = 0,02$  м;  $v_M = 1$  м/с. Для этих значений параметров  $t_2 = -t_1 = 0,07938$  с (при  $\theta = 0$ );  $t_1 = -0,0967$  с;  $t_2 = 0,06206$  с (при  $\theta = 30^\circ$ ).

Изменение относительного перемещения  $l_{\tau\phi}$ , скорости  $v$  и тангенциальной составляющей ускорения  $j_\tau$  в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$  для  $\theta = 0$  и  $\theta = 30^\circ$  представлены на рис. 83.

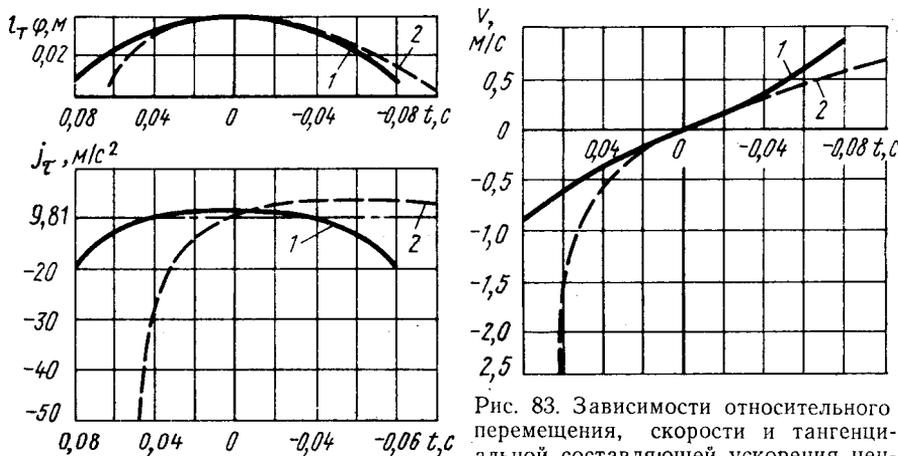


Рис. 83. Зависимости относительного перемещения, скорости и тангенциальной составляющей ускорения центра копира от времени:

1 — при  $\theta = 0$ ; 2 — при  $\theta = 30^\circ$

Графики показывают, что максимальные абсолютные значения тангенциальной составляющей ускорения соответствуют моментам встречи копира с корнеплодом  $t_1$  и схода копира с корнеплода  $t_2$ . Например, при  $t = 0$  абсолютные значения тангенциальной составляющей ускорения для  $\theta = 0$  и  $\theta = 30^\circ$  соответственно равны 8,33 и 9,61 м/с<sup>2</sup>.

При  $t_2$  для тех же значений угла  $\theta$  получаем абсолютные значения  $j_\tau$ , равные соответственно 20 и 191 м/с<sup>2</sup>. Как видно из графика (рис. 84), максимальные абсолютные значения танген-

циальной составляющей ускорения резко возрастают с увеличением угла  $\theta$ .

Следовательно, для повышения качества обрезки ботвы необходимо принимать угол установки тяг навесной системы  $\theta$ , равный или близкий к нулю.

При  $\theta = 0$  зависимости (42) — (46) принимают следующий вид:

$$l_{\tau\varphi} = (R + r) - \sqrt{(R + r)^2 - v_m^2 t^2},$$

$$v = - \frac{v_m^2 t}{\sqrt{(R + r)^2 - v_m^2 t^2}}, \quad (47)$$

$$j_{\tau} = - \frac{v_m^2 (R + r)^2}{\sqrt{[(R + r)^2 - v_m^2 t^2]^3}}, \quad (48)$$

$$t_2 = -t_1 = \frac{(R + r) \sin \alpha}{v_m}. \quad (49)$$

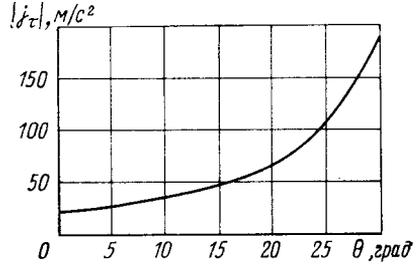


Рис. 84. Зависимость максимального абсолютного значения ускорения  $|j_{\tau}|$  от угла установки тяг навесной системы

Как видно из уравнения (48), при любом значении  $t$ , следовательно, в течение всего периода контакта копира с корнеплодом тангенциальная составляющая ускорения копира направле-

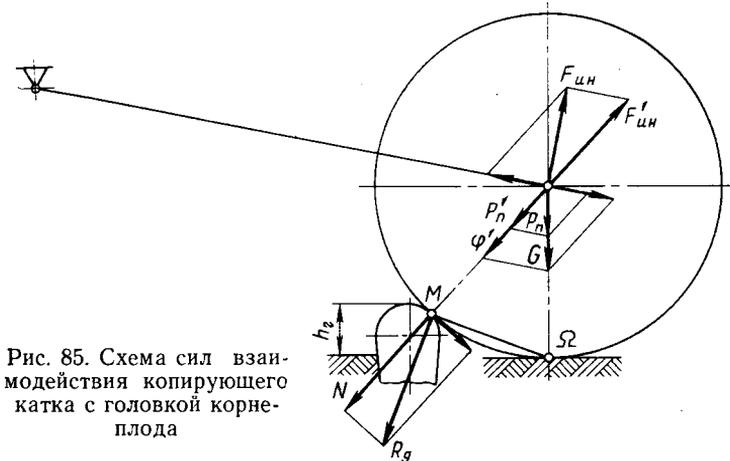


Рис. 85. Схема сил взаимодействия копирующего катка с головкой корнеплода

на вниз, а сила инерции катка — вверх и стремится нарушить контакт копира с корнеплодом.

При свободном перекачивании без пробуксовывания катка по поверхности ряда мгновенный центр вращения катка находится в точке  $\Omega$  (рис. 85).

Скорость точки  $M$  катка в момент соприкосновения его с головкой корнеплода направлена по перпендикуляру к радиусу-вектору  $\Omega M$ .

Вектор скорости точки  $M$  катка образует с вертикалью и силой нормального давления  $N$  катка на поверхность корнеплода углы

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \arccos \frac{R - h_r + r}{R + r}.$$

Направление реакции давления катка на корнеплод  $R_d$  в момент наезда (при  $t = t_1$ ) совпадает с направлением скорости точки  $M$  при  $\frac{\alpha}{2} < \varphi$ . При  $\frac{\alpha}{2} > \varphi$  реакция катка  $R_d$  отклонена от нормального давления  $N$  на угол трения  $\varphi$ .

Для уменьшения повреждений корнеплодов копирующие катки машин для уборки столовых корнеплодов имеют обрезиненную поверхность. Коэффициенты трения корней моркови и столовой свеклы по резине равны соответственно 0,60 и 0,63; ботвы по резине — 0,65 и 0,90 (см. табл. 9). Очевидно, что при любых значениях  $R$  и  $r$  справедливо неравенство

$$\frac{1}{2} \arccos \frac{R - h_r + r}{R + r} < 0,60.$$

Следовательно, реакция давления катка на корнеплод совпадает с направлением скорости точки  $M$  и направлена по перпендикуляру к радиусу-вектору  $OM$ .

Нормальное давление катка на корнеплод при  $\theta = 0$  составляет

$$N = G' + P'_n - F'_{ин}; \quad (50)$$

$$G' = \frac{mg}{\cos \alpha}; \quad (51)$$

$$P'_n = \frac{C [\delta + l_T (\varphi_{\max} - \varphi)]}{\cos \alpha};$$

$$F'_{ин} = \frac{mv_m^2 (R + r)^2}{\sqrt{[(R + r)^2 - v_m^2 t^2]^3 \cos \alpha}}, \quad (52)$$

где  $m$  — приведенная масса подвижных частей ботвореза;  
 $C$  и  $\delta$  — жесткость и предварительное натяжение пружины;  
 $\varphi_{\max}$  — угол максимального отклонения тяги от крайнего верхнего положения.

В связи с тем, что максимальная сила инерции соответствует моментам времени  $t_1$  и  $t_2$ , определим значения величин, входящих в уравнение (50) при  $t_1$  и  $t_2$ :

$$P'_n = \frac{C\delta}{\cos \alpha}. \quad (53)$$

$$F'_{ин} = \frac{mv_m^2 (R + r)^2}{(R - h_r + r)^3 \cos \alpha}. \quad (54)$$

Постоянство контакта между копиром и головкой корнеплода выполняется при условии

$$G' + P'_n - F'_{ин} \geq 0. \quad (55)$$

Подставляя в уравнение (55) значения входящих в него величин из уравнений (51), (53) и (54), после преобразований получаем силу действия пружины в крайнем нижнем положении копирующего механизма.

$$C\delta \geq m \left[ \frac{v_M^2 (R+r)^2}{(R+r-h_r)^3} - g \right], \quad (56)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения.

Приравняв нулю выражение в квадратных скобках, получаем критическое значение поступательной скорости

$$v_{кр} = \sqrt{g \frac{(R+r-h_r)^3}{(R+r)^2}}. \quad (57)$$

При  $v_M > v_{кр}$  требуется установка пружин, нагружающих копир, при  $v_M \leq v_{кр}$  нагружающие пружины можно не применять, а допускается установка разгружающих пружин для снижения давления копира на корнеплод (если  $v_M \ll v_{кр}$ ).

Формулы (56) и (57) показывают, что для повышения скорости работы ботворезов при постоянном динамическом воздействии копира на корнеплод необходимо:

а) уменьшать приведенную массу подвижных частей ботвореза;

б) увеличивать диаметр копирующего катка;

в) уменьшать кривизну и высоту неровностей копируемой поверхности.

Рассмотрим второе условие работы копирующего механизма, согласно которому давление копира не должно превышать механической прочности корнеплода.

Как было показано ранее, во время обкатывания копиром корнеплода сила инерции ботвореза направлена вверх. Однако при встрече с корнеплодом поступательное перемещение копира переходит в перемещение по окружности. В этом случае ускорение направлено вверх, а составляющая силы инерции суммируется с составляющими от веса и сил давления пружины.

В общем случае, второе условие запишем в следующем виде:

$$G' + P'_n + F'_{ин} \leq P_{кр} \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (58)$$

где  $P_{кр}$  — предельная сила давления на корнеплод, не вызывающая его разрушения.

Тангенциальную составляющую ускорения в момент встречи копира с корнеплодом можно приближенно получить в резуль-

тате деления скорости относительного перемещения копира (при  $t = t_1$ ) на время удара  $\Delta t$ .

При  $t = t_1$  на основании зависимостей (47) и (49) имеем

$$v = v_m \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}.$$

Учитывая, что  $\cos \alpha = \frac{R+r-h_r}{R+r}$ , по формулам приведения тригонометрических функций получаем

$$\begin{aligned} \cos \frac{\alpha}{2} &= \sqrt{1 - \frac{h_r}{2(R+r)}}; \\ \sin \alpha &= \frac{\sqrt{2h_r(R+r) - h_r^2}}{R+r}. \end{aligned}$$

Тогда скорость относительного перемещения копира в момент наезда на корнеплод

$$v = \frac{v_m \sqrt{2h_r(R+r) - h_r^2}}{R+r-h_r},$$

а тангенциальная составляющая ускорения

$$j_\tau = \frac{v_m \sqrt{2h_r(R+r) - h_r^2}}{(R+r-h_r)\Delta t}. \quad (59)$$

На основании зависимостей (54), (56), (58) и (59) второе условие запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} &\frac{mv_m(R+r)}{(R+r-h_r)^2} \left[ \frac{v_m(R+r)^2}{(R+r-h_r)^2} + \right. \\ &\left. \sqrt{1 - \frac{h_r}{2(R+r)}} \right. \\ &\left. + \frac{\sqrt{2h_r(R+r) - h_r^2}}{\Delta t} \right] \leq P_{кр}. \quad (60) \end{aligned}$$

Уравнения (56), (57) и (60) и рис. 84 показывают, что повышение качества обрезки ботвы обеспечивается изменением следующих параметров:

- 1) уменьшением массы подвижных частей ботвореза;
- 2) снижением поступательной скорости ботвореза;
- 3) увеличением диаметра копирующего катка;
- 4) уменьшением кривизны и высоты неровностей копируемой поверхности;
- 5) увеличением интервала времени  $\Delta t$ , в течение которого происходит изменение скорости копирующего катка, что достигается повышением эластичности последнего;
- 6) уменьшением угла навески тяг ботвореза.

Но, с другой стороны, с уменьшением скорости ботвореза снижается производительность машины, а с увеличением диаметра катка повышается вес ботвореза и увеличивается расстояние от зоны копирования до зоны обрезки. И то, и другое отрицательно сказывается на качестве обрезки. Следовательно, эти параметры не подлежат регулированию.

Эластичность копирующего катка также не может увеличиваться беспредельно, так как в этом случае не удастся обеспечить постоянство статического и динамического радиусов качения катка и, следовательно, нарушается заданная высота обрезки.

Остальные параметры должны совершенствоваться.

Как видно из зависимостей (56) и (60), решающее влияние на качество копирования оказывает неравномерность расположения головок корнеплодов относительно поверхности почвы.

Одним из путей повышения качества обрезки ботвы может явиться искусственное вмешательство в распределение головок корнеплодов. Оно может быть результатом селекционной работы и совершенствования агротехнических приемов выращивания или механического выравнивания головок корнеплодов по высоте.

### **ПОДКАПЫВАЮЩИЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ**

Основные требования, которым должны удовлетворять подкапывающие рабочие органы уборочных машин, сводятся к трем пунктам:

- 1) срез (подкапывание) слоя почвы;
- 2) разрушение (крошение) пласта;
- 3) передача срезанного слоя почвы на последующие органы машины.

Форма подкапываемого слоя зависит от размещения в нем корнеклубнеплодов.

В соответствии со специфическими особенностями различных овощных культур подкапывающие органы уборочных машин должны обеспечивать выкапывание:

1) мелкогабаритных корнеклубнеплодов округлой формы (репчатого лука, чеснока, редиса и т. п.), располагающихся в почве на малой глубине 5—8 см;

2) мелкогабаритных корнеклубнеплодов веретенообразной формы (моркови, цикория и т. п.), располагающихся в почве на глубине до 25 см;

3) крупногабаритных корнеплодов (брюквы, репы и др.).

Многообразием выполняемых задач обусловлено использование в овощеуборочных машинах подкапывающих органов всех типов: пассивных, активных и комбинированных.

## Плоские пассивные лемеха

В основу устройства пассивных лемехов овощеуборочных машин положен двугранный клин. Процесс его работы заключается в следующем: при движении лезвие лемеха разъединяет сцепленные между собой частицы почвы и срезанный пласт под действием реакции недеформированной почвы скользит вверх по рабочей поверхности клина. Качество работы лемеха зависит от типа и состояния почвы, а также угла установки и длины рабочей поверхности лемеха.

Работами, выполненными в ВИСХОМе Г. Н. Синеоковым [24], В. Г. Кирюхиным и др., установлено, что подкапывание почв

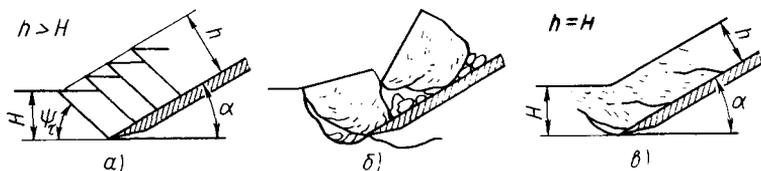


Рис. 86. Характер деформации почвы при подкапывании пассивным двугранным клином (по данным Г. Н. Синеокова):

*a* — песчаной (малой связности); *б* — суглинистой при низкой влажности; *в* — суглинистой при высокой влажности

малой связности сопровождается периодическим возникновением впереди лезвия лемеха плоскостей сдвига и образованием призматических глыб трапециевидальной формы (рис. 86). При смещении глыб относительно несрезанного слоя почвы по плоскости сдвига происходит усадка стружки, в результате чего толщина слоя почвы на поверхности лемеха больше глубины подкапывания. Степень усадки тем больше, чем больше угол установки лемеха. Путь, проходимый лемехом до возникновения очередной глыбы, составляет 0,5—0,6 глубины подкапывания.

Скорость движения образующихся глыб по лемеху (скорость транспортирования  $v_T$ ) меньше скорости поступательного движения лемеха и определяется из соотношения:

$$v_T = v_M \frac{\sin \psi_\tau}{\sin(\alpha + \psi_\tau)}.$$

В отличие от почв малой связности суглинистые и глинистые почвы под действием лемеха деформируются путем отрыва, а не сдвига [24]. При этом обработка сухой почвы характеризуется образованием почвенных глыб неправильной формы, размеры которых зависят от толщины подкапываемого слоя. Обработка влажных задернелых почв характеризуется образованием сплошной почвенной ленты без усадки. Скорость перемещения почвы по рабочей поверхности лемеха  $v_T$  в этом случае равна скорости поступательного движения самого лемеха  $v_M$ .

Скольжение пласта по рабочей поверхности лемеха без сгруживания (образование призмы волочения впереди лезвия лемеха) возможно, когда угол установки (наклона) лемеха  $\alpha < (90 - \varphi)$ , где  $\varphi$  — угол трения почвы о металл. Этим соотношением определяется предельное значение угла  $\alpha$ . Опыт работы машин для уборки корнеклубнеплодов показывает, что угол установки лемеха в зависимости от длины его рабочей поверхности целесообразно выбирать в пределах 25—32°.

Подкапывание слоя почвы при малом угле установки лемеха ( $\alpha < 25^\circ$ ) сопровождается образованием сплошного пласта, при этом крошение почвы незначительное и последующая сепарация ее чрезвычайно затруднена.

Влияние длины  $l$  рабочей поверхности лемеха на качество подкапывания выражается в том, что с увеличением длины  $l$  скорость перемещения пласта по лемеху уменьшается. В силу этого при какой-то предельной длине  $l$  происходит сгруживание почвы впереди лемеха.

Анализируя процесс работы землеройных машин, А. Н. Зеленин установил, что срезаемый лезвием пласт почвы перемещается по лемеху под действием активной силы, значение которой зависит от площади сечения пласта  $F$  [11].

Исходя из условия, согласно которому активная сила равна сумме сил, препятствующих перемещению пласта, А. Н. Зеленин рекомендует определять длину свободного перемещения срезаемой стружки по формуле

$$\lambda = \frac{k_{сж}}{\gamma_{об}(\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi + \sin \alpha)},$$

где  $k_{сж}$  — удельное сопротивление пласта сжатию;

$\gamma_{об}$  — объемный вес почвы.

Допустимая длина лемеха  $l < \lambda$ , так как при невыполнении этого условия начинается сгруживание почвы.

Полученную зависимость следует считать приближенной, поскольку в ней не учитывается поступательная скорость лемеха. Между тем скорость лемеха оказывает существенное влияние на сгруживание почвы.

Г. Н. Синеоков, рассматривая вопросы сгруживания почвы при работе двугранного клина, установил, что вероятность сгруживания почвы впереди лемеха возрастает с увеличением его скорости [24]. Им предложена зависимость для определения максимальной длины лемеха.

$$l \leq \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi) \left\{ \frac{\sigma_{в}}{\gamma_{об}} - \frac{2v_{м}^2}{g} \sin \frac{\alpha}{2} \left[ \cos \frac{\alpha}{2} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) - \sin \frac{\alpha}{2} \right] \right\}, \quad (61)$$

где  $\sigma_{в}$  — временное сопротивление почвы сжатию в кгс/см<sup>2</sup>.

Как видно из этого уравнения, при расчете длины лемеха  $l$  неизвестной величиной является сопротивление почвы сжатию, которое может быть найдено экспериментальным путем.

Прочностные свойства почвы начали изучать сравнительно недавно. Опытами ряда исследователей установлено, что вследствие неоднородности и непостоянства влажности почвы физико-механические свойства ее изменяются в широких пределах. Из имеющихся в литературе данных, касающихся сопротивления почвы деформации, наибольший интерес представляют исследования Я. М. Жука и В. Ф. Рубина (ВИМ) и А. Н. Зеленина, поскольку ими проводились опыты в естественных условиях на почве с ненарушенной структурой. Я. М. Жук и В. Ф. Рубин, изучая сопротивление глинистого чернозема растяжению, сжатию и сдвигу, пришли к выводу, что сопротивление почвы различным видам деформации резко уменьшается с увеличением влажности.

Так сопротивление почвы сжатию при влажности 12—16% составляет 1,08 кгс/см<sup>2</sup> при влажности 19—22% — 0,98 кгс/см<sup>2</sup> и при влажности 22—24% — 0,65 кгс/см<sup>2</sup>.

К таким же выводам пришел А. Н. Зеленин в процессе проведения опытов на сжатие пласта. Им установлена линейная

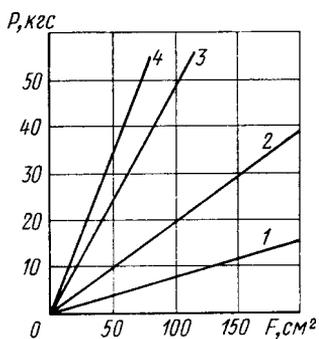


Рис. 87. Зависимость между разрушающим усилием  $P$  и сечением пласта  $F$  (по данным А. Н. Зеленина):

1 — песок влажностью 13%; 2 и 3 — супесь влажностью 14,3 и 10,1%; 4 — глина влажностью 13,9%

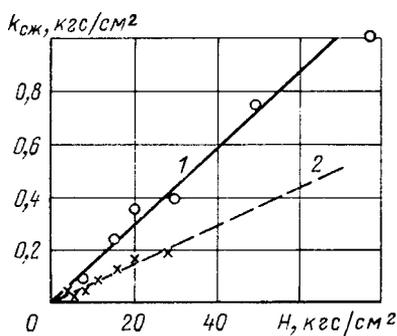


Рис. 88. Сопротивление почвы сжатию  $k_{сж}$  в зависимости от ее твердости  $H$ :

1 — по данным А. Н. Зеленина; 2 — по данным ВИСХОМа

зависимость между усилием  $P$ , разрушающим пласт, и сечением  $F$  пласта (рис. 87) для песчаных, супесчаных и глинистых почв. А. Н. Зелениным проводились опыты по определению сопротивления почвы сжатию  $k_{сж}$  в зависимости от ее твердости. Аналогичные опыты проводились в ВИСХОМе на суглинистых почвах. Результаты этих опытов представлены на рис. 88.

Приведенные данные можно использовать для ориентировочных расчетов длины рабочей поверхности плоского пассивного лемеха овощеуборочных машин.

Следует отметить, что расчетная длина лемеха тем меньше, чем меньше сечение срезаемого слоя. Так, для слоя почвы глубиной  $h = 15 \div 18$  см длина лемеха должна быть не более 290 мм при  $\alpha = 25^\circ$  и для слоя  $h = 5 \div 8$  см — 130 мм при  $\alpha = 15^\circ$ .

Малая длина лемеха не дает возможности конструктивно решать вопросы его компоновки с сепарирующими рабочими органами машины. Поэтому пассивные лемехи, несмотря на их простоту, не рекомендуется применять в машинах, где требуется подкапывание почвенного пласта малой толщины. Вместе с тем пассивный лемех эффективен как рабочий орган, нарушающий связь корнеплодов с почвой и облегчающий последующую ручную выборку.

Для определения сопротивлений, возникающих при подкапывании слоя почвы, рассмотрим действующие на лемех силы. В процессе среза, подъема и деформации почвенного пласта на рабочую поверхность лемеха действуют силы (рис. 89):  $R_{\text{лез}}$  — сопротивление почвы разведению связанных между собой частиц;  $R_{\text{деф}}$  — сопротивление почвы деформации;  $R_{\text{ин}}$  — сопротивление почвы преодолению инерции покоя и, наконец,  $R_G$  — сопротивление, вызванное статическим давлением пласта.

Сила  $R_{\text{лез}}$  зависит от плотности и размеров минеральных частиц обрабатываемой почвы, а также от толщины лезвия лемеха.

В работах, посвященных изучению процесса работы лемеха, установлено, что при самозатачивающемся лемехе сила  $R_{\text{лез}}$  мала по величине. В частности, по данным исследований, выполненных в ГДР, установлено, что при обработке плотных почв сопротивление их внедрению лезвия составляет 8—10% тягового усилия, а при обработке мягких рыхлых почв оно настолько мало, что им можно пренебречь.

Сопротивление  $R_{\text{лез}}$  не зависит от толщины срезаемого слоя почвы. Поэтому с уменьшением глубины подкапывания доля этого сопротивления в общем тяговом усилии возрастает и пренебрегать им нельзя. Так, по данным исследований, выполненных в ВИСХОМе, при резании тонкого слоя почвы лемехами бура сопротивление внедрению лезвия достигает 50% общей силы резания. При расчете тягового усилия можно считать, что

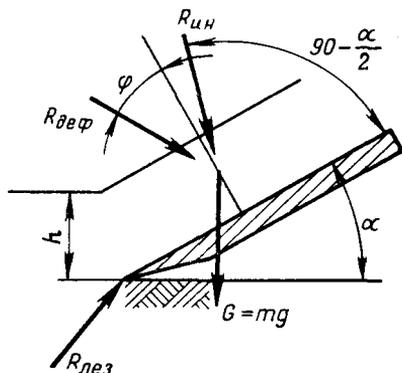


Рис. 89. Схема сил, действующих на лемех при срезе слоя почвы

сила  $R_{\text{лез}}$  пропорциональна длине лезвия (ширине лемеха):

$$R_{\text{лез}} = k_{\text{лез}} b,$$

где  $k_{\text{лез}}$  — коэффициент, зависящий от состояния и типа почвы и толщины лезвия;

$b$  — ширина лемеха.

Для дерново-подзолистых глинистых почв можно принять коэффициент  $k_{\text{лез}} = 3,6$  кгс/см, для каштановых —  $k_{\text{лез}} = 1,8 \div 2,4$  кгс/см.

Сила  $R_{\text{деф}}$  представляет собой геометрическую сумму сил нормального давления и трения. Установлено, что тяговое усилие возрастает с увеличением сечения срезаемого слоя почвы, угла наклона лемеха и трения почвы о лемех. Однако аналитическая зависимость между этими параметрами и силой  $R_{\text{деф}}$  не выявлена. Силу  $R_{\text{деф}}$  принимают пропорциональной сечению срезаемого слоя почвы [24].

$$R_{\text{деф}} = k_{\text{деф}} F = k_{\text{деф}} bh,$$

где  $k_{\text{деф}}$  — коэффициент, зависящий от физических свойств почвы;

$F$  — площадь сечения пласта.

Экспериментами установлено, что для дерново-подзолистых глинистых почв  $k_{\text{деф}} = 2,55$  кгс/см<sup>2</sup>, для каштановых —  $k_{\text{деф}} = 1,24 \div 1,7$  кгс/см<sup>2</sup>.

Соппротивление  $R_{\text{ин}}$  представляет собой усилие, необходимое на преодоление лемехом инерции покоя подкапываемого слоя почвы. В случае скольжения срезаемого пласта по поверхности клина без усадки, каждая точка на сходе с лемеха приобретает скорость, абсолютное значение которой равно сумме векторов  $v_m$  и  $v_t$ . Направление этой скорости определяется углом  $90 - \frac{\alpha}{2}$  к плоскости среза. Для рассмотренного случая Г. Н. Синеоков определил функциональную зависимость, в соответствии с которой,

$$R_{\text{ин}} = \frac{2v_m^2}{g} \gamma_{\text{об}} F \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Соппротивление  $R_G$ , обусловленное весом подкапываемого пласта, определяется из соотношения

$$R_G = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = bh l \gamma_{\text{об}} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

где  $G$  — вес пласта, находящегося на лемехе.

Тяговое усилие, необходимое на перемещение двугранного клина при обработке почвы равно сумме рассмотренных сопротивлений

$$P_{\text{общ}} = k_{\text{лез}} b + k_{\text{деф}} bh + bh l \gamma_{\text{об}} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \frac{bh}{g} v_m^2 \gamma_{\text{об}} \sin \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (62)$$

## Активные подкапывающие органы

К числу активных подкапывающих органов, чаще всего встречающихся в овощеуборочных машинах, относятся вращающиеся плоские диски и колеблющийся (качающийся) лемех.

Дисковый копач<sup>1</sup> состоит из двух вращающихся дисков, установленных под углом  $\alpha$  к горизонтальной плоскости (рис. 90).

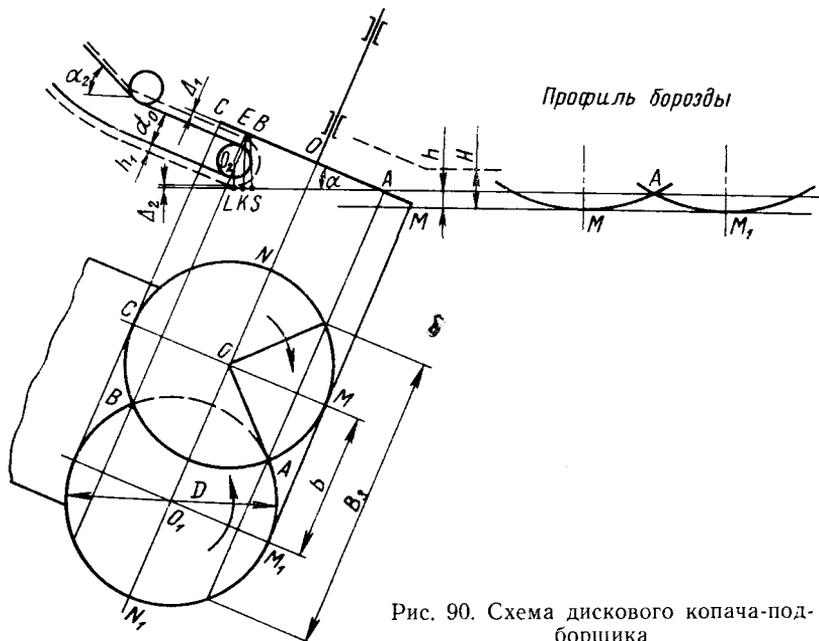


Рис. 90. Схема дискового копача-подборщика

Подкапывание и передача почвы на сепарирующие органы машины осуществляется за счет того, что срезаемый дисками слой почвы увлекается во вращение благодаря силе трения его о поверхность дисков. Частицы почвы, находящиеся в зоне  $OO_1M_1M$ , под действием дисков и давления еще не срезанного слоя перемещаются к сепарирующим органам. Слой почвы, подкапываемый наружными краями дисков (секторы  $MON$  и  $M_1O_1N_1$ ), вращаясь вместе с диском, под действием возникающей при этом центробежной силы инерции перемещается от центра к наружному краю дисков.

Такое перемещение возможно, если сила инерции  $J = m\omega^2R$  больше силы трения частиц о поверхность дисков. Поскольку в точке с любым радиусом  $R$  на поверхности диска сила трения  $F$  всегда больше нуля, а при  $R \rightarrow 0$  и  $J \rightarrow 0$ , то около центра

<sup>1</sup> Расчет дисковых рабочих органов томатуборочных машин дан в главе V.

диска существует область, где  $J < F$ . Из наружной зоны этой области почва под давлением несрезанного слоя вытесняется в зону, где  $J > F$ , а оттуда отбрасывается к наружному краю диска. При этом движущими являются центробежная  $J$  и кориолисова  $J_k$  силы инерции.

Поскольку сила  $J_k$  направлена под углом к радиусу, в сторону, обратную направлению переносного движения, то при движении от центра диска частица почвы отклоняется от радиального направления в сторону, обратную направлению вращения диска. Удаляясь от центра, частицы одновременно поднимаются вверх и слетают с диска на поверхность поля. В связи с этим при разработке дискового подкапывающего органа межцентровое расстояние между дисками  $b$  должно выбираться больше ширины выкапываемых междурядий, подкапываемого гребня или подбираемого вала корнеплодов на 150—200 мм. Если межцентровое расстояние меньше указанных величин, то почва, подкапываемая наружными краями дисков, вместе с плодами скапливается на них и сваливается на поверхность поля. Чаще всего это происходит при работе на плотных малосвязных почвах.

При неоднородной почве и неровном микрорельефе создаются условия, когда почва, подкопанная наружными краями дисков, все же поступает в зону  $MOO_1M_1$ . Неравномерное поступление почвы в среднюю зону вызывает заклинивание пласта между центральными стойками дисков, что приводит к большому количеству повреждений и потерь луковиц. Сгруживание почвы в результате заклинивания пласта между стойками подкапывающих дисков отмечалось Поволжской МИС. Во время испытаний машины УЛШ-2М Пушкинской МИС также отмечалось, что при работе на плотных и засоренных почвах перед дисками происходит сгруживание почвы.

Лабораторно-полевые исследования дискового подкапывающего органа показывают, что при подкапывании плоскими дисками почвенного пласта с луковицами, в связи с неравномерной подачей материала, потери лука составляют 3,5—30%. При подкапывании сферическими дисками, установленными под углом  $7^\circ$  к вертикали навстречу друг другу, почва подается более равномерно и потери не превышают 8%, полнота выкапывания и подбора при этом составляет 92,0—98,0%.

Следует также иметь в виду, что минимальное заглубление точек  $M$  и  $M_1$  всегда будет равно  $h$  или больше его, так как точка встречи дисков  $A$  всегда расположена выше их передних кромок (точки  $M$  и  $M_1$ ). Следовательно, даже при подборе валков возникает необходимость подкапывания почвы на глубину не менее

$$h = (R - \sqrt{4R^2 - b^2}) \cos \alpha.$$

Частоту вращения подкапывающих дисков выбирают из условия, согласно которому окружная скорость режущей кромки

диска должна быть больше в 4—5 раз рабочей скорости машины.

$$n = \frac{240v_M}{\pi D},$$

где  $D$  — диаметр диска.

Диаметр диска  $D$  выбирают в зависимости от межцентрового расстояния  $b$  в пределах

$$D \approx \frac{3}{4} b.$$

Колеблющиеся лемеха нашли широкое применение в отечественных машинах грохотного типа КГП-2; КВН-2, КГ-2, ККУ-2; ЛКГ-1,4; ККГ-1,4 для уборки картофеля, корнеплодов и лука.

Благодаря работам, выполненным ВИСХОМом, в конструкциях грохотов металлические упругие элементы (пружины, ресоры и т. п.), как основной источник поломок, заменены резино-металлическими и резиновыми. Это способствовало увеличению долговечности и надежности грохотов и выдвинуло их в ряд конструктивно наиболее простых и эффективных в эксплуатации универсальных рабочих органов.

В последние годы колеблющиеся лемеха используются и в машинах элеваторного типа. Такие лемеха имеют жесткое крепление с шатуном и шарнирно соединены с подвеской.

Благодаря значительному снижению сопротивления при внедрении колеблющихся (вибрационных) орудий в почву, вибрационная техника находит все большее практическое применение.

Первые работы, посвященные исследованию колеблющихся почвообрабатывающих орудий, выполнены независимо и почти одновременно А. А. Дубровским [9] и А. Эггенмюллером [36].

Работы А. Эггенмюллера посвящены изысканию наиболее целесообразных форм, параметров и режимов колебаний лемеха и отвала плужного корпуса. Им установлены зависимости тягового сопротивления от глубины подкапывания, поступательной скорости, амплитуды, частоты и направления колебаний рабочего органа.

Работы А. А. Дубровского позволили установить, что сообщение рабочему органу вынужденных колебаний при малых поступательных скоростях заметно снижает потребность в тяговой мощности; с увеличением поступательной скорости это снижение уменьшается.

А. А. Дубровским установлено существование определенных связей между предложенным им критерием длины волны вибрации  $\lambda = \frac{v_M}{\omega}$  и тяговой мощностью не только при вынужденных колебаниях, но и при разрушении почвы пассивным рабочим органом. Исследования с помощью скоростной киносъемки и осцил-

лографирования позволили установить ряд закономерностей, основные из которых заключаются в следующем:

1. Длина скалываемых участков почвы находится в прямой зависимости от поступательной скорости и амплитуды колебаний.

2. Между явлениями, происходящими при разрушении грунта пассивным рабочим органом и рабочим органом, приведенным в колебательное движение, нет принципиальной разницы.

3. Тяговое сопротивление колеблющегося рабочего органа изменяется по периодическому закону. Период изменения тягового сопротивления совпадает с периодом вынужденных колебаний рабочего органа. Тяговое сопротивление уменьшается с увеличением амплитуды и особенно частоты колебаний; направление колебаний меньше сказывается на его величине.

Обобщение материала исследований почвообрабатывающих колеблющихся органов в естественных условиях позволило А. А. Дубровскому сделать следующие выводы:

1. Разрушение почвы как колеблющимся, так и пассивным рабочим органом есть строго периодический автоколебательный процесс, цикл которого состоит из двух этапов:

а) возникновения внутренних напряжений в почве под воздействием орудия;

б) скалывания почвы и отбрасывания отколовшихся частиц в результате возникших напряжений. При этом сжатие почвы является промежуточной ступенью, в процессе которой происходит временное накопление энергии.

2. Эффект вибрирования достигается тем легче, чем больше квадрат частоты вынужденных колебаний  $\omega$ , меньше поступательная скорость  $v_M$ , больше размер орудий  $h \times b$  и плотнее грунт.

В грохотных машинах колеблющийся лемех (рис. 91) совершает колебания по дуге радиусом, равным длине подвески  $l_{II}$ . Учитывая, что радиус кривошипа (амплитуда)  $A$  значительно меньше длины подвесок, а отношение  $A/l_{II}$  близко к нулю, можно принять возвратно-поступательное движение лемеха прямолинейным, направленным под углом  $(\alpha + \beta)$  к горизонтальной плоскости.

В процессе работы абсолютная скорость лемеха складывается из поступательной скорости машины  $v_M$  и скорости колебаний

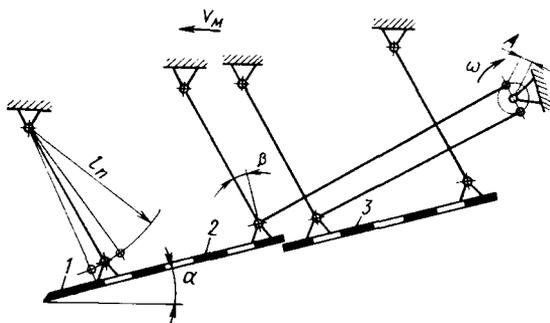


Рис. 91. Схема универсального колеблющегося грохота:

1 — лемех; 2 и 3 — решета

В процессе работы абсолютная скорость лемеха складывается из поступательной скорости машины  $v_M$  и скорости колебаний

тельного движения самого лемеха  $\omega A$ . В результате сложения этих скоростей в абсолютном движении лемех описывает пилообразную траекторию. Форма и размеры траектории зависят от амплитуды, частоты и направления колебаний, а также от скорости поступательного движения лемеха и определяются высотой зубцов  $h_{зуб} = 2A \sin(\alpha + \beta)$  и длиной пути лемеха за один период колебания

$$L = v_m t_{кол} = \frac{2\pi}{\omega} v_m.$$

Процесс подкапывания почвенного пласта колеблющимся лемехом можно разделить на две периодически повторяющиеся

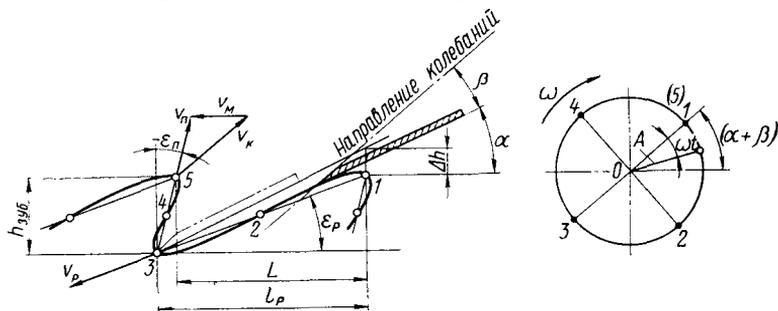


Рис. 92. Перемещения колеблющегося лемеха при абсолютном движении

фазы: резания, когда направление перемещения лемеха при колебательном движении совпадает с направлением перемещений в переносном движении, и подбрасывания, когда эти перемещения противоположны друг другу.

В фазе резания (рис. 92) лемех перемещается из точки 1 в точку 3, при этом в интервале между точками 1—2 скорость его возрастает, а между точками 2—3 уменьшается.

Значения сопротивлений и характер деформации почвы в фазе резания определяются значениями угла резания (крошения). Для пассивного лемеха этот угол, как правило, является углом его наклона, для качающегося лемеха угол резания зависит как от угла наклона, так и от режима работы и определяется соотношением

$$\alpha_p = \alpha - \epsilon_p,$$

где  $\alpha$  — угол наклона лемеха;

$\epsilon_p$  — угол между направлением движения лемеха в фазе резания и горизонталью.

Угол  $\epsilon_p$  не является постоянным и в каждый момент определяется отношением составляющих абсолютной скорости лемеха  $v_p$  в фазе резания: вертикальной  $v_{p,v} = \omega A \sin \omega t \cdot \sin(\alpha + \beta)$  к горизонтальной  $v_{p,r} = v_m + \omega A \sin \omega t \cdot \cos(\alpha + \beta)$ , т. е.

$\operatorname{tg} \epsilon_p = v_{p.в}/v_{p.г}$ . Однако с достаточной точностью можно считать, что в фазе резания

$$\operatorname{tg} \epsilon_p = \frac{2\omega A \sin(\alpha + \beta)}{v_m \pi + 2\omega A \cos(\alpha + \beta)}. \quad (63)$$

Значение угла  $\epsilon_p$  оказывает существенное влияние на тяговое усилие (рис. 93) и крутящий момент колеблющегося лемеха.

Процесс деформации суглинистых и глинистых почв под действием колеблющегося двугранного клина в фазе резания зависит от соотношения углов  $\alpha$  и  $\epsilon_p$ .

Если  $\epsilon_p = \alpha$  и угол резания  $\alpha_p = 0$ , то

$$\omega A = 1,57 v_m \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (64)$$

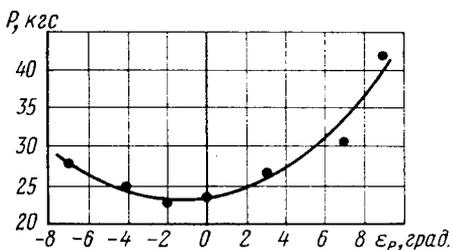


Рис. 93. Зависимость тягового усилия от угла  $\epsilon_p$

Деформация почвы при этом характеризуется сначала упругим, а затем пластическим уплотнением в плоскости рабочей поверхности (лезвия) лемеха. Срезаемый слой, не получая силового импульса вверх, остается в покое (рис. 94, а).

Это чрезвычайно важная особенность работы колеблющегося лемеха. Нетрудно установить (см. рис. 92), что высота подъема срезаемой почвы в конце фазы резания определяется величиной

$$\Delta h = l_p (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \epsilon_p).$$

Следовательно, при  $\alpha = \epsilon_p$  высота подъема пласта  $\Delta h = 0$ , т. е. срезаемый слой почвы остается в покое. Это позволяет сделать вывод о том, что сопротивление срезаемой почвы при преодолении инерции покоя в фазе резания отсутствует, а сопротивление  $R_{\text{лез.к}}$  при подкапывании почвы качающимся лемехом можно принять равным произведению площади сечения лемеха  $F_{\text{л}}$  на твердость почвы  $H$

$$R_{\text{лез.к}} = H F_{\text{л}}.$$

Если угол  $\epsilon_p > \alpha$  (рис. 94, в), то высота подъема  $\Delta h$  имеет отрицательное значение. Этому условию соответствуют режимы работы лемеха, при которых

$$\omega A \gg 1,57 v_m \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Такие режимы крайне нежелательны, так как в фазе резания нижняя поверхность лемеха (затылок лезвия) уплотняет слой почвы высотой  $\Delta h$  на дне борозды. Результатом уплотне-

ния является возникновение элементарных нормальных давлений на затылке лезвия, равнодействующая которых вместе с силами трения дает результирующую силу смятия  $R_{см}$ . На значение этой силы наибольшее влияние оказывает высота сминаемого слоя почвы  $\Delta h$ , которая в свою очередь, тем больше, чем больше разница между углами  $\epsilon_p$  и  $\alpha$ .

Сила  $R_{см}$  не только увеличивает тяговое усилие, необходимое на перемещение лемеха, но и стремится вытолкнуть лемех из почвы. Это может привести в конечном счете к выглублению лемеха или к значительному увеличению вибраций рамы машины в вертикальной плоскости.

Учитывая изложенное, можно дать рекомендацию по эксплуатации грохотных машин: заглубление в почву колеблющегося лемеха необходимо производить лишь тогда, когда машина начнет перемещаться, т. е. будет иметь поступательную скорость  $v_m$ .

Если  $\epsilon_p < \alpha$  (рис. 94, б), то характер деформации почвы при внедрении колеблющегося лемеха подобен деформации при работе пассивного лемеха, установленного под углом  $(\alpha - \epsilon_p)$ .

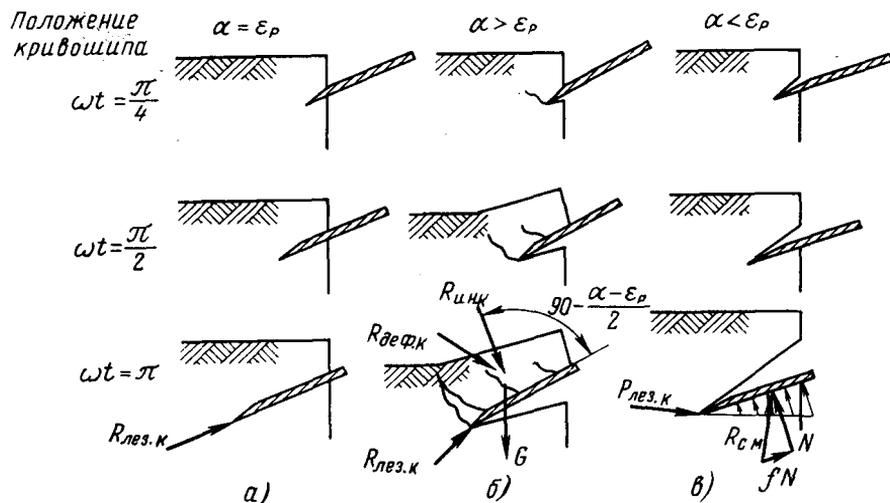


Рис. 94. Характер деформации слоя почвы в фазе резания при подкапывании его колеблющимся лемехом:

а — при  $\alpha_p = 0$ ; б — при  $\alpha_p > 0$ ; в — при  $\alpha_p < 0$

Тогда в фазе резания лемехом преодолевается динамическое усилие, которое определяется зависимостью

$$R_{ин.к} = \frac{2\sigma_p^2}{g} F \gamma_{об} \sin \left( \frac{\alpha - \epsilon_p}{2} \right).$$

Экспериментальные исследования процесса работы лемеха при  $\epsilon_p < \alpha$  показывают, что в начале фазы резания впереди лезвия возникает трещина, которая к концу фазы при малой тол-

щине слоя может достигнуть поверхности поля. При этом в конце фазы образуются призмovidные почвенные глыбы. Одновременно с подъемом почвы происходит интенсивное крошение пласта.

В рассматриваемом случае колеблющийся лемех, как и пассивный клин, преодолевает все виды сопротивлений почвы: внедрению лезвия  $R_{\text{лез. к}}$ ; деформации  $R_{\text{деф. к}}$ ; веса пласта  $R_{G. \text{к}}$  и инерции покоя  $R_{\text{ин. к}}$ .

Анализ процесса работы колеблющегося лемеха в фазе резания при различных соотношениях углов  $\alpha$  и  $\epsilon_p$  и данные экспериментальных исследований (см. рис. 93) показывают, что режимы работы лемеха, отвечающие наименьшим энергозатратам, наступают при условии  $\epsilon_p = \alpha$ , т. е.  $\omega A = 1,57 v_m \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ ; для лучшего выполнения технологического процесса (крошения слоя почвы) наиболее предпочтительны режимы, при которых  $\epsilon_p < \alpha$ ; нецелесообразными следует считать режимы, отвечающие условию  $\epsilon_p > \alpha$ .

Во второй фазе — фазе подбрасывания, при перемещении лемеха из точки 3 в точку 5 (см. рис. 92) направление его абсолютного движения определяется углом подбрасывания  $\epsilon_n$ , который также может быть принят постоянным для всей фазы и определен из соотношения:

$$\text{tg } \epsilon_n = \frac{v_m \pi}{2\omega A \sin(\alpha + \beta)} - \text{ctg}(\alpha + \beta). \quad (65)$$

Характер изменения угла  $\epsilon_n$  в зависимости от скорости и направления колебаний лемеха показан на рис. 95, а и б.

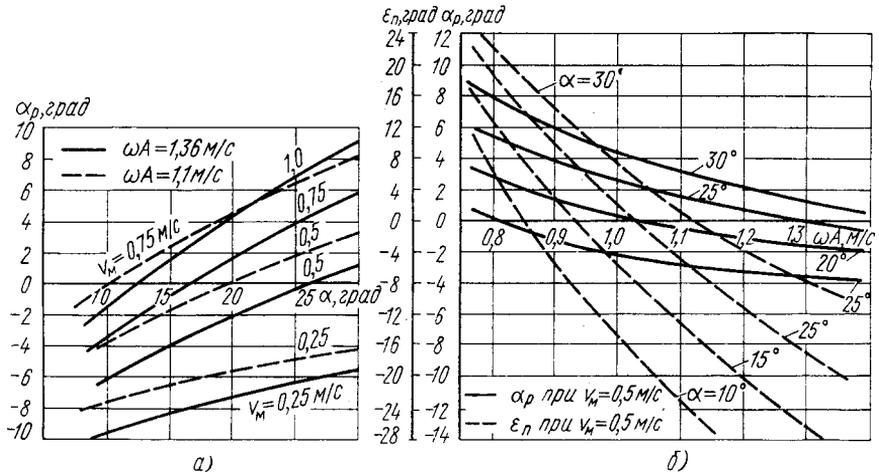


Рис. 95. Влияние параметров и режима работы лемеха на изменение углов  $\alpha_p$  и  $\epsilon_n$ :

а — зависимость угла резания от угла наклона лемеха; б — зависимость  $\alpha_p$  и  $\epsilon_n$  от скорости колебаний лемеха

Деформация почвы в фазе подбрасывания при малых значениях углов крошения характеризуется образованием глыб почвы в каждом цикле колебаний.

В начальный период происходит упругое уплотнение нижних слоев срезанной почвы, затем появляется трещина скалывания перед режущей кромкой лемеха и образуется призматическая глыба почвы. При последующем цикле колебания образовавшаяся глыба продолжает перемещаться вверх по поверхности лемеха, а лезвием срезается новый слой почвы.

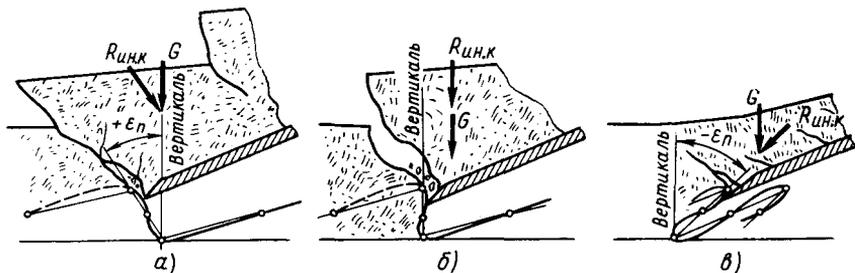


Рис. 96. Характер деформации срезанного слоя почвы в фазе подбрасывания:

а — при  $\epsilon_{\text{п}} > 0$ ; б — при  $\epsilon_{\text{п}} = 0$ ; в — при  $\epsilon_{\text{п}} < 0$

Образующаяся в процессе работы колеблющегося лемеха стружка на суглинистых и глинистых почвах при большой глубине подкапывания (15—20 см) и оптимальной влажности имеет трещины только в нижнем слое, а при глубине 8—10 см — трещины отрыва по всей толщине слоя. При подкапывании сухой связной почвы лемехом отрываются почвенные глыбы неправильной формы за несколько циклов колебаний.

Рассмотрим три характерных случая режимов работы лемеха в фазе подбрасывания (рис. 96), полагая, что перемещение почвы происходит непрерывными скачками с отрывом от рабочей поверхности лемеха.

Условия существования таких режимов будут рассмотрены дальше.

Если  $\epsilon_{\text{п}} > 0$ , то  $\omega A < 1,57 \frac{v_{\text{м}}}{\cos(\alpha + \beta)}$  и направление движения пласта с лемехом отклонено от вертикали в сторону движения машины, т. е. пласт сдвигается вперед (рис. 96, а), при этом абсолютная скорость каждой точки пласта изменяется от нуля до какой-то величины  $v_0$ , соответствующей скорости в момент отрыва пласта от лемеха  $v_0 = \omega A \sin \varphi_0$ , где  $\varphi_0$  — угол поворота кривошипа в момент начала отрыва.

Среднее ускорение, сообщаемое пласту,  $j = \frac{v_{\text{п}}}{t}$ ,

где  $v_{\pi}$  — абсолютная скорость пласта в фазе подбрасывания;  
 $t = \frac{\pi + \varphi_0}{\omega}$  — время, в течение которого пласт почвы проходит

путь от начала подбрасывания до момента отрыва.

Скорость  $v_{\pi}$  определим из треугольника скоростей (см. рис. 92)

$$v_{\pi} = \frac{\omega A \sin \varphi_0 \sin(\alpha + \beta)}{\cos \varepsilon_{\pi}},$$

тогда

$$j = \frac{\omega^2 A \sin \varphi_0 \sin(\alpha + \beta)}{(\pi + \varphi_0) \cos \varepsilon_{\pi}}.$$

При этом сила, необходимая на преодоление динамического давления пласта, будет

$$R_{\text{ин.к}} = m \frac{\omega^2 A \sin \varphi_0 \sin(\alpha + \beta)}{(\pi + \varphi_0) \cos \varepsilon_{\pi}}. \quad (66)$$

Продольная составляющая этой силы будет представлять собой одну из составляющих тягового усилия на перемещение лемеха при  $\varepsilon_{\pi} > 0$ .

$$R'_{\text{ин.к}} = m \frac{\omega^2 A \sin \varphi_0 \sin(\alpha + \beta)}{(\pi + \varphi_0) \cos \varepsilon_{\pi}} \operatorname{tg} \varepsilon_{\pi}.$$

Помимо силы  $R_{\text{ин.к}}$  лемех преодолевает усилие, необходимое на деформацию срезанного слоя почвы, которое по аналогии с пассивным лемехом может быть принято пропорциональным сечению подкапываемого пласта.

Если  $\varepsilon_{\pi} = 0$ , то  $\omega A = 1,57 \frac{v_m}{\cos(\alpha + \beta)}$  и перемещение лемеха и срезанного пласта происходит вверх строго по вертикали (см. рис. 96, б). Действующая на лемех реактивная сила  $R_{\text{ин.к}}$  в этом случае не влияет на величину тягового усилия, так как горизонтальная составляющая ее равна нулю. Сила  $R_{\text{ин.к}}$  от преодоления инерции покоя пласта полностью воспринимается приводом качающегося лемеха.

Если  $\varepsilon_{\pi} < 0$ , то  $\omega A > 1,57 \frac{v_m}{\cos(\alpha + \beta)}$  и направление перемещения лемеха и находящегося на нем слоя почвы отклонено от вертикали в сторону, противоположную направлению движения машины (см. рис. 96, в). Как и при  $\varepsilon_{\pi} = 0$  в данном случае сила  $R_{\text{ин.к}}$  воспринимается приводом лемеха.

При этом, если  $\alpha + \varphi > 90^\circ$ , то срезанная часть почвы поднимается лемехом вверх по плоскости надлома, соскальзывая одновременно по рабочей поверхности лемеха вниз. Если  $\alpha + \varphi < 90^\circ$ , то почва перемещается вместе с лемехом без скольжения.

Анализ влияния угла  $\epsilon_{\text{п}}$  на характер деформации и возникающие при этом сопротивления почвы показывают, что в фазе подбрасывания колеблющимся лемехом преодолеваются сопротивления, обусловленные весом  $G$ , силой инерции  $R_{\text{ин.к}}$  и деформацией  $R_{\text{деф.к}}$  срезаемого пласта. При  $\epsilon_{\text{п}} < 0$  силы  $R_{\text{ин.к}}$  и  $R_{G \text{ к}}$  полностью воспринимаются приводом лемеха. Тяговое усилие в этом случае минимальное и определяется сопротивлением почвы деформации.

$$R_{\text{общ. min}} = k_{\text{деф}} bh.$$

При  $\epsilon_{\text{п}} > 0$  тяговое усилие в фазе подбрасывания максимальное:

$$R_{\text{сбщ. max}} = k_{\text{деф}} bh + bh l_p \gamma_{\text{об}} \text{tg}(\alpha + \varphi) + bh l_p \gamma_{\text{об}} \times \\ \times \frac{\omega^2 A \sin \varphi_0 \sin(\alpha + \beta)}{(\pi + \varphi_0)} \text{tg} \epsilon_{\text{п}}, \quad (67)$$

где  $l_p = \frac{1}{\omega} [2\omega A \cos(\alpha + \beta) + v_{\text{м}} \pi]$  — отрезок пути лемеха за полупериод колебаний.

Таким образом, сообщение лемеху вынужденных колебаний позволяет снизить тяговое усилие за счет разделения во времени процессов среза, подъема и деформации почвенного пласта, а также за счет восприятия приводом некоторой части сопротивлений, преодолеваемых лемехом. Поэтому использование колеблющегося лемеха для подкапывания почвы целесообразно и с точки зрения лучшего энергетического использования трактора. Это подтверждается исследованиями, проведенными А. А. Дубровским [9] и А. Эггенмюллером [36].

Важнейшим технологическим показателем качества работы подкапывающего рабочего органа является скорость транспортирования срезанного слоя почвы. Движение материальной точки (частицы) по колеблющейся поверхности рассмотрено многими исследователями.

Первые серьезные работы в этом направлении были выполнены при рассмотрении процессов обогащения полезных ископаемых. В этих работах установлено существование таких рабочих режимов грохота, при которых материал может перемещаться по решетам скольжением (без подбрасывания) или скачками (с подбрасыванием).

Для режимов работы грохота без подбрасывания рекомендован ряд формул, в которых скорость транспортирования материала принята пропорциональной скорости колебаний  $\omega A$ , а для режимов с подбрасыванием средняя скорость транспортирования определена как сумма осредненных скоростей на участках свободного полета и контакта с колеблющейся плоскостью. При этом в рекомендуемые расчетные формулы входят коэффициенты пропорциональности, которые необходимо определять

эмпирическим путем для каждого транспортируемого материала в соответствии с его физико-механическими свойствами.

В работе И. И. Блехмана и Г. Ю. Джанелидзе сделана попытка учесть влияние различных факторов на процесс транспортирования частиц, в частности исследованы движения частиц шарообразной и цилиндрической формы для случая абсолютно неупругого и упругого ударов [3].

Для режимов с подбрасыванием ими предложена формула скорости транспортирования частиц

$$v_T = K \frac{\pi g \rho}{\omega} \operatorname{ctg} \beta,$$

где  $K$  — опытный поправочный коэффициент, зависящий от свойств транспортируемого материала и условий перемещения;

$p$  — 1, 2, 3 и т. д. — число полных колебаний грохота за время полета частицы.

В работах, посвященных транспортированию сельскохозяйственных продуктов, наиболее полные исследования проведены применительно к грохотам зерноуборочных машин. Согласно данным этих исследований среднюю скорость транспортирования материала рекомендуется определять графическим путем или по разности пути частиц вверх и вниз по решетке за полный период колебаний.

Анализ выполненных работ показывает, что на скорость транспортирования материала оказывает влияние множество факторов, однако основными являются свойства этого материала.

Для выявления наиболее целесообразных режимов работы колеблющегося лемеха и грохота овощеуборочных машин рассмотрим процесс перемещения почвы по наклонной поверхности лемеха.

Частицы почвы находятся на поверхности лемеха под действием следующих сил: веса  $G = mg$ , инерции от возвратно-поступательного движения  $J = mj$ ; нормального давления  $N$ ; трения  $F = fN$  и реакции  $P$  недеформированной почвы впереди лемеха.

При этом силой инерции, возникающей в результате движения лемеха по дуге вокруг точек подвеса, пренебрегаем, так как приняли ранее допущение о том, что движение лемеха происходит по прямолинейной траектории.

В процессе подкапывания слоя почвы реакция  $P$  способствует продвижению пласта вверх по лемеху. Однако уборка ряда овощных культур (репчатого лука, редиса, чеснока и др.) сопряжена с подкапыванием тонкого слоя почвы или подбором луковок (корнеплодов) из валков при отдельном способе уборки. В этом случае сила  $P$  практически отсутствует, так как она пропорциональна поперечному сечению срезаемого слоя почвы. Корнеплоды и комки почвы, расположенные на поверхности поля

(в валке), представляют собой изолированные части. В связи с этим перемещение частиц по лемеху будем рассматривать без учета силы  $P$ .

Для выяснения процесса перемещения частиц почвы по поверхности лемеха, совершающего прямолинейные колебания под углом  $(\alpha + \beta) < \alpha + \frac{\pi}{2}$ , рассмотрим изменение сил, действующих на частицу. В период времени, соответствующий повороту кривошипа из точки 1 в точку 3, сила инерции возрастает до максимального значения  $J_{\max}$  (рис. 97). При этом нормальное давление и сила трения будут минимальными  $N_{\min} = mg \cos \alpha - J_{\max} \sin \beta$  и  $F_{\min} = fN_{\min}$ , а сдвигающее частицу усилие — максимальное и направлено вверх  $R_c = J_{\max} \cos \beta - fN_{\min}$ .

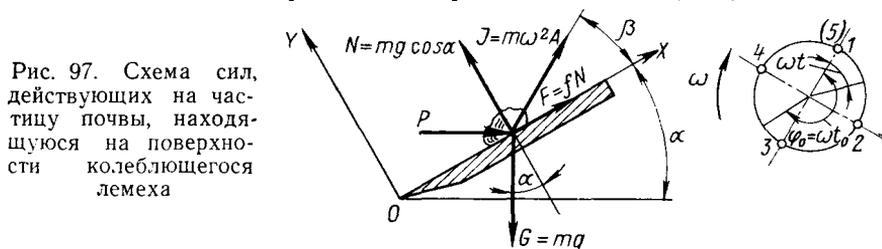


Рис. 97. Схема сил, действующих на частицу почвы, находящуюся на поверхности колеблющегося лемеха

При повороте кривошипа из точки 3 в точку 5 сила инерции направлена вниз. При этом нормальное давление и сила трения будут максимальными  $N_{\max} = mg \cos \alpha + J_{\max} \sin \beta$  и  $F_{\max} = fN_{\max}$ , а сдвигающее усилие — минимальное и направлено вниз  $R_c = J_{\max} \cos \beta - fN_{\max}$ .

Таким образом, возникающая при колебании лемеха сила инерции в большей степени способствует продвижению находящейся на нем почвы вверх, чем вниз. Этим объясняется возможность транспортирования почвы колеблющимся лемехом вверх.

Проекция перемещения лемеха на оси неподвижной системы координат запишем в виде

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= A(1 - \cos \omega t) \cos \beta; \\ y_1 &= A(1 - \cos \omega t) \sin \beta. \end{aligned} \right\} \quad (68)$$

Уравнения относительного движения частицы в системе координат, связанной с плоскостью лемеха, имеют вид

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= m\ddot{x}_1 - mg \sin \alpha + F; \\ m\ddot{y} &= m\ddot{y}_1 - mg \cos \alpha + N. \end{aligned} \right\} \quad (69)$$

Вычислив проекции силы инерции  $-m\ddot{x}_1$ ,  $-m\ddot{y}_1$  в относительном движении с помощью уравнений (68), запишем уравнения (69) так:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= -mg \sin \alpha + m\omega^2 A \cos \omega t \cos \beta + F; \\ m\ddot{y} &= -mg \cos \alpha + m\omega^2 A \cos \omega t \sin \beta + N. \end{aligned} \right.$$

В момент времени, когда частицы находятся на поверхности лемеха, координата  $y$  равна нулю, а сила трения

$$F = \begin{cases} -fN & \text{при } \dot{x} > 0; \\ +fN & \text{при } \dot{x} < 0, \end{cases}$$

где  $f = \operatorname{tg}\varphi$  — коэффициент трения покоя.

При перемещении почвы по поверхности лемеха координата  $y$  также равна нулю и сила трения определяется соотношением

$$F = \pm f(mg \cos \alpha - m\omega^2 A \cos \omega t \sin \beta).$$

Тогда уравнение движения частицы почвы по поверхности лемеха запишем так:

$$\ddot{x} = g \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos \varphi} + \omega^2 A \cos \omega t \frac{\cos(\beta \pm \varphi)}{\cos \varphi}.$$

Почва остается на поверхности лемеха лишь при  $N > 0$ . Если это условие не выполняется, то частицы почвы отрываются от поверхности лемеха и тогда  $F = fN = 0$ .

Отсюда уравнение полета частицы почвы

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \omega^2 A \cos \omega t \cos \beta - g \sin \alpha; \\ \ddot{y} &= \omega^2 A \cos \omega t \sin \beta - g \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (70)$$

Условие динамического равновесия в момент отрыва можно записать в виде  $\omega^2 A \cos \omega t_0 \sin \beta = g \cos \alpha$  или

$$\cos \omega t_0 = \frac{g}{\omega^2 A} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (71)$$

Произведение  $\frac{g}{\omega^2 A} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta}$  может быть названо коэффициентом режима работы лемеха.

$$K_{\pi} = \frac{g}{\omega^2 A} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta}.$$

По значению коэффициента  $K_{\pi}$  можно судить о режиме работы лемеха: если  $K_{\pi} > 1$  — движение частиц почвы происходит без отрыва от поверхности лемеха (режимы первого рода); если  $K_{\pi} < 1$  — движение происходит скачками, т. е. режимы с подбрасыванием (режимы второго рода).

Момент времени, соответствующий началу отрыва частиц от поверхности лемеха и являющийся временной границей режимов первого и второго рода определяется соотношением:

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arccos \left( \frac{g}{\omega^2 A} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} \right). \quad (72)$$

При режимах с подбрасыванием период полета частицы  $T_{\pi}$  может быть равен периоду колебаний лемеха  $T$  или же превышать его в любое число  $p$  раз, тогда  $T_{\pi} = pT$ .

Для определения условий движения частиц почвы по плоскости лемеха непрерывными скачками, проинтегрируем уравнения (70) при начальных условиях:  $x = 0$ ,  $\dot{x} = v_{0x}$ ,  $y = v_{0y}$ ;  $y = 0$ , где  $v_{0x}$  и  $v_{0y}$  — проекции вектора скорости частицы в момент отрыва.

$$\begin{aligned} x &= -\frac{g \sin \alpha}{2} (t-t_0)^2 - A \cos \beta (\cos \omega t - \cos \omega t_0) - \\ &\quad - \omega A \cos \beta \sin \omega t_0 (t-t_0) + v_{0x} (t-t_0); \\ y &= -\frac{g \cos \alpha}{2} (t-t_0)^2 - A \sin \beta (\cos \omega t - \cos \omega t_0) - \\ &\quad - \omega A \sin \beta \sin \omega t_0 (t-t_0) + v_{0y} (t-t_0). \end{aligned}$$

В момент времени  $t = t_n$ , соответствующий падению частиц на поверхность лемеха,  $y = 0$ , тогда

$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{g \cos \alpha}{2} (t_n-t_0)^2 - A \sin \beta (\cos \omega t_n - \cos \omega t_0) - \\ &\quad - \omega A \sin \beta \sin \omega t_0 (t_n-t_0) + v_{0y} (t_n-t_0). \end{aligned}$$

Заменив  $t_n$  и  $t_0$  фазовыми углами поворота кривошипа:  $t_n = \frac{\varphi_n}{\omega}$ ;  $t_0 = \frac{\varphi_0}{\omega}$  и учтя уравнение (71), получим

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cos \varphi_0 (\varphi_n - \varphi_0)^2 + \cos \varphi_n - \cos \varphi_0 + \sin \varphi_0 (\varphi_n - \varphi_0) &= \\ &= \frac{v_{0y}}{\omega A \sin \beta} (\varphi_n - \varphi_0). \end{aligned} \quad (73)$$

Рассмотрим случай, когда коэффициент восстановления при падении частицы на лемех равен нулю, тогда и поперечная составляющая начальной скорости отрыва частицы от плоскости лемеха равна нулю. При этом уравнение (73) принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cos \varphi_0 (\varphi_n - \varphi_0)^2 + \cos \varphi_n - \cos \varphi_0 + \sin \varphi_0 \times \\ \times (\varphi_n - \varphi_0) &= 0. \end{aligned} \quad (74)$$

В режимах с непрерывным подбрасыванием  $\varphi_n = \varphi_0 + 2\pi\rho$ , поэтому  $\cos \varphi_0 \pi\rho = \sin \varphi_0$ , отсюда

$$\cos \varphi_0 = \frac{1}{\sqrt{\pi^2 \rho^2 + 1}}. \quad (75)$$

Используя равенство (75), из выражения (71) получим

$$\frac{1}{\sqrt{\pi^2 \rho^2 + 1}} = \frac{g}{\omega^2 A} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta},$$

откуда

$$\omega^2 A = \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta} \sqrt{\pi^2 \rho^2 + 1}.$$

Если время одного периода колебаний лемеха равно времени полета частицы, то  $p = 1$  и тогда

$$(\omega^2 A)_1 = g \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} \sqrt{\pi^2 + 1} \approx 3,3 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (76)$$

Очевидно, если задаться условием, что время полета частицы равно времени двух оборотов кривошипа, то при  $p = 2$  получим

$$(\omega^2 A)_2 \approx 6,36 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}.$$

Аналогично находим для случая, когда время полета равно времени трех оборотов, т. е.  $p = 3$ ,

$$(\omega^2 A)_3 \approx 9,48 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}.$$

Полученные формулы дают возможность приближенно рассчитать и выбрать необходимые пределы изменения параметров и режимов работы лемеха при экспериментальном исследовании.

Частоту вращения кривошипа, необходимую для подбрасывания, можно рассчитать по формуле, полученной из уравнения (76)

$$n_n = 30 \sqrt{\frac{\cos \alpha}{A \sin \beta}}; \quad (77)$$

частоту вращения, соответствующую критическим режимам — по формуле

$$n_{кр} = 30 \sqrt{\frac{K_0 \cos \alpha}{A \sin \beta}}, \quad (78)$$

где  $K_0 = \sqrt{\pi^2 p^2 + 1}$ ; при  $p = 1, 2, 3$  и т. д.  $K_0 = 3,3; 6,36; 9,48$  и т. д.

Полученные данные представлены в виде графика (рис. 98), анализ которого позволяет установить, что с увеличением амплитуды  $A$  от 5 до 20 мм резко снижается необходимая для обеспечения режимов с подбрасыванием частота вращения  $n$  эксцентрикового вала. Повышение амплитуды в интервале 20—40 мм сказывается в меньшей степени, а дальнейшее повышение практически не сказывается, поскольку кривые асимптотически приближаются к оси абсцисс. В связи с этим выбор амплитуды колебаний меньше 10 мм и больше 30 мм нецелесообразен. При таких значениях амплитуды и угле  $\beta = 15^\circ$  для обеспечения начала подбрасывания требуется (при  $A = 30$  мм) свыше 350 об/мин, а для обеспечения второго критического режима около 900 об/мин. Исходя из этих соображений, диапазон изменений частоты вращения эксцентрикового вала следует выбирать в пределах 350—900 об/мин.

Существенное влияние на скорость транспортирования оказывает характер движения частиц почвы, который обуславливается взаимосвязанными углами  $\alpha$  и  $\beta$ . Эти углы определяют направление колебаний лемеха к его плоскости и горизонтали. Чем меньше угол  $\beta$ , тем большие ускорения лемеха требуются для обеспечения подбрасывания материала. Одновременно, этот угол оказывает существенное влияние на высоту подъема частиц, длительность их полета и другие факторы.

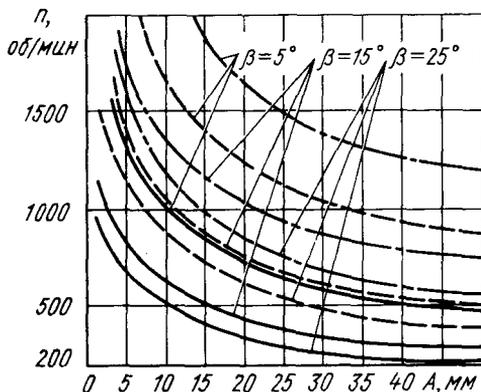


Рис. 98. График для выбора режимов работы лемеха:

— — — — —  $K_0 = 1$ ; — — — — —  $K_0 = 6,36$ ;  
 - - - - -  $K_0 = 3,3$ ;

Уравнение траектории движения изолированной частицы во время ее полета в системе координат, ось  $X$  которой направлена по горизонтали, имеет вид

$$y = x \operatorname{tg}(\alpha + \beta) - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2(\alpha + \beta)}, \quad (79)$$

где  $v_0$  — начальная скорость частицы в момент отрыва ее от поверхности лемеха.

При одинаковой начальной скорости  $v_0$  можно получить семейство траекторий, удовлетворяющих уравнению (79), в котором будет меняться угол направления колебаний. Следовательно, угол  $(\alpha + \beta)$  определяет характер перемещения частиц по лемеху.

Координаты точки встречи частицы с колеблющейся поверхностью можно записать в виде

$$x = l_c \cos \alpha \quad \text{и} \quad y = l_c \sin \alpha.$$

Подставив значения  $x$  и  $y$  в уравнение траектории, получим

$$l_c \sin \alpha = l_c \cos \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \beta) - \frac{gl_c^2 \cos^2 \alpha}{2v_0^2 \cos^2(\alpha + \beta)}.$$

Последнее уравнение запишем в таком виде:

$$l_c = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta) \sin \beta}{\cos^2 \alpha}.$$

Решим уравнение относительно угла  $\beta$ , преобразовав числитель второго множителя правой части,

$$2 \cos(\alpha + \beta) \sin \beta = \sin(2\beta + \alpha) - \sin \alpha,$$

тогда

$$\sin(2\beta + \alpha) = \frac{gl_c}{v_0^2} \cos^2 \alpha + \sin \alpha.$$

Подобная зависимость между углами  $\alpha$  и  $\beta$  впервые получена в баллистике и известна под названием обобщенной формулы Лендера.

Угол наклона подвесок  $\beta_0$ , соответствующий заданной дальности полета частицы при угле наклона лемеха  $\alpha = 0$ , определим из последнего уравнения

$$\sin 2\beta_0 = \frac{gl_c}{v_0^2}.$$

Пользуясь этим равенством, вместо дальности полета (скачка) частицы  $l_c$  за исходную величину в формуле Лендера примем такой угол наклона подвесок  $\beta_0$ , который отвечал бы этой дальности при угле наклона лемеха  $\alpha = 0$ . Тогда

$$\sin(2\beta + \alpha) = \sin 2\beta_0 \cos^2 \alpha + \sin \alpha. \quad (80)$$

Полученное выражение может быть представлено семейством кривых зависимости угла наклона подвесок  $\beta$  от угла наклона лемеха для различных значений  $\beta_0$

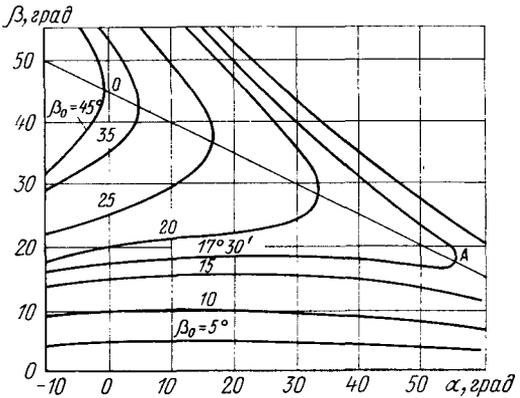


Рис. 99. Зависимость угла  $\beta$  от угла  $\alpha$

лемеа для различных значений  $\beta_0$  (рис. 99), т. е. для определенной дальности полета частицы  $l_c$ . Так, например, при угле наклона лемеха  $\alpha = 0$  заданный скачок  $l_c$  частицы достигается при угле наклона подвесок  $\beta = 20^\circ$ . Такой же скачок при угле наклона колеблющегося лемеха  $\alpha = 30^\circ$  может быть определен следующим образом: из точки на

оси абсцисс, отвечающей  $\alpha = 30^\circ$ , необходимо провести ординату, пересечение которой с кривой, соответствующей  $\beta_0 = 20^\circ$ , даст  $\beta_1 = 24^\circ$  и  $\beta_2 = 36^\circ$ .

Следовательно, для лемеха с углом наклона  $30^\circ$  заданный скачок частицы может быть получен при двух значениях угла наклона подвесок, т. е. движение частицы может осуществляться по двум траекториям: настильной ( $\beta = 24^\circ$ ) и навесной ( $\beta = 36^\circ$ ).

Пользуясь уравнением огибающей параболы, определим координаты точек  $A$  и  $B$  на рис. 100:  $x_A = 0$ ;  $y_A = \frac{v_0^2}{2g}$  и  $x_B = \frac{v_0^2}{g}$ ;  $y_B = 0$ . Каждой кривой соотношения (80) на рис. 100 соответствует окружность, радиус которой равен дальности полета  $l_c$ .

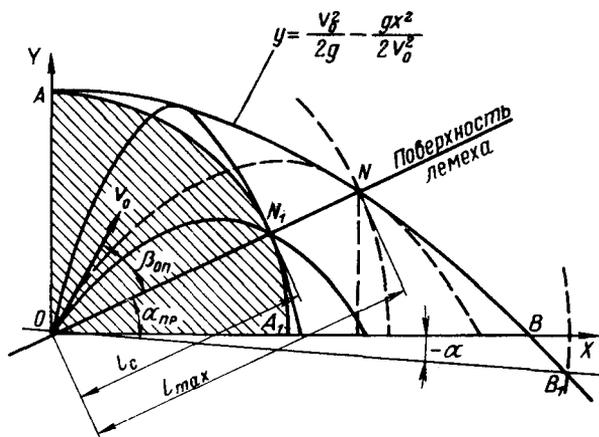


Рис. 100. Траектория движения части почвы при различных направлениях колебания лемеха

Границей области  $OAN_1A_1$  является окружность радиусом  $v_0^2/2g$ .

Используя уравнение (70) полета частицы, найдем для этой области угол  $\beta_0$ , отвечающий дальности полета  $l_c$  для горизонтально установленного лемеха, т. е. при  $\alpha = 0$ .

$$x_A = \frac{v_0^2 \sin(\alpha + \beta)}{g}.$$

В то же время  $x_A = OA$ , а из уравнения огибающей параболы при  $x = 0$   $OA = v_0^2/2g$ , тогда после подстановки в последнее уравнение значения  $x_A$ , получим  $\sin 2(\alpha + \beta) = \frac{1}{2}$  или  $2(\alpha + \beta) = 30^\circ$ . Но  $\alpha = 0$ , поэтому  $\beta_0 = 15^\circ$ .

В любую точку окружности  $AA_1$ , кроме точки  $A$ , подброшенная частица может попасть двояко: по настильной или навесной траектории. Поэтому в приведенном примере одной и той же дальности полета частицы  $l_c$  соответствуют два значения угла  $\beta$ .

Область  $ANBA_1N_1$  характеризуется тем, что здесь любая кривая соотношения (80) имеет только одно значение скачка  $l_c = ON_1$ , для которого угол наклона лемеха предельный  $\alpha_{пр}$ . Подставив в уравнение огибающей параболы координаты точки:

$N$ :  $x_N = l_c \cos \alpha_{\text{пр}}$  и  $y_N = l_c \sin \alpha_{\text{пр}}$ , после преобразования получим значение предельного угла наклона лемеха:

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = 1 - \frac{1}{\sin 2\beta_0}. \quad (81)$$

Это значит, что в рассматриваемой области заданная дальность полета  $l_c$  может быть достигнута только при  $\alpha \leq \alpha_{\text{пр}}$ . Например, при горизонтально установленном лемехе скачок  $l_c$ , отвечающий углу  $\beta_0 = 20^\circ$ , не может быть достигнут при любых значениях угла  $\beta$ , если угол наклона лемеха будет больше  $33^\circ 40'$ .

Граничная точка  $B$  в этой области отвечает наибольшему значению дальности полета. Любая окружность радиусом, превышающим  $OB$ , не имеет точек с положительным значением угла наклона лемеха, поэтому дальность полета частицы большая, чем отрезок  $OB$ , может быть достигнута только при условии  $\alpha < 0$ , т. е. только в том случае, когда транспортирование почвы происходит в сторону уклона лемеха (вниз).

Анализ полученных различными исследователями формул, определяющих скорость перемещения материала по колеблющейся поверхности, а также анализ движения частиц по поверхности лемеха показывают, что на процесс транспортирования почвы оказывают влияние параметры и режимы работы лемеха, физико-механические свойства и состояние транспортируемого материала и такие факторы, как сопротивление воздуха (особенно при движении с подбрасыванием) и т. п. Многообразие факторов, определяющих процесс транспортирования, затрудняет его исследование аналитическими методами и обобщение результатов экспериментов.

Теоретический анализ показывает, что скорость перемещения материала колеблющимся лемехом находится в прямой зависимости от скорости колебаний лемеха  $\omega A$ . Кроме этого, на скорость транспортирования, как указывалось, влияют параметры и рабочие режимы лемеха, а также толщина слоя и свойства почвы. С учетом рассмотренного обобщенная формула скорости перемещения почвы по лемеху имеет вид

$$v_t = \omega A f(\omega^2 A, \alpha, \beta, k_h, k_w),$$

где  $k_h$  — коэффициент, учитывающий высоту слоя почвы на лемехе;

$k_w$  — коэффициент, учитывающий влажность транспортируемой почвы.

Экспериментальными исследованиями процесса подкапывания и транспортирования почвы лемехом с помощью скоростной киносъемки установлено влияние на скорость перемещения частиц основных рабочих параметров (амплитуды, направления и скорости колебаний, угла наклона) лемеха и влажности почвы. Прежде всего установлено влияние скорости колебаний лемеха

$\omega A$  на скорость перемещения почвы  $v_T$  по лемеху. При этом выявлены две основные закономерности.

Во-первых, для одного и того же значения скорости колебаний  $\omega A$  более высокие скорости перемещения почвы наблюдаются при меньших амплитудах (табл. 17).

Во-вторых, возрастание скорости транспортирования происходит только до определенного значения  $\omega A$ . Дальнейшее повышение скорости колебаний приводит к снижению скорости  $v_T$ , а

Таблица 17  $v_T, \text{ м/с}$   
Скорость перемещения почвы по лемеху в м/с

Скорость колебаний $\omega A$ в м/с	Амплитуда $A$ в мм			
	10	15	20	25
0,78	0,46	0,34	0,21	0,18
0,94	0,65	0,52	—	0,3

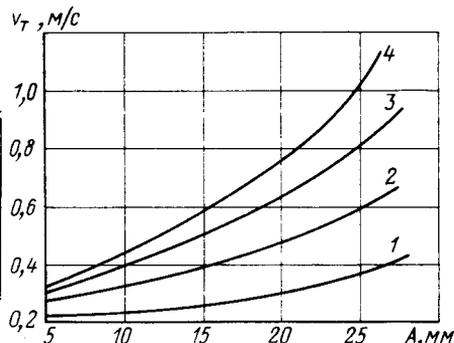


Рис. 101. Влияние амплитуды колебаний на скорость транспортирования почвы:

1 — при  $n = 390$  об/мин; 2 — при  $n = 490$  об/мин; 3 — при  $n = 590$  об/мин; 4 — при  $n = 675$  об/мин

затем к постепенному увеличению до следующего максимума. При этом значение второго максимума меньше первого, т. е.  $v_{T1\max} > v_{T2\max}$ . Эта разница в скорости транспортирования объясняется значительными перепадами давления воздуха, возникающими при больших значениях  $\omega A$  между слоем почвы и поверхностью лемеха.

Исследования показывают, что скорость транспортирования суглинистых и глинистых почв при влажности 16,2% с увеличением амплитуды возрастает по параболической кривой (рис. 101). Наиболее интенсивное возрастание скорости наблюдается при больших значениях амплитуды и меньших частотах. Так, повышение скорости при амплитуде 15 мм и увеличении частоты вращения с 390 до 490 об/мин составляет 0,15 м/с, в интервале частоты вращения 490—590 об/мин — 0,11 м/с, а в интервале 590—680 об/мин — 0,082 м/с.

На скорость транспортирования почвы оказывают влияние углы  $\alpha$  и  $\beta$ . С увеличением угла наклона лемеха  $\alpha$  скорость перемещения почвы снижается главным образом из-за скатывания части верхнего слоя пласта. Предельными значениями угла наклона лемеха при подкапывании суглинистых и глинистых почв можно считать  $\alpha = 38 \div 43^\circ$  для срезаемого слоя почвы толщиной 18—20 см и  $\alpha = 29 \div 36^\circ$  для слоя 8—10 см. При этих значениях угла  $\alpha$  транспортирование почвы практически прекращается.

Направление колебаний, определяемое углом  $\beta$ , оказывает наиболее существенное влияние на скорость транспортирования  $v_T$ . Установлено, что с увеличением угла  $\beta$  скорость перемещения материала возрастает. Однако повышение скорости наблюдается только до определенного значения  $\beta$ , при дальнейшем его увеличении скорость транспортирования снижается.

Возрастание и снижение скорости  $v_T$  с изменением угла  $\beta$  происходит довольно резко: так, с увеличением угла  $\beta$  от  $5^\circ$  до  $15^\circ$  скорость транспортирования повышается в 1,7 раза, а при дальнейшем увеличении с  $15^\circ$  до  $25^\circ$  снижается в 1,5 раза. Поэтому при проектировании следует иметь в виду, что выбор угла  $\beta$  в значительной мере определяет качество работы колеблющегося лемеха и машины в целом.

Оптимальное значение угла направления колебаний  $\beta_{\text{опт}}$  определяется главным образом амплитудой  $A$  и частотой колебаний  $n$ , при этом малым значениям  $A$  и  $n$  соответствуют максимальные значения  $\beta_{\text{опт}}$  (рис. 102). Следовательно, при работе лемеха в области низких режимов  $\omega^2 A$  целесообразно принимать большие значения угла  $\beta$  и наоборот.

Характер перемещения почвы по поверхности лемеха при постоянной амплитуде, частоте и угле  $\beta$  определяется глубиной

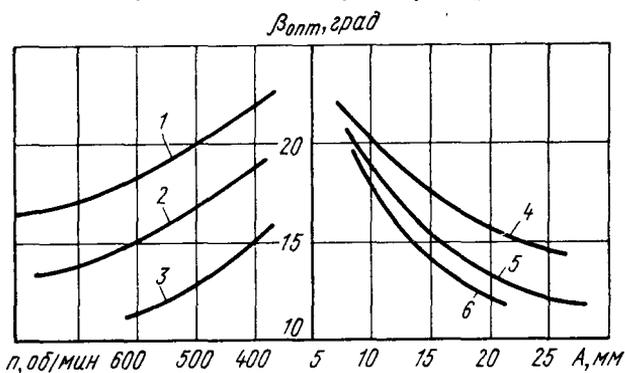


Рис. 102. Зависимость оптимального угла  $\beta_{\text{опт}}$  от амплитуды и частоты колебаний:

1 — при  $A = 10$  мм; 2 — при  $A = 15$  мм; 3 — при  $A = 25$  мм;  
4 — при  $n = 490$  об/мин; 5 — при  $n = 590$  об/мин; 6 — при  $n = 675$  об/мин

подкапывания  $h$ . Экспериментальными исследованиями установлено, что в начальный период поступления слоя почвы на лемех влияние глубины подкапывания практически не сказывается на скорости транспортирования. При дальнейшем перемещении почвы, когда монолитность (сплошность) пласта нарушена, наблюдается отставание скорости перемещения верхних слоев относительно нижних. Отставание происходит вследствие того, что силовой импульс, передаваемый лемехом нижним слоям

почвы, затухает в слое тем быстрее, чем дальше расположены частицы почвы от лемеха.

В режимах с непрерывным подбрасыванием (первый критический режим) происходит разрыхление транспортируемого пласта: верхние слои подброшены, а нижние, попав на поверхность лемеха, вновь получают силовой импульс вверх. Верхние и нижние слои соударяются, двигаясь навстречу друг другу, в результате чего при транспортировании почвы не только изменяются скорости слоев в вер-

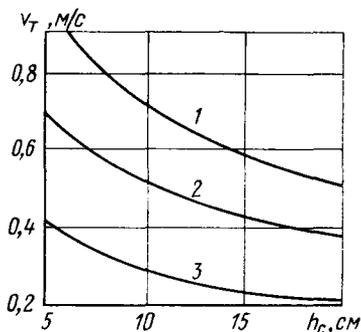


Рис. 103. Влияние толщины слоя почвы на скорость транспортирования:  
1 — при  $A = 25$  мм; 2 — при  $A = 15$  мм; 3 — при  $A = 10$  мм

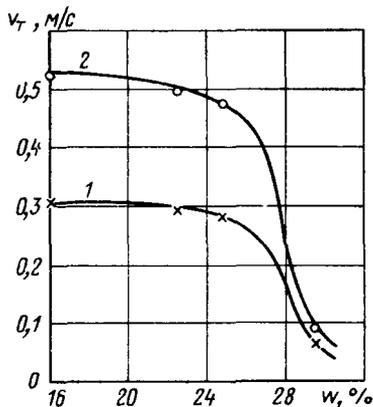


Рис. 104. Изменение скорости транспортирования в зависимости от влажности почвы:  
1 — при  $A = 10$  мм; 2 — при  $A = 15$  мм

тикальном сечении пласта, но и снижается средняя скорость перемещения всего пласта.

Снижение средней скорости тем больше, чем больше слой почвы и меньше амплитуда колебаний (рис. 103). Поэтому для овощеуборочных машин, процесс работы которых связан с подкапыванием тонкого слоя почвы 8—10 см, амплитуда колебаний может приниматься 15—20 мм, а для машин, подкапывающих почву на глубину 18—20 см, — 25—30 мм.

Свойства почвы и ее состояние оказывают решающее влияние на процесс транспортирования. Песчаные малосвязные почвы транспортируются хуже, чем глинистые и суглинистые. В то же время связные почвы хорошо перемещаются по лемеху при оптимальной и низкой влажности (рис. 104). Границей удовлетворительного транспортирования можно считать нижний предел пластичности почвы.

### Выжимные лемешковые и вилчатые копачи

Выкапывающие рабочие органы выполняют одну из первых операций технологического процесса уборки корнеплодов, поэтому степень их совершенства в значительной мере определяет

параметры и энергоемкость последующих рабочих органов и в конечном счете технологическую схему и качество работы машины. Чем меньше земли сходит с выкапывающих рабочих органов вместе с корнеплодами и чем интенсивнее разрушены связи между отдельными агрегатами почвенного пласта, тем легче очистить корнеплоды от почвы.

Требованиям ограничения количества почвы и интенсивной ее деформации наиболее полно отвечают выжимные копачи: лемешковые, вильчатые, а также дисковые.

Особенностью рабочих органов этого вида является наличие двух рабочих поверхностей, симметричных относительно вертикальной плоскости, проходящей вдоль убираемого ряда. Пласт почвы с корнеплодами при выкапывании проходит через постоянно сужающееся русло, образованное этими поверхностями, в результате чего подвергается сжатию и «выжиманию» вверх. Выжимные копачи работают на меньшей глубине, чем глубина залегания корнеплодов, и имеют ограниченную ширину захвата. Поэтому они забирают в несколько раз меньше почвы, чем лемеха картофелеуборочных машин.

Лемешковые и вильчатые выжимные копачи применялись еще в начале XX в. в свеклоподъемниках и свеклоуборочных комбайнах.

Различие между лемешковыми и вильчатыми копачами заключается в форме рабочей поверхности. Лемешковые копачи представляют собой два симметрично расположенных лемеха, поставленных под углом к направлению движения машины. Имея более или менее развитую, чаще всего плоскую рабочую поверхность, они воздействуют на корнеплод через деформируемую почву.

Вильчатые копачи, представляющие собой спаренные заостренные стержни, менее интенсивно сжимают пласт, поэтому имеют меньшее тяговое сопротивление, но недостаточная деформация вилокми почвенного пласта приводит к необходимости непосредственного воздействия на корнеплод, при котором неизбежны повреждения.

В конструктивном оформлении как лемешковые (рис. 105, а и б), так и вильчатые (рис. 106, а и б) копачи могут быть замкнутыми и разомкнутыми.

Замкнутые копачи интенсивнее крошат пласт и имеют большую прочность, но наносят больше повреждений корнеплодам и склонны к забиванию.

Выжимные рабочие органы представляют собой спаренные трехгранные клинья. Этим обуславливается характер воздействия их на почву. В отличие от пласта, подрезаемого лемехами почвообрабатывающих и картофелеуборочных машин, пласт, подрезаемый выжимными рабочими органами, не может свободно перемещаться в открытую борозду или на дневную поверхность почвы и движется в сужающемся русле.

Отнесем рабочую поверхность трехгранного клина к пространственным осям координат  $X, Y, Z$  так, чтобы ось  $X$  совпала с направлением перемещения клина, ось  $Z$  была направлена

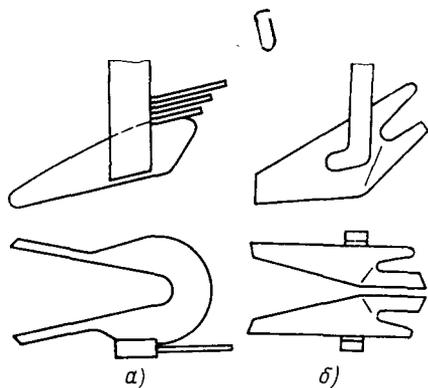


Рис. 105. Выжимные лемешковые ко-  
пачи:

$a$  — замкнутый;  $b$  — разомкнутый

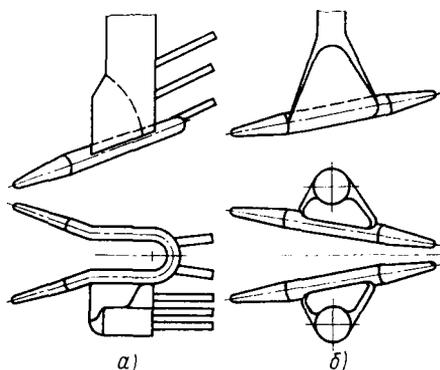


Рис. 106. Выжимные вильчатые ко-  
пачи:

$a$  — замкнутый;  $b$  — разомкнутый

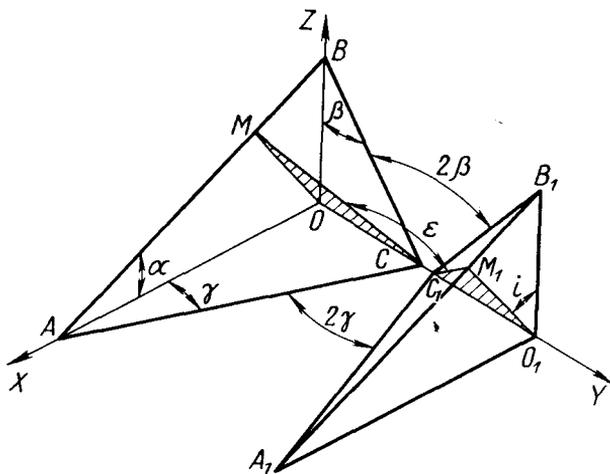


Рис. 107. Схема спаренных трехгранных клиньев

вертикально вверх, а ось  $Y$  — перпендикулярна им обеим. Линии пересечения плоскости клина с координатными плоскостями (следы)  $AB, BC$  и  $AC$  образуют соответственно углы  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$  (рис. 107).

Углы в сечении клиньев горизонтальной плоскостью (угол атаки  $2\gamma$ ) и поперечно-вертикальной (угол развала  $2\beta$ ) определяют качество выполнения технологического процесса и угол ре-

зания  $\alpha$ . Зависимость между ними выражается в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Углы атаки и развала чаще всего применяются для характеристики параметров выжимных копачей, но для разработки конструкции более удобны двугранный угол максимального раскрытия  $\epsilon$  между плоскостями, в которых расположены рабочие поверхности копачей, и угол  $i$  отклонения от вертикали плоскости максимального раскрытия.

Между характерными углами существуют соотношения:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2} \cos i; \quad (82)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2} \sin i; \quad (83)$$

$$\operatorname{tg} i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (84)$$

Эксперименты показывают, что при перемещении в сужающемся русле лемешковых копачей почва не уплотняется. Почвенные частицы продвигаются вдоль рабочего органа и вверх параллельно линиям  $AB$  и  $A_1B_1$  подобно тому, как это происходит при движении двугранного клина — плоского лемеха.

Следовательно, работа выжимных копачей может быть отождествлена с работой плоского лемеха, имеющего одинаковый с ними угол резания  $\alpha$ . Только для выжимных копачей вместо коэффициента трения почвы по их поверхности  $f$  следует пользоваться его приведенным значением

$$f' = \frac{f}{\sin \frac{\epsilon}{2}}.$$

Характер деформации почвы при работе спаренных трехгранных клиньев определяется различными факторами, в частности, углом резания  $\alpha$  и свойствами почвы. Чем выше значение угла резания  $\alpha$ , тем интенсивнее деформация почвенного пласта. Однако увеличение угла резания приводит к увеличению горизонтальных перемещений почвенных частиц, которые могут привести к излому корнеплодов в процессе выкапывания.

Для пассивных лемешковых копачей предельное значение угла резания определяется из уравнения

$$\alpha_{\max} = 45^\circ - \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{f'}{\sin \frac{\epsilon}{2}}. \quad (85)$$

При увеличении угла резания свыше этого значения уменьшаются вертикальные перемещения почвенных частиц и резко возрастают горизонтальные, что приводит к росту потерь и повреждений корнеплодов. Предельное значение угла резания из уравнения (85) ограничивает крошащую способность лемешковых копачей.

### Ротационные копачи

В последние годы в большинстве отечественных и зарубежных свеклоуборочных машин вместо лемешковых и вильчатых копачей начинают применять ротационные (дисковые), так как они забирают в 2—3 раза меньше почвы, чем лемешковые, и более интенсивно деформируют почвенный пласт. Дисковые копачи являются перспективными рабочими органами и для выкапывания столовых корнеплодов.

Дисковые копачи по типу привода разделяются на активные, т. е. имеющие принудительное вращение, и пассивные, вращающиеся за счет реактивных сил подпора почвенного пласта.

Диски могут выполняться сферическими (рис. 108, *а, б*) или плоскими (рис. 108, *в, г*) и иметь периферийное лезвие (гладкое

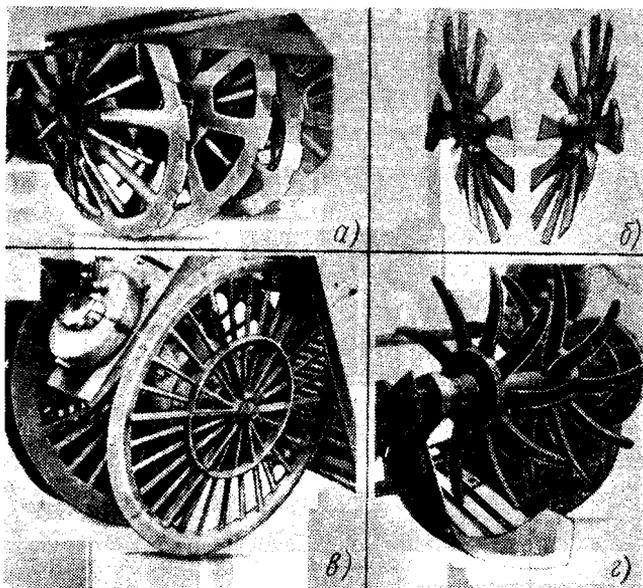


Рис. 108. Формы дисковых копачей корнеплодоуборочных машин:

*а* — сферические с вырезным лезвием (комбайн СКД-2); *б* — сферические долотообразные; *в* — плоские с гладким лезвием; *г* — плоские пальчатые (машина КБШ-1)

или с вырезами) или выполняться без сплошного лезвия (доло-тообразные и пальчатые).

Дисковые копачи также представляют собой спаренные трехгранные клинья. Параметры их характеризуются теми же углами, но в отличие от поступательного перемещения лемешковых копачей различные точки дисковых копачей перемещаются по сложным пространственным траекториям, которые можно записать в виде уравнений

$$x = \frac{r}{\cos \gamma} (\omega t - \lambda \sin \omega t); \quad (86)$$

$$y = \rho [1 - \cos(\omega t + i)] \sin \frac{\varepsilon}{2}; \quad (87)$$

$$z = r \cos \beta (1 - \lambda \cos \omega t), \quad (88)$$

где  $r$  — радиус подвижной полодии диска;

$$\lambda = \frac{\rho}{r};$$

$\rho$  — расстояние от произвольной точки диска до его центра.

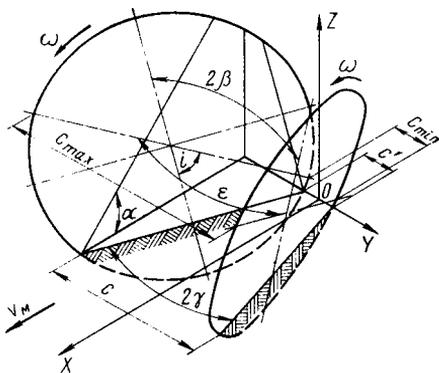


Рис. 109. Схема дисковых копачей

Благодаря вращению дисков в направлении, противоположном направлению перемещения машины, удастся значительно снизить горизонтальные перемещения почвенных частиц, что позволяет довести угол резания  $\alpha$  до  $50^\circ$ .

На качество работы дисковых копачей влияют конструктивные параметры (углы атаки и развала, диаметр диска и расстояние между дисками) и кинематические (частота вращения дисков).

Зависимость между основными конструктивными параметрами копачей (рис. 109), полученная В. В. Герасимчуком [6], следующая:

$$\frac{\left(\frac{c-c'}{2}\right)^2 \cos^2 \beta}{4 \sin^2 \gamma} = Dh \cos \beta - h^2, \quad (89)$$

где  $c$  и  $c'$  — соответственно максимальное и минимальное расстояние между кромками дисков на поверхности почвы в мм;

$D$  — диаметр диска в мм;

$h$  — заглупление дисковых копачей в мм.

Максимальное расстояние между кромками дисков на поверхности почвы должно обеспечивать выкапывание всех корней без повреждения их боковой поверхности, т. е.

$$c \geq B_k + 2m_b,$$

где  $B_k$  — среднемаксимальная ширина размещения корней в ряду;

$m_b$  — среднее отклонение копача от оси ряда во время работы, обуславливаемое точностью вождения копача по рядам.

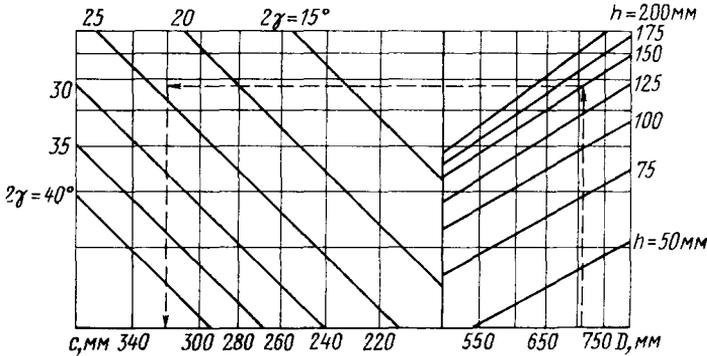


Рис. 110. Номограмма зависимостей между основными параметрами дисковых копачей

Минимальное расстояние между кромками дисков на поверхности почвы  $c'$  определяется размерами корней и густотой их насаждения.

Принимая  $a = \frac{2h}{D \cos \beta}$ , уравнение (89) можно записать в следующем виде:

$$\frac{\left(\frac{c-c'}{2}\right)^2}{\sin^2 \gamma} = D^2(2a-a^2). \quad (90)$$

Прологарифмировав выражение (90), получаем

$$2 \lg \left(\frac{c-c'}{2}\right) - 2 \lg \sin \gamma = 2 \lg D + \lg a + \lg(2-a). \quad (91)$$

Применив логарифмический масштаб для обеих осей координат и произведя необходимые вычисления, получаем номограмму (рис. 110), на которой правая и левая части уравнения представлены семействами прямых. По номограмме можно определить любой из неизвестных параметров при известных остальных. Например, при  $D = 710$  мм,  $h = 150$  мм и  $2\gamma = 24^\circ$  получаем  $c = 320$  мм.

Номограмма составлена при условии, что минимальное расстояние  $c' = 80$  мм, но она может использоваться и при других значениях  $c'$ .

В связи с тем, что в уравнение (91) входит разность величин  $c$  и  $c'$ , изменение значения  $c'$  по сравнению с принятым для номограммы на любую величину должно быть компенсировано соответствующим увеличением или уменьшением  $c$  на ту же величину, т. е. если, например, для  $c' = 80$  мм при прочих постоянных параметрах имеем  $c = 320$  мм, то для  $c' = 60$  мм при тех же значениях  $D$ ,  $h$  и  $2\gamma$   $c = 300$  мм.

Диаметр дисков следует принимать в пределах 700—750 мм. При меньшем диаметре снижается полнота извлечения корнеплодов и затрудняется конструктивное оформление привода дисков. Увеличение диаметра свыше 750 мм затрудняет компоновку многорядной машины и увеличивает металлоемкость копачей.

С увеличением угла атаки улучшается крошение почвенного пласта и увеличивается ширина зоны захвата (расстояние  $c$ ), что улучшает вождение машины по ряду, но возрастает количество почвы, поступающей в машину, и затрачиваемая мощность [32].

В многорядной машине предельное значение углов между дисками ограничивается шириной междурядья.

Угол максимального раскрытия  $\epsilon$  определяется из условия

$$\sin \frac{\epsilon}{2} = \frac{c_{\max} - c_{\min}}{2D}, \quad (92)$$

где  $c_{\max}$  — расстояние между кромками дисков в зоне максимального раскрытия в мм;

$c_{\min}$  — минимальное расстояние между дисками в мм.

В свою очередь,

$$c_{\max} \leq S - 2\Delta b - \Delta s,$$

где  $S$  — ширина междурядья в мм;

$\Delta b$  — толщина обода диска в мм;

$\Delta s$  — зазор между дисками соседних выкапывающих рабочих органов в мм.

Подставляя значение  $c_{\max}$  в выражение (92), получаем

$$\sin \frac{\epsilon}{2} \leq \frac{S - 2\Delta b - \Delta s - c_{\min}}{2D}.$$

Для  $S = 450$  мм;  $\Delta b = 5$  мм;  $\Delta s = 15$  мм;  $D = 750$  мм получаем  $\sin \frac{\epsilon}{2} \leq 0,243$ , чему соответствует  $\epsilon = 28^\circ$ .

Соотношение между углами  $2\gamma$  и  $2\beta$  при постоянном угле  $\epsilon$  определяется углом  $i$ , на который плоскость максимального раскрытия отклонена от вертикали. Чем больше угол  $i$ , тем больше  $2\gamma$  и лучше условия ведения машины по ряду, однако увеличение угла  $i$  (или, что то же самое, угла резания  $\alpha$ ) ухудшает

транспортирование почвенного пласта. Лабораторно-полевые исследования дисковых копачей показывают, что с увеличением углов  $i$  и  $\alpha$  свыше  $45\text{--}50^\circ$  наблюдается сгруживание почвенного пласта, что приводит к росту потери и повреждений корнеплодов.

В многорядных машинах (при ширине междурядий не более 45 см) для увеличения ширины зоны захвата копачей следует принимать угол  $i = 50^\circ$ . При  $i = 50^\circ$  и  $\varepsilon = 28^\circ$ , пользуясь формулами (82) и (83), получаем  $2\beta = 18^\circ 10'$  и  $2\gamma = 21^\circ 40'$ .

В одnorядных машинах допускается значение угла  $i \leq 45^\circ$ . При этом достаточная ширина зоны захвата должна обеспечиваться увеличением диаметра дисков до 800 мм и угла максимального раскрытия  $\varepsilon$  до  $38^\circ$ .

Как было указано раньше, по форме диски разделяются на сферические и плоские, последние, в свою очередь, могут быть с лезвием и пальчатые. Радиус сферы диска определяется особенностями выполняемого технологического процесса.

С уменьшением радиуса сферы дисков почвообрабатывающих орудий улучшается крошение и оборачивание пласта.

В корнеплодоуборочных машинах пласт почвы с корнеплодами защемляется в пространстве между дисками. Относительные перемещения почвенных частиц по поверхности диска незначительные, преобладающими являются переносные вместе с точками диска. Поэтому изменение радиуса сферы диска в этом случае практически не влияет на крошение почвенного пласта. Вместе с тем к расчету дисков применимы формулы, полученные Г. Н. Синеоковым для определения максимально допустимого радиуса сферы дисков почвообрабатывающих орудий [24].

Для нормальной работы диска необходимо обеспечить положительное (или в крайнем случае нулевое) значение заднего угла резания, т. е. исключить взаимодействие затылочной части лезвия со стенкой борозды. Несоблюдение этого условия, как указывает Г. Н. Синеоков, вызывает увеличение тягового сопротивления  $R_x$  и вертикальной реакции  $R_z$ , выталкивающей диск из почвы, а также разрушение структуры почвы (ее распыление), нарушение устойчивости хода орудия и перерасход горючего, т. е. является совершенно недопустимым.

Положительное (или нулевое) значение заднего угла резания для сечения диска (рис. 111, а) плоскостью, проведенной через ось его вращения, обеспечивается при условии

$$\gamma \geq \theta + \Delta,$$

где  $\theta = \arcsin \frac{D}{2R_c}$  — половина угла при вершине сектора в град;  
 $R_c$  — радиус сферы в мм;  
 $\Delta$  — угол заточки лезвия диска в град.

В связи с тем, что значение суммарного угла  $\theta + \Delta$  не остается постоянным в различных горизонтальных сечениях диска,

а уменьшается по мере удаления сечения от центра диска, представляет интерес зависимость минимально допустимого радиуса сферы диска от его параметров для сечения диска горизонтальной плоскостью, удаленной на расстояние  $h$  от дна борозды. Для этого сечения связь между углами  $\gamma$ ,  $\phi$  и  $\Delta$  запишем в следующем виде:

$$\phi + \Delta \leq \arctg \frac{1g \gamma}{\sqrt{2a - a^2}}. \quad (93)$$

Формула (93) показывает, что предельно допустимый угол при вершине сектора диска тем больше, чем больше угол установки диска в горизонтальной плоскости и чем меньше отноше-

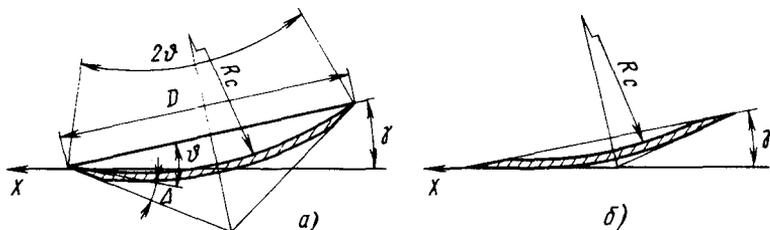


Рис. 111. Геометрические элементы в сечении диска плоскостью, проведенной через ось его вращения:

а — сферический диск; б — диск рекомендуемой формы

ние глубины хода диска к его диаметру. В почвообрабатывающих орудиях (дисковых плугах и лущильниках) угол  $\gamma$  находится в пределах  $30-45^\circ$ , что обеспечивает свободу выбора угла  $\phi$  в широких пределах. Лишь дисковые бороны имеют угол  $\gamma = 10 \div 25^\circ$ . Для них допускается отрицательное значение заднего угла резания, а заглупление дисков в почву осуществляется с помощью грузов. Но и в этом случае абсолютное значение заднего угла резания принимают таким, чтобы оно не превышало значения угла заточки лезвия  $\Delta$  во избежание взаимодействия со стенкой борозды выпуклой поверхности диска.

В корнеплододоборочных машинах угол  $\gamma$  составляет всего  $11-13^\circ$ . Коэффициент  $a$  у свеклоуборочных комбайнов находится в пределах  $0,2-0,3$ . Подставляя значения  $a$  и  $\gamma$  в выражение (93), получаем  $\phi + \Delta \leq 17 \div 20^\circ$ . Анализ конструкций дисковых копачей свеклоуборочных машин показывает, что во многих случаях данное условие не выполняется. Этим объясняется самовыглубление дисков на плотных почвах и повышенные затраты мощности машинами. По данным А. И. Портянко и В. И. Ужвюка, для заглупления сферических дисков в почву на  $9-10$  см следует каждый копач нагружать силой до  $1000$  кгс. На большую глубину сферические диски заглупить часто вообще не удается.

Достаточная полнота выкапывания корней моркови обеспечивается при глубине хода копачей 14—16 см. В этом случае  $a \geq 0,4$ , а  $\vartheta + \Delta \leq 15^\circ$ , т. е. устойчивая работа дисковых копачей на выкапывании моркови может быть получена только при  $\vartheta = 0$ . Следовательно, для уборки моркови могут быть рекомендованы плоские диски.

В многорядной машине, где предельное значение угла максимального раскрытия ограничивается шириной междурядья, для обеспечения свободного рассредоточения почвенного пласта в русле копачей могут применяться диски комбинированной формы — с плоским лезвием и вогнутой внутренней частью (сферической или конической) при условии, что вогнутая поверхность не выходит за пределы конуса, образуемого продолжением поверхности заточки лезвия (рис. 111, б).

Диски с плоским лезвием меньше повреждают корнеплоды, чем сферические. Лезвия последних в зоне максимального схождения образуют угол  $\varepsilon + 2\vartheta$ . Для снижения концентрации давления на нижнюю, наиболее хрупкую часть корнеплода и уменьшения его боковых порезов угол между лезвием диска и боковой поверхностью корнеплода должен быть минимальным. Это условие выдерживается только у плоских дисков.

На качество работы дисковых копачей оказывает влияние также форма лезвия. Диски с гладким лезвием наиболее полно извлекают и меньше повреждают корнеплоды, так как, воздействуя через слой почвы, они сдвигают к центру корнеплоды, смещенные в сторону относительно оси ряда. Кроме того, они не забиваются растительными остатками даже при работе на сильно засоренных участках.

Диски с вырезным лезвием и особенно долотообразные интенсивно деформируют почвенный пласт. Поэтому долотообразные диски применяются для выкапывания сахарной свеклы на сухих твердых почвах.

Пальчатые диски также интенсивно крошат почву. Другим преимуществом этих дисков является то, что из них легче освобождается выкопанный пласт почвы с корнеплодами. Это имеет немаловажное значение для выкапывания корней моркови, так как морковь часто убирают при неблагоприятных климатических условиях на переувлажненных почвах, а копачи заглубляют на большую величину, чем при уборке сахарной свеклы. Для снижения забиваемости растительными остатками спицы пальчатых дисков необходимо устанавливать не радиально, а с отклонением от радиуса в направлении, противоположном направлению вращения дисков, на угол

$$\eta \geq \arcsin \frac{1}{\lambda_1} - \varphi,$$

где  $\lambda_1 = \frac{R}{r}$  (здесь  $R$  — радиус диска);

$\varphi$  — угол трения ботвы и сорняков по поверхности диска.

Корнеплод в процессе выкапывания находится в сложном напряженном состоянии. Действующие на него силы можно разделить на три вида (рис. 112):

- 1) горизонтальные  $P_b$ , действующие в плоскости, перпендикулярной направлению движения машины, и определяемые боковым давлением;
- 2) выжимающая  $P_v$ , направленная вертикально вверх;
- 3) сдвигающая  $P_c$ , действующая в направлении движения машины.

Силы первого и второго вида выполняют полезную работу по разрушению почвенных комков и извлечению корнеплодов из почвы, сдвигающая же сила является одним из основных источников повреждений корнеплодов. Уменьшение этой силы имеет решающее значение для повышения качества работы выжимных копачей, особенно на выкапывании моркови, имеющей малую механическую прочность при изгибе.

Сдвигающая сила, действующая на пласт почвы с корнеплодами, складывается из проекций на направление движения элементарных сил нормального давления  $\Delta N_x$  и элементарных сил трения  $\Delta T_x$ , образующихся при перемещении копачей относительно почвы.

Проекция элементарных сил нормального давления при  $2\gamma > 0$  всегда направлены по ходу машины. Проекция элементарных сил трения могут быть направлены как по ходу машины (силы трения пассивных лемешковых и вильчатых копачей, а также площадок диска, лежащих выше мгновенного центра вращения), так и в противоположную сторону (силы трения площадок диска, лежащих ниже мгновенного центра вращения).

Изломы корнеплодов будут наименьшими, если сумма сдвигающих сил, действующих на пласт почвы с корнеплодами, будет равна нулю.

$$\Sigma \Delta N_x + \Sigma \Delta T_x = 0. \quad (94)$$

Составляющая сдвигающей силы от сил нормального давления равна проекции на ось  $X$  произведения давления на площадь поверхности погруженной в почву части диска.

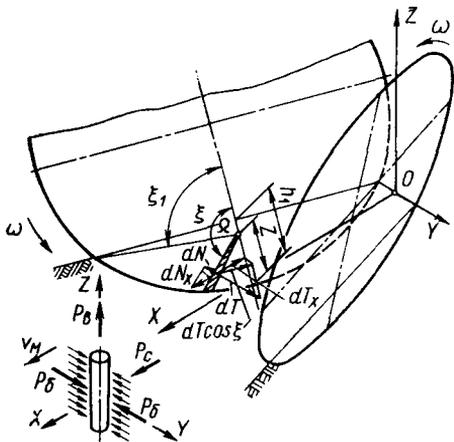


Рис. 112. Схема сил, действующих на почву и корнеплод при работе дисковых копачей

Принимая почву однородной, а давление поверхности диска  $p$  постоянным, для сплошного диска запишем

$$\Sigma \Delta N_x = p \sin \gamma \cos \beta \left[ \frac{4}{3} h_1 \sqrt{R^2 - (R - h_1)^2} + \frac{h_1^3}{4 \sqrt{R^2 - (R - h_1)^2}} \right],$$

где  $h_1 = \frac{h}{\cos \beta}$  — высота погруженной в почву части диска;  
 $R$  — радиус диска.

Элементарные силы трения площадок поверхности диска перпендикулярны к радиусу-вектору  $l$ , проведенному из мгновенного центра вращения  $\Omega$ .

Поместив начало координат в точку  $\Omega$ , определим проекцию на ось  $X$  силы трения для элементарного кругового сектора

$$dT_x = \frac{1}{2} f p l^2 \cos \gamma \cos \xi d\xi. \quad (95)$$

Изменение радиуса-вектора  $l$  в интервале угла  $\xi$  от 0 до  $\xi_1$  происходит по закону

$$l = \frac{h_1 - z}{\cos \xi}, \quad (96)$$

где  $z$  — расстояние от мгновенного центра вращения до окружности лезвия.

В интервале угла  $\xi$  от  $\xi_1$  до  $\pi$

$$l = (R - z) \cos \xi + \sqrt{(R - z)^2 \cos^2 \xi + R^2 - (R - z)^2}. \quad (97)$$

Подставляя значение  $l$  из выражений (96) и (97) в зависимость (95) и интегрируя ее по  $\xi$  в пределах от 0 до  $\pi$ , получаем составляющую сдвигающей силы от сил трения для одной щеки диска

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \Sigma \Delta T_x &= \int_0^{\xi_1} \frac{1}{2} f p (h_1 - z)^2 \cos \gamma \frac{d\xi}{\cos \xi} + \int_{\xi_1}^{\pi} \frac{1}{2} f p \cos \gamma \times \\ &\times [2(R - z)^2 \cos^2 \xi + R^2 - (R - z)^2 + 2(R - z) \cos \xi \times \\ &\times \sqrt{(R - z)^2 \cos^2 \xi + R^2 - (R - z)^2}] \cos \xi d\xi = \\ &= \frac{1}{2} f p (h_1 - z)^2 \cos \gamma \ln \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\xi_1}{2} \right) \right] - \frac{1}{2} f p \cos \gamma (R - z)^2 \times \\ &\times \left( \sin \xi_1 - \frac{\sin^3 \xi_1}{3} \right) - \frac{1}{2} f p \cos \gamma [R^2 - (R - z)^2] \sin \xi_1 + \\ &+ f(R - z) \int_{\xi_1}^{\pi} \cos^2 \xi \sqrt{(R - z)^2 \cos^2 \xi + R^2 - (R - z)^2} d\xi. \end{aligned}$$

Значение угла  $\xi_1$  определяется из геометрических построений

$$\xi_1 = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{R^2 - (R - h_1)^2}}{h_1 - z}. \quad (98)$$

Принимая  $R = 1$ ;  $\frac{h_1}{R} = a$  и  $\frac{z}{R} = b$ , после преобразований выражение (94) запишем так:

$$= \frac{\frac{\operatorname{tg} \gamma}{f} = 2(1-b)^2 \left( \sin \xi_1 - \frac{\sin^3 \xi_1}{3} \right) + (2b-b^2) \sin \xi_1 - (a-b)^2 \ln \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\xi_1}{2} \right) \right] - 2I}{\cos \beta \left( \frac{4}{3} a \sqrt{2a-a^2} + \frac{a^3}{4 \sqrt{2a-a^2}} \right)}, \quad (99)$$

где

$$I = (1-b) \int_{\xi_1}^{\pi} \cos^2 \xi \sqrt{(1-b)^2 \cos^2 \xi + 2b-b^2} d\xi.$$

Последний интеграл решается приближенно методом численного интегрирования.

Решая уравнение (99) относительно коэффициента  $b$  и пользуясь формулой

$$\frac{v_o}{v_m} = \frac{\cos \gamma}{1-b}, \quad (100)$$

где  $v_o$  — окружная скорость дисков;

$v_m$  — поступательная скорость машины,

определим для любых параметров дисковых копачей окружную скорость дисков, при которой суммарная сдвигающая сила на корнеплод равна нулю.

Уравнение (99) графически может быть представлено в виде номограммы (рис. 113).

В нижней части номограммы, представляющей правую часть уравнения (99), на оси ординат наряду с коэффициентом  $a$  отложим расчетные значения заглубления дисков  $h$ , получаемые из выражения

$$h = aR \cos \beta. \quad (101)$$

Шкалой заглубления  $h$  следует пользоваться при диаметре диска  $D = 710$  мм, наиболее распространенном в свеклоуборочных машинах, и угле развала  $2\beta = 25^\circ$ . При других значениях  $D$  и  $2\beta$  нужно пользоваться шкалой коэффициента  $a$  и формулой (101).

Например, для  $2\beta = 25^\circ$ ;  $2\gamma = 24^\circ$ ;  $f = 0,85$ ;  $h = 150$  мм и  $D = 710$  мм находим на номограмме  $b = 0,325$  и пользуясь формулой (100), определяем отношение окружной скорости диска к поступательной скорости машины  $v_o/v_m = 1,450$ .

При  $D = 600$  мм,  $2\beta = 30^\circ$ ;  $2\gamma = 30^\circ$  и  $h = 90$  мм получаем  $a = \frac{h}{R \cos \beta} = 0,3106$ . Такому значению коэффициента  $a$  при коэффициенте трения  $f = 0,9$  на номограмме соответствует  $b = 0,25$  и по формуле (100)  $v_o/v_m = 1,288$ .

Отсутствие на номограмме области отрицательных значений коэффициента  $b$  означает, что при любых параметрах дисков условие равновесия сил, действующих на корнеплод, выполняется только при  $\lambda_1 > 1$ , т. е. при работе дисков с принудительным вращением. У пассивных дисков  $\lambda_1 \approx 1,0$ . Более того, как показывают эксперименты, по характеру силового воздействия на корнеплод пассивные диски аналогичны активным, имеющим  $\lambda_1 = 0,80 \div 0,85$ .

Рассмотренные теоретические зависимости относятся к сплошным дискам, а в корнеплодоуборочных машинах применяются диски решетчатые. Продавливание почвы через просветы (окна) в дисках приводит к снижению составляющей сдвигающей силы от сил нормального давления и к уменьшению левой части уравнения (99).

Чтобы компенсировать искажение, связанное с продавливанием почвы через окна решетчатых дисков, в уравнение (99) следует подставлять более высокое значение коэффициента трения, который для решетчатого диска прямым измерением найти нельзя, так как он зависит не только от свойств почвы и состояния поверхности диска, но и от положения мгновенного центра вращения.

Измерения сил, действующих на корнеплод в процессе выкапывания, проведенные с помощью тензометрирования на макетах корнеплодов, показали, однако, что номограммой можно пользоваться и для определения окружной скорости решетчатых дисков [32]. Последние при работе на тяжелых суглинках влажностью 14—22% идентичны сплошным, имеющим коэффициент трения почвы 0,85—0,90.

Результаты экспериментов подтверждают теоретические зависимости влияния параметров дисковых копачей на сдвигающую силу и показывают, что эта сила зависит главным образом от трех параметров: угла атаки, глубины подкапывания и коэффициента трения почвы о поверхность диска. Зависимости, полученные при экспериментальных исследованиях, с достаточной

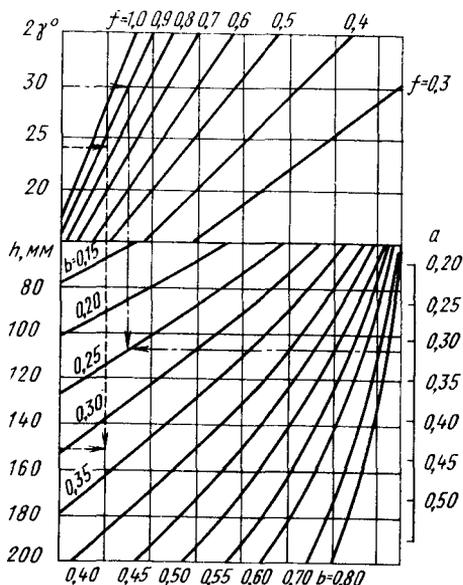


Рис. 113. Номограмма зависимости отношения окружной скорости дисков к поступательной скорости машины, при котором сдвигающая сила равна нулю, от параметров дисковых копачей

степенью точности совпадают с теоретическими (рис. 114).

Например, при глубине хода дисков 150 мм и угле атаки  $24^\circ$  условие равновесия сил, действующих на корнеплод в горизонтальной плоскости, выполняется при  $v_o/v_M = 1,45$  (см. рис. 113 и 114).

Поскольку в полевых условиях оптимальное отношение  $v_o/v_M$  поддерживать трудно, то представляет интерес характер изменения сдвигающей силы при отступлении от оптимального значения в меньшую или большую сторону.

Как видно из рис. 115, даже небольшое уменьшение окружной скорости дисков по сравнению с оптимальной приводит к резкому увеличению сдвигающей силы. При увеличении окружной скорости сдвигающая сила изменяет знак. Абсолютное ее значение вначале возрастает до некоторого предела, а затем начинает уменьшаться, так как из-за фрезерного воздействия дисков на

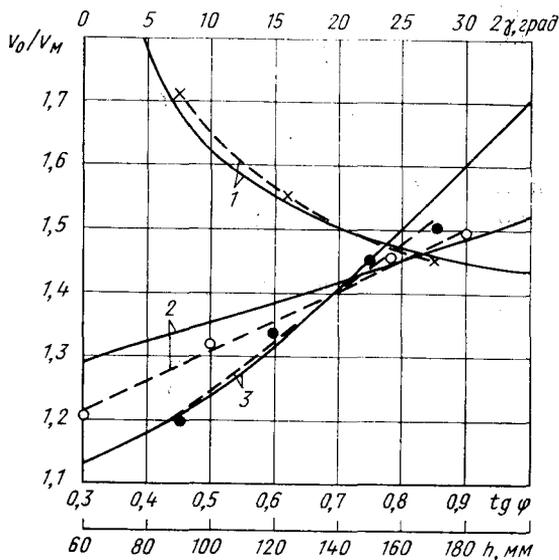


Рис. 114. Зависимости оптимальной окружной скорости от параметров дисковых копачей:

1 —  $v_o/v_M = f(\text{tg } \varphi)$ ;  $2\gamma = 24^\circ$ ;  
 $h = 150$  мм; 2 —  $v_o/v_M =$   
 $= f(2\gamma)$ ;  $\text{tg } \varphi = 0,85$ ;  $h =$   
 $= 150$  мм; 3 —  $v_o/v_M = f(h)$ ;  
 $2\gamma = 24^\circ$ ;  $\text{tg } \varphi = 0,85$ ; сплош-  
 ные линии — теоретиче-  
 ские зависимости; штрихо-  
 вые — экспериментальные

почву вынос ее из сужающего русла опережает сжатие, что приводит к ослаблению захватывающей способности дисков.

При увеличении влажности почвы с 14 до 22% оптимальная окружная скорость изменяется незначительно, но интенсивность изменения сдвигающей силы возрастает. Следовательно, при повышенной влажности почвы отклонение окружной скорости от оптимальной может привести к более заметному повышению повреждений корнеплодов. Аналогичным образом на интенсивность изменения сдвигающей силы влияет повышение твердости почвы.

Сравнивая зависимости изменения сдвигающей силы от окружной скорости (рис. 115) с прочностными характеристиками моркови (см. рис. 3), можем убедиться, что абсолютное значение сдвигающей силы при  $v_0/v_M > 1,45$  не превышает прочность корней. Как показывает график (см. рис. 3), усилие излома корня моркови диаметром  $d \geq 36$  мм превышает 20 кгс, в то время как максимальная сдвигающая сила при  $v_0/v_M > 1,45$  по абсолютному значению не достигает 20 кгс при диаметре макета корнеплода 50 мм.

Резкое возрастание сдвигающей силы при уменьшении окружной скорости по сравнению с оптимальной позволяет сделать вывод о нецелесообразности выкапывания корней моркови пассивными дисками и активными с отношением скоростей  $v_0/v_M < 1,45$ , а полученное в результате теоретических исследований значение отношения окружной скорости дисков к поступательной скорости машины следует считать нижним (критическим) пределом рабочего режима дисковых копачей.

Боковые давления и выжимающая сила также зависят от конструктивных и кинематических параметров дисковых копачей. Эксперименты показывают, что выжимающая сила зависит от боковых давлений. Уменьшение или увеличение боковых давлений сопровождается аналогичным изменением выжимающей силы.

С увеличением угла атаки  $2\gamma$  в пределах  $0-25^\circ$  при  $2\beta = 18^\circ = \text{const}$  среднее значение боковых давлений  $p_{\text{ср}}$  возрастает в пределах  $0,18-5,89$  кгс/см<sup>2</sup>, а выжимающая сила —  $2,6-49,7$  кгс.

Изменение угла развала  $2\beta$  в интервале  $6-18^\circ$  при  $2\gamma = 20^\circ = \text{const}$  влияет главным образом на равномерность распределения давлений — среднее значение боковых давлений колеблется в пределах  $4,31-5,95$  кгс/см<sup>2</sup>, а выжимающая сила —  $47,1-51,8$  кгс.

При увеличении угла развала до  $24^\circ$  боковое давление снижается до  $0,97$  кгс/см<sup>2</sup> и выжимающая сила до  $19,8$  кгс.

Зависимости боковых давлений и выжимающей силы от окружной скорости дисков представлены на рис. 116. При отношении окружной скорости дисков к поступательной скорости машины  $v_0/v_M \leq 1,7$  выжимающая сила превышает 40 кгс. Повы-

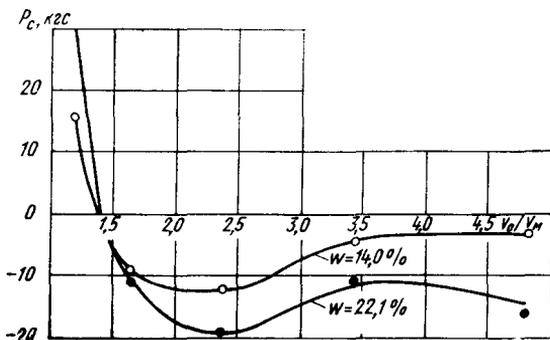
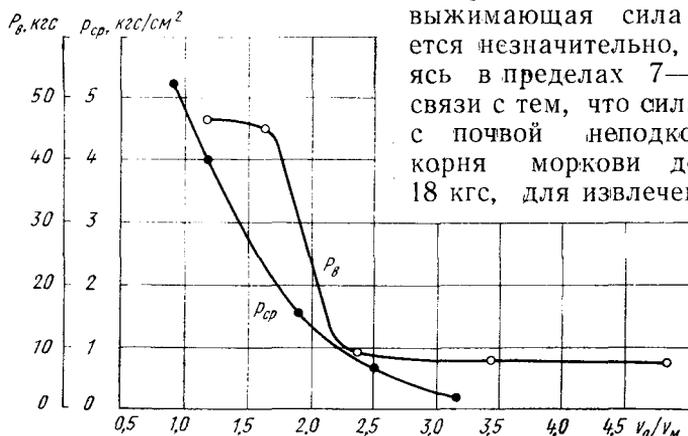


Рис. 115. Влияние окружной скорости дисков на сдвигающую силу

шение окружной скорости до  $v_o/v_M = 2,4$  приводит к резкому уменьшению выжимающей силы. В интервале  $2,4 \leq v_o/v_M \leq 4,8$



выжимающая сила изменяется незначительно, оставаясь в пределах 7—9 кгс. В связи с тем, что сила связи с почвой неподкопанного корня моркови достигает 18 кгс, для извлечения его

Рис. 116. Влияние окружной скорости дисков на боковые давления и выжимающую силу

под действием силы 7—9 кгс необходимо нарушить около 60% связей корня с почвой. При максимальной глубине залегания

корней моркови в почве 25 см этого можно достичь заглублением дисков на 15 см. Работа дисковых копачей с кинематическим режимом  $v_o/v_M > 2,4$  при глубине подкапывания менее 15 см не может гарантировать достаточной полноты извлечения корней моркови.

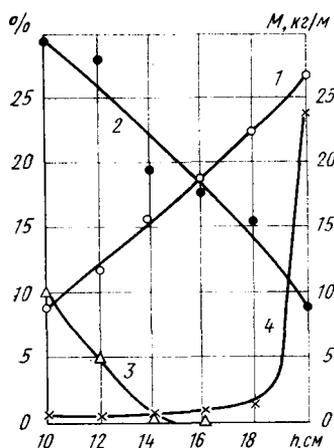


Рис. 117. Зависимость качества выкапывания корнеплодов от глубины хода дисковых копачей:

1 — количество земли  $M$  в кг с 1 м длины ряда; 2 — содержание корнеплодов в ворохе в %; 3 — потери корнеплодов в %; 4 — повреждения корнеплодов в %

Зависимость качественных показателей работы дисковых копачей от глубины их хода на средних суглинках влажностью 15,1—16,2% представлена на рис. 117. Опыты проводились при поступательной скорости машины 1 м/с, окружной скорости копачей 1,85 м/с, угле атаки дисков  $21^\circ 30'$  и угле развала  $20^\circ$ .

С увеличением глубины хода дисков от 10 до 16 см потери корней моркови снижаются с 10% до 0, но при этом возрастает вдвое количество забираемой почвы и соответственно снижается процентное содержание корней моркови в ворохе. Ко-

личество поврежденных корнеплодов при увеличении глубины хода от 10 до 18 см изменяется незначительно. Дальнейшее за-

глубине дисков приводит к резкому увеличению количества повреждений, так как при глубине, большей 18 см, наступает сгуживание почвы, являющееся следствием того, что для этой глубины окружная скорость дисков оказалась недостаточной.

Оптимальной глубиной хода дисков следует считать 14—16 \* см. При такой глубине хода количество повреждений корнеплодов не превышало 1,15%, потери отсутствовали, количество почвы, подаваемой с 1 м длины ряда, составило 15,37—18,5 кг

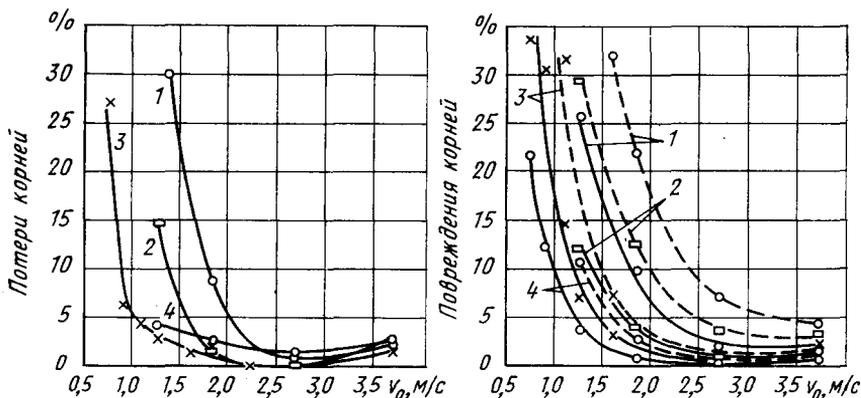


Рис. 118. Зависимость качества выкапывания корней моркови от параметров копачей ( $v_m = 1,0$  м/с;  $h = 150$  мм):

1 —  $\alpha = 75^\circ$ ;  $2\gamma = 43^\circ$ ;  $2\beta = 12^\circ$ ; 2 —  $\alpha = 68^\circ$ ;  $2\gamma = 29^\circ$ ;  $2\beta = 12^\circ$ ; 3 —  $\alpha = 60^\circ$ ;  $2\gamma = 21^\circ$ ;  $2\beta = 12^\circ$ ; 4 —  $\alpha = 47^\circ$ ;  $2\gamma = 21^\circ 30'$ ;  $2\beta = 20^\circ$ ; сплошные линии — при  $\omega = 14,3\%$ ;  $H = 8,39$  кгс/см<sup>2</sup>; штриховые — при  $\omega = 19,6\%$ ;  $H = 6,35$  кгс/см<sup>2</sup>

а содержание моркови в ворохе, сходящем с выкапывающего рабочего органа, 19,4—17,6%.

На рис. 118 показана зависимость качества выкапывания корней моркови от конструктивных и кинематических параметров дисковых копачей. Графики показывают, что кроме угла атаки на оптимальную окружную скорость решающее влияние оказывает угол резания  $\alpha$ . С возрастанием угла резания при прочих равных условиях вследствие ухудшения транспортирующей способности копачей увеличивается сгуживание массы, особенно при работе на влажных почвах, что приводит к росту количества поврежденных корнеплодов.

Чем выше значение угла резания, тем большую окружную скорость должны иметь диски для устранения сгуживания почвы. При этом общее количество поврежденных корнеплодов при

\* Глубину хода дисковых копачей и соответственно количество забираемой ими почвы можно уменьшить, если перед их работой нарушить связь корнеплодов с почвой, например, предварительным подкапыванием ряда моркови. По такой технологической схеме работает машина КУД-1 для уборки моркови.

оптимальной для каждого значения угла  $\alpha$  окружной скорости возрастает с увеличением угла резания. Поскольку повышение окружной скорости невыгодно также с энергетической и эксплуатационной точек зрения (увеличиваются затраты мощности и износ дисков), представленные графики показывают, что для дисковых копачей значения угла резания  $\alpha > 45 \div 50^\circ$  нецелесообразны. Для  $\alpha = 45 \div 50^\circ$  оптимальным отношением окружной

скорости диска к поступательной скорости машины является  $v_0/v_m = 2,2 \div 2,8$ .

Графики, выражающие зависимость потерь корнеплодов от углов и окружной скорости, аналогичны графикам повреждений корнеплодов. Исключение составляет несколько более высокий процент потерь при угле резания  $\alpha = 47^\circ$ ;  $2\gamma = 21^\circ 30'$ ;  $2\beta = 20^\circ$ , полученный вследствие уменьшения значения и равномерности распределения давлений на корнеплод при более высоком, чем в других опытах, значении угла развала. Следовательно, значения угла  $\alpha < 45^\circ$  также нецелесообразны.

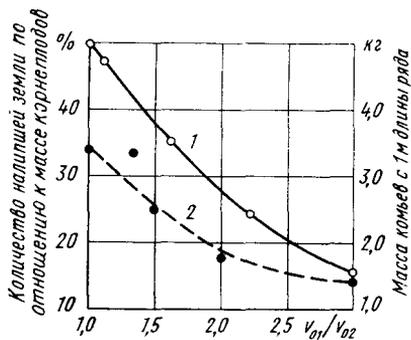


Рис. 119. Зависимость интенсивности деформации почвенного пласта от отношения окружных скоростей спаренных дисков:

- 1 — налипшая земля,  $\omega = 21,6 \div 22\%$ ;  
2 — почвенные комки диаметром 25 мм и более,  $\omega = 15,4 \div 16,2\%$

В полевых условиях были проведены также опыты по определению деформации почвы при работе копачей, спаренные диски которых (левый и правый) имели различные окружные скорости.

На рис. 119 показан характер изменения количества почвенных комков размером более 25 мм с 1 м длины ряда и налипшей на корнеплоды земли в зависимости от отношения окружных скоростей спаренных дисков.

Результаты исследований показывают, что с увеличением отношения окружных скоростей дисков качество очистки корней моркови от налипшей земли повышается. При этом повышается также интенсивность крошения почвенных комков, но в меньшей степени, чем качество очистки от налипшей земли. Количество потерь и повреждений корнеплодов в интервале изменения отношений окружных скоростей дисков  $1,0 \leq v_{01}/v_{02} \leq 3,0$  практически не изменяется.

Кинематическими параметрами определяется потребляемая копачами мощность, как суммарная, так и в еще большей степени ее составляющие: тяговая и затрачиваемая на привод дисков во вращение (табл. 18).

Исследования проводились на среднем суглинке влажностью  $\omega = 15,8\%$ , твердостью  $H = 6,35$  кгс/см<sup>2</sup> при глубине хода дис-

## Энергетические показатели дисковых копачей

Показатель	Отношение скоростей $v_0/v_M$					Диски с различными скоростями
	0,925	1,27	1,85	2,69	3,70	
Тяговое сопротивление $R_x$ в кгс . . . . .	360,0	21,7	-65,2	-132,0	-161,0	-5,25
Тяговая мощность $N_T$ в л. с. . . . .	4,80	0,29	-0,87	-1,76	-2,10	-0,07
Мощность, затрачиваемая на привод дисков, $N_{пр}$ в л. с. . . . .	-0,10	3,27	4,28	6,00	8,05	6,52
Суммарная мощность $N_c$ в л. с. . . . .	4,70	3,56	3,41	4,24	5,95	6,45

ков 15 см, угле атаки  $2\gamma = 21^\circ 30'$ , угле развала  $2\beta = 20^\circ$ , поступательной скорости установки 1,0 м/с. Копачи работали на пяти скоростных режимах в интервале изменения окружной скорости дисков 0,925—3,70 м/с. Для сравнения была определена также мощность копача, левый и правый диски которого имели различные окружные скорости:  $v_{01}/v_{02} = 3,0$  ( $v_{01} = 3,70$  м/с и  $v_{02} = 1,23$  м/с).

Изменение затрат мощности в зависимости от окружной скорости дисков представлено на рис. 120. При увеличении окружной скорости дисков тяговая мощность уменьшается (при  $v_0/v_M > 1,4$  тяговая мощность становится отрицательной, т. е. диски при вращении создают «толкающую» силу) и увеличивается мощность, затрачиваемая на привод дисков во вращение. Наиболее интенсивно тяговая и приводная мощность изменяется при отношениях скоростей  $v_0/v_M < 1,4 \div 1,5$ .

Суммарная мощность имеет минимальное значение при  $v_0/v_M = 1,5 \div 2,2$ . Диски с различными скоростями потребляют максимальную мощность. Для привода их во вращение затрачивается 6,52 л. с., при этом только небольшая часть этой мощности (0,07 л. с.) потребляется на создание толкающей силы, равной 5,25 кгс. Суммарная мощность равна 6,45 л. с.

Следовательно, с энергетической точки зрения применение дисковых копачей с различными скоростями нецелесообразно. Оно может быть оправдано лишь при уборке моркови на тяже-

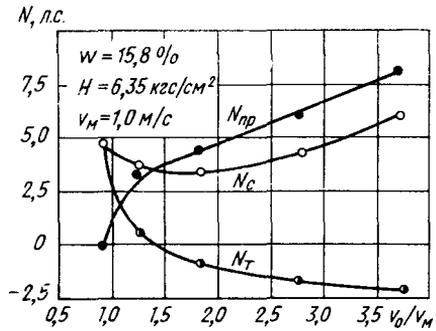


Рис. 120. Зависимость энергетических показателей дисковых копачей от кинематического режима

лых (глинистых) почвах повышенной влажности, где повышенные затраты мощности компенсируются более высоким качеством очистки корнеплодов от налипшей земли.

Сравнительная оценка дисковых копачей с другими выкапывающими рабочими органами показывает, что они забирают наименьшее количество почвы. Испытания проводились на глинистой почве влажностью 18,6—20,1%. В одинаковых условиях определяли качественные показатели различных выкапывающих рабочих органов (табл. 19):

1) рабочий орган машины КБШ-1 для уборки моркови (см. рис. 108, з);

2) комбинированный рабочий орган, состоящий из узкого лемеха и пальчатых дисков с углами атаки и развала соответственно  $2\gamma = 21^\circ$ ,  $2\beta = 12^\circ$  и расстоянием между дисками в зоне максимального схождения  $c_{\min} = 70$  мм;

Таблица 19

Показатели работы копачей

Вид выкапывающего рабочего органа	Количество земли с 1 м длины ряда	Повреждения корней в %	Потери корней в %
Копач машины КБШ-1 . . . . .	49,40	0,37	0
Комбинированный . . . . .	30,03	8,23	0
Копачи комбайна СКН-2А . . . . .	45,2	17,9—37,7	0—4,5
Дисковые копачи:			
пальчатые . . . . .	19,81	7,46	3,89
с гладким лезвием . . . . .	19,08	2,06	0,35

3) лемешковые копачи свеклоуборочного комбайна СКН-2А;

4) дисковые копачи пальчатые и с гладким лезвием.

Наименьшие повреждения и потери корнеплодов получены при работе копачей машины КБШ-1 (потерь нет, повреждения 0,37%), но этот рабочий орган забирает максимальное количество почвы 49,4 кг с 1 м длины ряда.

Отсутствовали потери и при работе комбинированного рабочего органа, но другие показатели у него неудовлетворительные.

Пальчатые диски и диски с лезвием забирают примерно одинаковое количество почвы, но повреждения и потери корнеплодов при работе дисков с лезвием значительно меньше. Объясняется это тем, что диски с лезвием обеспечивают более равномерное распределение давлений на корнеплод и захватывают без повреждений даже корнеплоды, несколько смещенные от оси ряда.

Копачи комбайна СКН-2А не обеспечивают удовлетворительного выкапывания корней моркови. Особенно высок у них процент поврежденных корнеплодов из-за значительной сдвигающей силы.

Сдвигающая сила, действующая на корнеплоды при работе колеблющихся лемешковых копачей, невелика, поэтому невелики у них и повреждения корней моркови, но почву они забирают в значительно большем количестве, чем дисковые. Сравнительные испытания дисковых и колеблющихся лемешковых копачей показали, что при работе на почвах с оптимальной и повышенной влажностью дисковые копачи забирают примерно в 3 раза меньше почвы, чем колеблющиеся лемешковые, а на сухих твердых почвах даже в 6 раз. Объясняется это тем, что при работе на сухих твердых почвах лемешковые копачи выворачивают почвенные глыбы не только из рядов, но и из междурядий. Диски же вырезают узкую ленту ряда, и количества забираемой ими почвы с уменьшением ее влажности не увеличивается. Данное преимущество делает дисковые копачи особенно перспективным рабочим органом для выкапывания корней моркови в зоне недостаточного увлажнения.

### **СЕПАРИРУЮЩИЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ**

В машинах для уборки картофеля, корнеплодов и лука сепарация материала осуществляется на рабочих органах, разделяющих компоненты по геометрическим размерам или по физическим свойствам. Наибольшее распространение получили рабочие органы первой группы: прутковые транспортеры, качающиеся и гирационные грохоты с плоскими решетками, пайлеры, барабанные грохоты. Эти рабочие органы (кроме пайлеров и барабанных грохотов, которые практически не применяются в овощеуборочных машинах) обеспечивают обработку материала при подаче 80—150 кг/с, имеют высокую эффективность сепарации (50—90%) и мало повреждают корнеплоды, не более 3%.

#### **Прутковые транспортеры**

Прутковый транспортер представляет собой сепаратор, в котором с постоянным шагом параллельно друг другу располагаются прутки, соединенные гибкими элементами. Простота конструкции и возможность работы при наклоне полотна до 30° выдвинули его в число наиболее распространенных сепарирующих рабочих органов. Существенным недостатком прутковых транспортеров является их низкая надежность, обусловленная быстрым износом трущихся деталей соединительных элементов.

По конструкции элементов соединения полотна транспортеров делят на четыре типа: крючковые, втулочно-роликовые, втулочные и ременные.

Крючковые полотна образуются путем соединения прутков друг с другом при помощи концевых крючков. Эти полотна при изнашивании крючков полностью выходят из строя и подлежат замене. В зависимости от обрабатываемой почвы они изнаши-

ваются при наработке 20—40 га. В последнее время крючковые полотна практически не применяются.

Втулочно-роликовые полотна изготавливаются на базе стандартных цепей с шагом 38 мм (например, в копателе ЛКГ-1,4). Долговечность их также довольно низкая. Однако при установке в середине или конце схемы технологического процесса машины они изнашиваются после наработки 30—60 га. Эти полотна сравнительно легкие и позволяют использовать в транспортере нормализованные звездочки различного назначения и другие нормализованные детали. Втулочно-роликовые полотна могут изготавливаться из нестандартных литых и штампованных деталей. Такие полотна, как правило, применяются в картофелеуборочных машинах, металлоемкость их высока и располагаются они в начале схемы технологического процесса машины.

Втулочные полотна (например, в лукоуборочной машине УЛШ-2М и копателе КТН-2М) состоят из литых звеньев, прутковых секций и замков скобообразной формы. Преимущество этих полотен заключается в том, что в процессе работы изнашиваются лишь звенья и замки, а прутковые секции практически не изнашиваются.

Ременные полотна в качестве гибкого элемента имеют зубчатые или гладкие прорезиненные ремни, на которых монтируют прутки. В этих полотнах отсутствуют трущиеся детали, поэтому долговечность их более высокая по сравнению с полотнами других типов.

Разработка элементов теории и экспериментальные исследования процесса работы прутковых транспортеров проводились рядом ученых: Н. В. Фирсовым, Н. М. Летошным, Г. Д. Петровым, А. А. Сорокиным, С. А. Герасимовым и Н. И. Кривоноговым, В. Баадером и др. [5, 20, 25, 26, 35].

В выполненных работах анализ кинематики встряхиваний проводился с целью определения оптимальной скорости полотна транспортера. При теоретическом анализе авторами принимались допущения, упрощающие рабочий процесс и облегчающие получение аналитических зависимостей. В связи с этим полученные в этих работах формулы справедливы лишь для участка полотна, расположенного в непосредственной близости от встряхивателя, и дают заниженные значения скорости полотна транспортера.

Одними из наиболее полных исследований, посвященных рассматриваемому вопросу, являются работы Г. Д. Петрова. В них рассматривается влияние кинематических и конструктивных параметров пруткового полотна, находящегося в зацеплении с эллиптической звездочкой, и полотна, находящегося под действием колеблющегося ударного встряхивателя, на характер движения частиц почвы и клубней картофеля. Ценность полученных автором выводов состоит в том, что экспериментальное изучение процесса проводилось в тесной связи с теоретическим анализом.

Основные результаты выполненных Г. Д. Петровым работ использованы при анализе работы прутковых транспортеров овощеуборочных машин.

Процесс работы пруткового транспортера заключается в том, что при транспортировании срезанного лемехом пласта вверх мелкие частицы почвы просеиваются через зазоры между прутками полотна. Для более эффективного выделения таких частиц из слоя транспортируемой почвы рабочая ветвь полотна колеблется под действием специальных ударных звездочек или встряхивателей с приводом, не зависящим от привода полотна транспортера.

Встряхивающие звездочки могут быть двухрожковыми, трехрожковыми и эллиптическими. Встряхиватели рожкового типа вызывают резкое возрастание нормальной составляющей скорости и ускорения полотна, а эллиптические звездочки — более плавное. Благодаря этому эллиптические встряхиватели находят наиболее широкое распространение. Характер встряхиваний полотна транспортера зависит от размеров звездочек.

Эллиптический встряхиватель, находясь в постоянном зацеплении с полотном,двигающимся с линейной скоростью  $v_T$ , имеет переменный радиус и вращается поэтому с переменной угловой скоростью. Пользуясь рис. 121, запишем

$$v_T = v \cos \psi,$$

но в то же время  $v_T = \rho \frac{d\varphi}{dt}$ , а  $h = \rho \cos \psi$ , тогда

$$v_T = h \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{или} \quad \frac{v_T}{h} = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Вертикальная составляющая скорости полотна в точке  $B$  является функцией пути по времени, т. е.  $\frac{dh}{dt}$  или  $\frac{dh}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt}$ , поэтому

$$\frac{dh}{dt} = \frac{dh}{d\varphi} \cdot \frac{v_T}{h}. \quad (102)$$

Полотно транспортера представляет собой линию, касательную к эллипсу в точке  $A$ . Уравнение этой линии имеет вид

$$\frac{xx_A}{a^2} + \frac{yy_A}{b^2} = 1.$$

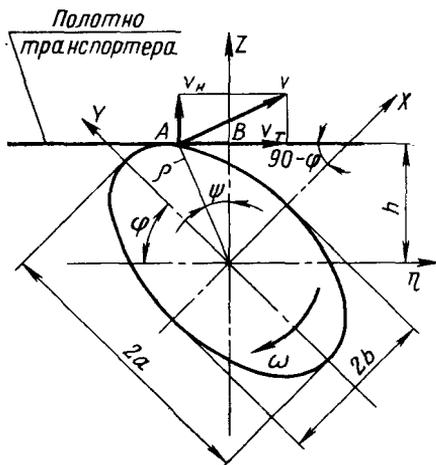


Рис. 121. Схема эллиптического встряхивателя пруткового транспортера

Уравнение любой прямой, проходящей через точку  $A$ , в данном случае и полотна транспортера, будет

$$y - y_A + \operatorname{ctg} \varphi (x - x_A) = 0.$$

Решив совместно эти уравнения, после преобразований получаем

$$h = a \sqrt{k^2 + (1 - k^2) \sin^2 \varphi}, \quad (103)$$

где  $k = \frac{b}{a}$  — параметр, характеризующий форму эллиптического встряхивателя.

Для определения нормальной составляющей скорости и ускорения полотна транспортера найдем производные  $dh$  по времени, используя уравнения (102) и (103).

$$\frac{dh}{dt} = \frac{dh}{d\varphi} \cdot \frac{v_T}{h} = v_T \frac{(1 - k^2) \sin \varphi \cos \varphi}{k^2 + (1 - k^2) \sin^2 \varphi}; \quad (104)$$

$$\frac{d^2h}{dt^2} = v_T^2 \frac{1 - k^2}{a} \frac{k^2 - (1 + k^2) \sin^2 \varphi}{[k^2 + (1 - k^2) \sin^2 \varphi]^{3/2}}. \quad (105)$$

Подбрасывание частиц почвы, находящихся на полотне транспортера и имеющих скорость  $v_T$ , возможно при условии, если их ускорение будет больше ускорения свободного падения  $g$ . Максимальное ускорение частица будет иметь при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , при этом его абсолютная величина согласно уравнению (105) будет

$$\left( \frac{d^2h}{dt^2} \right)_{\max} = -v_T^2 \frac{1 - k^2}{a}.$$

Условие динамического равновесия в момент отрыва частицы от поверхности полотна запишем в виде

$$v_T^2 \frac{1 - k^2}{a} = g,$$

отсюда минимальная скорость полотна транспортера, при которой обеспечивается подбрасывание частиц,

$$v_T = \sqrt{\frac{ag}{1 - k^2}}. \quad (106)$$

Максимальное значение вертикальной составляющей скорости полотна определим из уравнения (105), приравняв вторую производную пути по времени нулю. Этой скорости соответствует угол поворота эллиптического встряхивателя  $\varphi_{\max}$ .

$$\sin \varphi_{\max} = k \sqrt{\frac{1}{1 + k^2}}. \quad (107)$$

Подставив значение угла  $\varphi_{\max}$  в уравнение (104), получим максимальное значение вертикальной составляющей скорости частицы почвы:

$$\left(\frac{dh}{dt}\right)_{\max} = v_T(1 - k^2). \quad (108)$$

Анализ последней формулы показывает, что максимальное значение нормальной составляющей скорости находится в прямой зависимости от скорости полотна и является функцией параметра  $k$ . Таким образом, экстремальные значения скорости подбрасывания не зависят от абсолютных размеров эллиптического встряхивателя, а зависят лишь от соотношения полуосей

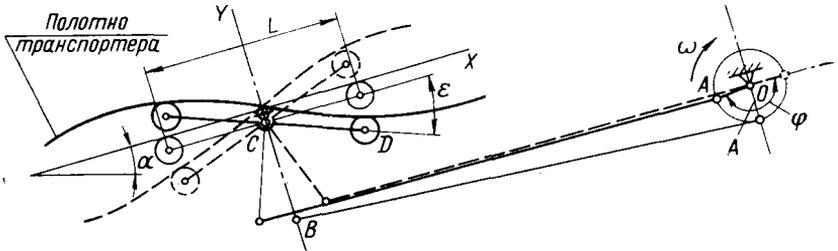


Рис. 122. Схема ударного встряхивателя пруткового транспортера

эллипса  $k = \frac{b}{a}$ . Это соотношение целесообразно принимать в пределах 0,6—0,7 [20].

Встряхивающие звездочки находятся в постоянном зацеплении с полотном транспортера и поэтому частота встряхиваний находится в прямой зависимости от скорости полотна и числа кулачков звездочки и определяется по формуле

$$v = cn_{\text{вст}} = c \frac{60v_T}{L_{\text{зв}}}, \quad (109)$$

где  $c$  — число кулачков звездочки;

$L_{\text{зв}}$  — длина начальной кривой встряхивающей звездочки.

Для эллиптической встряхивающей звездочки частота колебаний выражается зависимостью

$$v_{\text{эл}} = 38,2 \frac{v_T}{1,5(a + b) - \sqrt{ab}}. \quad (110)$$

Анализ процесса работы пруткового транспортера с принудительным колебанием полотна встряхивателем ударного действия (рис. 122) показывает, что условие подбрасывания частиц почвы выполняется при ускорении полотна транспортера

$$j \geq g \cos \alpha \text{ или } \omega^2 A \sin \omega t \frac{CD}{BC} \cos \epsilon \geq g \cos \alpha.$$

Размах колебаний, определяемый углом поворота двулучевого рычага, невелик, поэтому можно считать, что  $\cos \varepsilon \approx 1$ , тогда

$$\omega^2 A = \frac{g \cos \alpha}{\sin \omega t K_{уд}},$$

где  $K_{уд} = \frac{CD}{BC}$  — параметр, характеризующий кинематику ударного встряхивателя.

Частоту вращения вала эксцентриков, обеспечивающую подбрасывание материала на полотно, можно определить из соотношения

$$n \geq 30 \sqrt{K_{уд} \frac{\cos \alpha}{A \sin \omega t}}. \quad (111)$$

Наиболее целесообразным режимом работы встряхивателя считается такой, при котором время полета частицы равно времени полуоборота эксцентрикового вала, т. е.  $t = \pi/\omega$ , а дальность полета частицы равна длине  $L$  двулучевого рычага встряхивателя. При соблюдении этих условий подброшенная первым встряхивателем частица упадет на полотно в зоне второго встряхивателя в момент подъема полотна вверх.

Исходя из этих условий, нормальная составляющая скорости полотна  $v_n$ , обеспечивающая время полета частицы, равное времени одного колебания полотна, определяется следующим соотношением [20]:

$$v_n = \frac{\pi g}{2\omega}. \quad (112)$$

Для определения скорости полотна транспортера можно пользоваться приближенной формулой

$$v_T = \frac{g \cos \alpha}{2v_n} L. \quad (113)$$

Эффективность рабочего процесса пруткового транспортера, как и всякого сепарирующего рабочего органа, определяется его сепарирующей способностью. Прежде всего необходимо знать влияние скорости полотна транспортера на этот показатель. По данным исследований, коэффициент сепарации с увеличением скорости полотна  $v_T$  возрастает до некоторого максимального значения, а затем начинает уменьшаться (рис. 123, а). Наиболее целесообразными являются скорости полотна в диапазоне 2,2—2,8 м/с. Транспортеры с независимым двухроликовым встряхивателем имеют более высокую сепарирующую способность, чем транспортеры с эллиптическим встряхивателем. Разница в сепарирующей способности наиболее ощутима при переработке почв повышенной влажности (рис. 123, б). При оптимальной влажности почвы (15—23%) эта разница незначительная, 3—5%.

Удельная сепарация почвы с возрастанием скорости полотна  $v_T$  уменьшается у транспортеров с независимым встряхивателем и практически остается неизменной у транспортеров с эллиптическим встряхивателем (рис. 124).

Влажность почвы оказывает решающее влияние на ее сепарацию. С повышением влажности полнота сепарации почвы при оптимальной скорости полотна транспортера уменьшается более

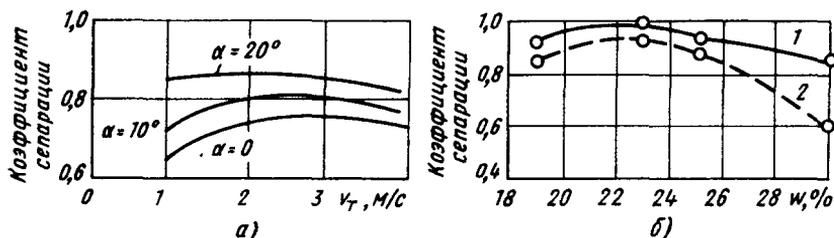


Рис. 123. Влияние линейной скорости полотна (а) и влажности почвы (б) на сепарирующую способность пруткового транспортера:

1 — независимый роликовый встряхиватель полотна; 2 — эллиптический встряхиватель

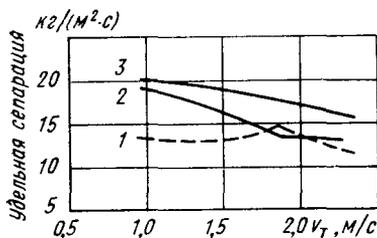


Рис. 124. Влияние скорости транспортера на удельную сепарацию:

1 — эллиптический встряхиватель; 2 и 3 — встряхиватель принудительного действия при частоте соответственно 300 и 600 колебаний в минуту

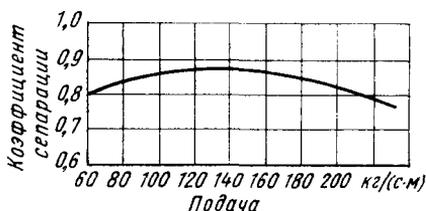


Рис. 125. Влияние подачи на коэффициент сепарации почвы прутковым транспортом

чем в 2,6 раза. С повышением скорости полотна (свыше 3 м/с) полнота сепарации почв оптимальной влажности уменьшается, а почв повышенной влажности практически остается без изменений.

По данным экспериментального изучения процесса сепарации почвы прутковыми транспортерами с независимым принудительным встряхиванием полотна, изменение амплитуды колебаний в режимах с подбрасыванием хотя практически и не влияет на полноту сепарации почвы, тем не менее наиболее высокая полнота сепарации получена при радиусе кривошипа  $r = 35 \div 45$  мм [20]. С увеличением подачи почвы на полотно транспортера полнота сепарации уменьшается, однако это уменьшение незначительное (рис. 125).

## Грохоты с плоскими колеблющимися решетками

В машинах для уборки корнеклубнеплодов наиболее широкое распространение получили грохоты с продольными колебаниями решет: двухрешетные (в копателях КГ-2, КВН-2 и ЛКГ-1,4, комбайнах КГП-2, ККУ-2 и др.) и гирационные (в машине ЛКГ-1,4).

**Колеблющиеся грохоты** характеризуются кинематически определенной амплитудой колебаний и строго определенными по величине и направлению перемещением, скоростью и ускорением всех звеньев независимо от участвующих в колебаниях масс. По характеру траектории различают колеблющиеся грохоты с прямолинейной, круговой и сложной траекторией движения решет; по наклону решета — горизонтальные; с положительным или отрицательным углом наклона; по расположению подвесок — с верхним, нижним и смешанным расположением, по количеству решет — одинарные и спаренные с последовательным или ярусным расположением решет.

В машинах для уборки картофеля, корнеплодов и лука используются спаренные колеблющиеся грохоты с последовательным расположением решет, положительным углом наклона, верхними подвесками и симметричной скоростной диаграммой. При установке на переднем коробе перед решетом режущего лезвия (лемеха) такие грохоты можно отнести к числу универсальных рабочих органов, выполняющих подкапывание, транспортирование и сепарацию почвы.

Подкапывание слоя почвы и частично транспортирование рассматривались раньше, поэтому здесь остановимся лишь на анализе возможных перемещений частиц по поверхности решета.

Как указывалось, частицы почвы могут двигаться как без отрыва от колеблющейся поверхности, так и с отрывом (скачками). Временная граница этих режимов определяется уравнением (72).

Рассмотренные ранее критические режимы работы, при которых время полета подброшенной частицы равно периоду одного колебания, являются частным случаем движения почвы в режимах с подбрасыванием. Такие режимы желательны для эффективного разрушения всего почвенного пласта и отдельных комков, однако они не желательны для работы грохота как сепарирующего органа. В режимах с непрерывным подбрасыванием время контакта частицы почвы с решетом грохота ограничено и вероятность проскакивания частиц в просветы решет крайне мала. Время нахождения частиц на поверхности решета может быть увеличено изменением режимов работы грохота.

Критические режимы работы характеризуются тем, что начало полета частицы совпадает с начальным моментом режимов второго рода ( $K_{\pi} < 1$ ), а окончание полета совпадает с моментом времени  $t_{\pi}$ , также соответствующим началу режимов второго рода, т. е.  $t_{\pi} = t_0 + \frac{2\pi}{\omega}$ . При этих режимах частица будет все

время находиться в полете, соударяясь с решетом грохота лишь в отдельные моменты времени, т. е. материал будет перемещаться непрерывными скачками.

Если же соударение частицы почвы с решетом будет происходить в момент времени  $t_{п} < t_0 + \frac{2\pi}{\omega}$ , то после падения на решето грохота частица будет находиться в контакте с ним до наступления момента времени  $t_{01} = t_0 + \frac{2\pi}{\omega}$ . При этих режимах

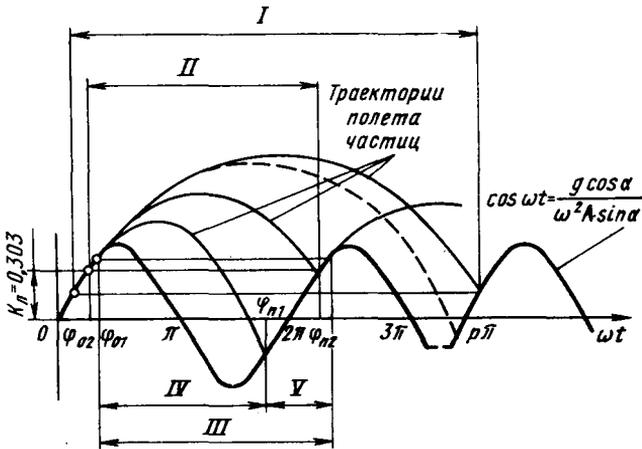


Рис. 126. Схема возможных перемещений частицы по решету грохота:

*I* — полет частицы в критических режимах при  $p = 2; 3$  и т. д.;  
*II* — полет частицы в критических режимах при  $p = 1$ ; *III* — движение в режимах при  $p < 1$  (*IV* — полет; *V* — движение в контакте с грохотом)

частица движется по схеме: полет — движение в контакте с решетом — полет и т. д. (рис. 126).

Время пребывания частицы в контакте с решетом  $\Delta t = (t_0 + \frac{2\pi}{\omega}) - t_{п}$ , а время полета частицы должно быть меньше времени одного периода колебаний, т. е.  $T_{п} = pT$ , при этом  $p < 1$ . Чем меньше величина  $p$ , тем больше время контакта почвы с решетом и вероятность просеивания мелких частиц почвы. Поэтому режимы с подбрасыванием при  $p < 1$  могут быть приняты в качестве рабочих для сепарирующих решет качающихся грохотов.

Исследование процесса перемещения и сепарации слоя почвы при помощи скоростной киносъемки подтверждает целесообразность этих режимов не только для сепарации почвы, но и для транспортирования материала грохотом [8]. Скоростная киносъемка позволила выявить действительные скорости перемеще-

ния частиц при различных параметрах грохота и установить характер и закономерность процесса перемещения почвенного пласта по решетку грохота.

Срезанный лемехом пласт, попадая на решетку, распадается на отдельные частицы различных размеров, которые, совершая колебательные движения с решеткой, периодически отрываются, совершают полет и вновь падают на него. Благодаря этому происходит «разжижение» транспортируемого пласта, наблюдается погружение более плотных частиц в нижние слои почвы и всплывание менее плотных. Это явление отмечалось рядом исследователей при изучении аналогичных процессов, связанных с колеблющимися средами [3]. При исследованиях установлено также, что скорость вертикального погружения более плотных частиц тем больше, чем больше ускорение решетки.

При движении частиц в слое имеет место также расклинивающий эффект, приводящий к всплыванию крупных частиц в среде мелких той же плотности. Оба этих явления положительно влияют на процесс сепарации, поскольку корнеплоды и луковицы как менее плотные тела стремятся всплыть на поверхность пласта, а мелкая почва, дойдя до поверхности решетки, просеивается в просветы между прутками.

Наряду с этим установлено, что при работе грохота, как правило, отсутствует синхронизация движения частиц, т. е. одновременный их отрыв и падение на решетку. Если частицы отрываются от решетки примерно в один и тот же момент, то различие времени полета каждой из них приводит к асинхронизации движений. Вследствие того, что удар частицы о решетку происходит в течение некоторого вполне определенного отрезка времени, частица не отрывается от решетки мгновенно, как это принято при теоретическом рассмотрении процесса. Упавшая на решетку частица вновь приобретает скорость решетки за определенный период времени, в результате этого последующий отрыв частицы от решетки происходит с запаздыванием. Такой циклический характер движения частиц, когда за каждым скачком нормальной длины следует уменьшенный, является преобладающим в критических режимах работы грохота.

Из результатов опыта (рис. 127) видно, что перемещение частицы по грохоту за один оборот вала кривошипа неодинаковое: в одном случае оно равно 83 мм (положения 1—2), в других 46 мм (положения 2—3) и 52 мм (положения 3—4). При частоте вращения эксцентрикового вала 537 об/мин скорости перемещения соответственно равны 0,74; 0,41 и 0,47 м/с. Средняя скорость составляет 0,54 м/с.

При низких частотах колебаний решетки, когда время полета частиц меньше времени одного периода колебания, почва подбрасывается в основном с частотой, равной частоте колебаний решетки, и перемещается с большей средней скоростью, чем в критических режимах. Режимы, при которых  $p < 1$ , соответ-

ствуют лучшей полноте сепарации. Это подтверждается и экспериментальными работами.

В ранних исследованиях, которые проводились в ВИСХОМе, ВИМе, НИИМЭСХе Северо-Запада и других организациях, процесс сепарации (просеивания) почвы на грохотах изучался главным образом в лабораторных и лабораторно-полевых условиях на стационарных установках. В результате этих исследований установлено влияние на эффективность сепарации параметров и рабочего режима грохота, а также определены пределы оптимальных значений некоторых параметров. Однако полученные материалы не могут являться основой при проектировании и расчете грохотов, так как опыты проводились на стационарных установках в лабораторно-полевых условиях при подаче почвы не превышавшей 20 кг/(с·м), транспортером-питателем, который загружали вручную. При подкапывании пласта лопатами и ручной загрузке его на-

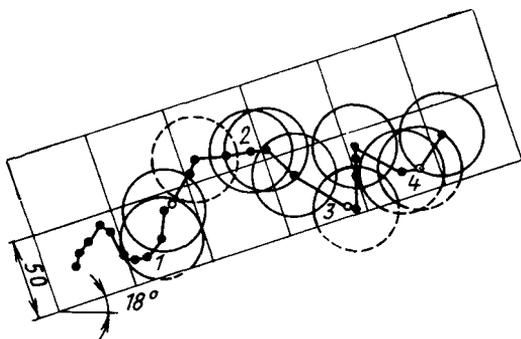


Рис. 127. Движение макета корнеплода по решету грохота в критических режимах:

1 — 4 — положения макета, соответствующие кинограмме опыта скоростной киносъемки

рушалась структура почвы, поэтому полученные данные нуждались в проверке в условиях, близких к реальным.

В работах, выполненных в ВИСХОМе на мобильных установках, получены значения коэффициентов сепарации в зависимости от физического состояния почвы в условиях, близких к полевым [8, 20]. Этими коэффициентами можно пользоваться для ориентировочных расчетов при проектировании грохотов.

Как и при опытах на стационарных установках, исследование сепарирующей способности грохота на подвижной установке показало, что при увеличении влажности почвы полнота сепарации снижается, при этом нижний предел пластичности почвы является границей, разделяющей зоны хорошей и плохой сепарации (рис. 128, а). Оптимальной для сепарации является влажность до 21%. При обработке почв влажностью выше 24% сепарация их грохотом практически прекращается. Изучение сепарации сухой неомковатой почвы при частоте вращения 400—800 об/мин и амплитуде колебаний решет 5—25 мм показало, что изменение этих параметров в таких пределах практически не оказывает влияния на коэффициент сепарации почвы, который остается высоким (98%). При этом установлено, что коэффициент сепарации почвы несколько падает с увеличением подачи.

Не выявлена тенденция к увеличению коэффициента сепарации с повышением частоты вращения кривошипа и амплитуды колебаний для почвы, находящейся в пластичной консистенции (влажность 29—30%). Коэффициент сепарации пластичной почвы не зависит от режима работы грохота и не превышает 0,1.

Частота вращения кривошипа в значительной степени влияет на сепарацию почвы, находящейся в твердой консистенции,

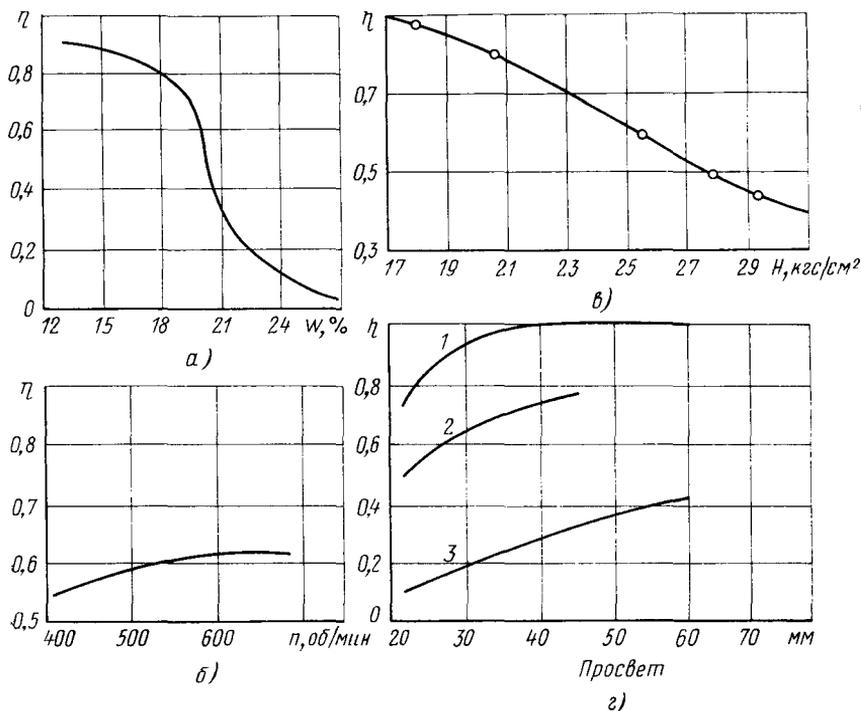


Рис. 128. Влияние основных параметров на коэффициент сепарации  $\eta$  почвы грохотом:

*a* — влажности  $w$  почвы; *б* — частоты колебаний  $n$  грохота; *в* — твердости  $H$  почвы; *г* — просвета грохота; 1 —  $w = 16,7\%$ ; 2 —  $w = 22,2\%$ ; 3 —  $w = 24,85\%$

с влажностью 22—24%, близкой к нижней границе пластичности.

Полнота сепарации почвы влажностью 25—28% с увеличением частоты вращения  $n$  повышается только в определенном диапазоне частот: при  $n = 400$  об/мин коэффициент сепарации составлял 0,55, при  $n = 600$  об/мин он увеличился до 0,63 (рис. 128, б). Дальнейшее увеличение частоты вращения кривошипа до 700 об/мин не влияет на коэффициент сепарации. Поэтому повышение частоты вращения более 700 об/мин при амплитуде 25 мм и более 850 об/мин при амплитуде 15 мм является нецелесообразным.

Опыт эксплуатации и испытания корнеклубнеуборочных машин показывает, что коэффициент сепарации почвы резко изменяется в зависимости от ее состояния. Зная влажность и механический состав почвы, все же еще нельзя точно определить хорошо или плохо она будет сепарироваться. Большое влияние на процесс сепарации почвы оказывает характер предшествующей обработки. Этот фактор трудно оценить каким-либо показателем. Косвенно его можно связать с твердостью (плотностью) почвы.

При изменении твердости почвы от 17 до 32 кгс/см<sup>2</sup> на глубине 15 см коэффициент сепарации изменяется обратно пропорционально твердости (рис. 128, в). Приведенные данные относятся к почве влажностью 17,7% (при амплитуде 15 мм, частоте 590 об/мин).

При сепарации корнеплодов и лука от почвы по размерному признаку большое значение имеет просвет решета. Чем больше просвет, тем больше живое сечение решета и, следовательно, вероятность прохода сквозь него частиц почвы. Просветы решет устанавливаются, исходя из условия невозможности прохода через них корнеплодов и луковиц. Для лука и различных корнеклубнеплодов просветы должны быть в пределах 22—60 мм.

Исследование влияния просветов решета на эффективность сепарации почвы имеет важное значение для определения минимального набора сменных решет, прикладываемых к картофелеуборочным машинам при использовании их на уборке лука и корнеплодов.

Зависимость коэффициента сепарации почвы грохотом от просветов решета при  $n = 500$  об/мин,  $A = 25$  мм и подаче около 50 кг/с·м показана на рис. 128, г.

Грохот с длиной решета 1 м полностью просеивает сухую несвязную почву (коэффициент сепарации  $\eta = 1$ ) при просветах 35—36 мм. В этих условиях сепарирующая способность решет с разницей просветов до 3 мм практически не изменяется, поэтому даже при уборке крупноразмерных корнеплодов нет необходимости устанавливать решета с большими просветами. Иная картина наблюдается при влажности почвы, близкой к пределу текучести: полнота сепарации при этом не превышает 0,41% при ширине просветов решета 60 мм.

При расчете рабочей скорости и производительности овощеуборочных машин необходимо знать влияние подачи на коэффициент сепарации. Известно, что с увеличением подачи снижается полнота сепарации, но у прутковых транспортеров это снижение незначительное, а у качающихся грохотов повышение подачи более 60 кг/(с·м) приводит к довольно резкому снижению полноты сепарации (рис. 129). Одним из решающих факторов уменьшения полноты сепарации является снижение скорости перемещения материала грохотом при увеличении высоты транспортируемого слоя.

При сепарации сухой почвы на грохоте с длиной решета 1 м подачу 60—70 кг/(с·м) следует считать оптимальной. В этом интервале подач коэффициент сепарации некомковатых почв достигает 0,9, комковатых — 0,85. Для двухрешетных грохотов с общей длиной решет более 2,0 м и амплитудой колебаний 25 мм подача может быть увеличена до 100 кг/(с·м). При дальнейшем увеличении подачи свыше 130 кг/(с·м) грохот становится практически не работоспособным.

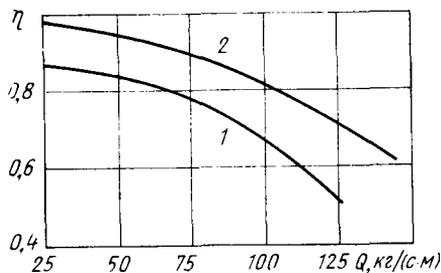


Рис. 129. Влияние подачи  $Q$  на полную сепарацию почвы грохотом:

1 — почва в твердом (сухом) состоянии с наличием прочных комков; 2 — почва в твердом (сухом) оптимальном для сепарации состоянии

Коэффициент сепарации почвы  $\eta$  по длине решета грохота может быть выражен эмпирической зависимостью [8]:

$$\eta = \frac{(L_{\text{реш}})^{b_1}}{\frac{1}{a_1} + (L_{\text{реш}})^{b_1}}, \quad (114)$$

где  $L_{\text{реш}}$  — длина решета грохота;

$b_1$  — эмпирический коэффициент, учитывающий величину загрузки и расположение рабочего органа в схеме технологического процесса;

$a_1$  — эмпирический коэффициент, учитывающий физическое состояние почвы.

При расчете полноты сепарации значения коэффициентов  $a_1$  и  $b_1$  можно принимать по табл. 20.

Таблица 20

Значения коэффициентов  $a_1$  и  $b_1$

Сепарирующий орган	$a_1$	$b_1$
Основной при загрузке 80—120 кг/(с·м) . . . . .	3,5—4,5	2/3
Второй при загрузке до 20 кг/(с·м) мелкой почвы . . . . .	2,5—3,5	2/3
Второй при поступлении непрочных комков . . . . .	1,0—1,5	2/3
Второй при поступлении прочных комков . . . . .	0,3—0,4	1/2

**Гиравционные грохоты** (рис. 130, а) сравнительно недавно начали использоваться в корнеклубнеуборочных машинах. В отличие от колеблющихся гиравционных грохоты не могут транспортировать материал вверх, так как их решета не имеют направленных колебаний. Как правило, середина решета, опирающаяся

на эксцентрики вала, перемещается по круговой траектории, а края, опирающиеся на пружины, описывают эллиптическую траекторию. В связи с этим гирационные грохоты располагаются в середине или конце схемы технологического процесса уборочной машины. Их устанавливают с наклоном в сторону транспортирования материала. Амплитуду колебаний для этих грохотов принимают 3—8 мм, а частоту вращения эксцентрикового вала определяют из условия подбрасывания частиц почвы  $\omega^2 A \sin \omega t \geq g \cos \alpha$  по формуле

$$n_{\min} \geq 30 \sqrt{\frac{\cos \alpha}{A \sin \omega t}}. \quad (115)$$

Угол поворота кривошипа  $\omega t$ , при котором происходит отрыв частицы от грохота, для более интенсивного подбрасывания должен быть значительно меньше  $\pi/2$ . Частицы почвы перемещаются по поверхности решета гирационного грохота более мелкими

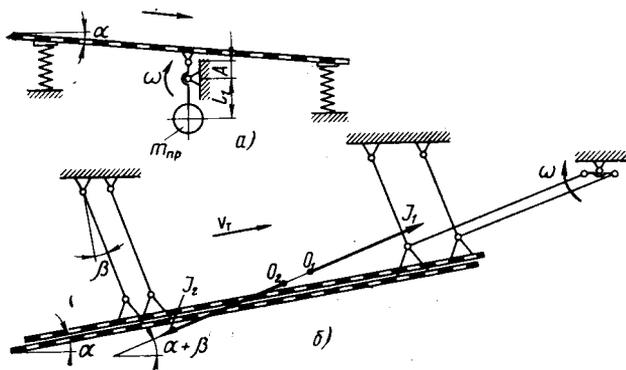


Рис. 130. Схемы грохотов:

*a* — гирационного; *b* — спаренного колеблющегося с совмещенными решетками

скачками, чем по поверхности качающихся грохотов, и по более крутым траекториям, благодаря чему увеличивается число соударений частиц с решетом и повышается эффективность сепарации.

Важной особенностью гирационных грохотов является возможность их полного уравнивания за счет установки противовесов на валу эксцентриков. Вес противовесов  $G_{\text{пр}}$  определяют из соотношения

$$G_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{гр}} A}{l_1},$$

где  $G_{\text{гр}}$  — вес грохота;  
 $A$  — радиус эксцентрика;

$l_1$  — расстояние от оси вала до центра тяжести противовеса.

**Качающиеся грохоты с совмещенным расположением решет** благодаря направленным колебаниям способны транспортировать материал вверх и поэтому могут быть установлены в любом месте схемы технологического процесса машины.

Существенный недостаток широко распространенных грохотов с последовательным расположением решет состоит в том, что в них практически довольно трудно уравновесить возникающие инерционные силы. В колеблющихся грохотах корнеклубнеуборочных машин (КГП-2, ККУ-2, КВН-2, ЛКГ-1,4 и др.) решета расположены друг за другом, в результате чего возникает знакопеременный момент сил инерции, для уравнивания которого в серийных машинах на удлинителях подвесок устанавливают противовесы.

Такой способ уравнивания не дает желаемых результатов, поскольку в верхних точках подвесок от массы противовесов дополнительно возникают инерционная сила и пара сил, приложенные к различным элементам рамы. В результате возникает необходимость конструктивного упрочнения этих элементов рамы, что приводит к значительному увеличению веса машин.

Как у гирационных, так и у колеблющихся с последовательным расположением решет грохотов решета подвержены залипанию растительностью и почвой, особенно при ее повышенной влажности и малых просветах между тростями.

В последнее время ВИСХОМ проводит работы по изысканию грохота, обладающего хорошей транспортирующей способностью (подобно колеблющемуся грохоту) и высокой степенью сепарации (подобно гирационному грохоту); легко уравниваемого и не подверженного залипанию. Последнее из перечисленных требований особенно важно при уборке мелкогабаритных овощных культур (например, лука-севка, редиса и др.).

В результате выполненных работ создан колеблющийся двухрешетный грохот с совмещенными решетками (рис. 130, б), в котором трости одного решета располагаются между тростями другого.

Как указывалось раньше, наиболее целесообразными режимами работы качающихся грохотов являются такие, при которых перемещение материала происходит непрерывными скачками с отрывом от поверхности решета. При этом оптимальными принято считать критические режимы, при которых время полета частицы равно времени одного оборота кривошипа.

Для грохота с совмещенными решетками критические режимы работы, принятые в колеблющихся грохотах с последовательным расположением решет, не приемлемы, так как при этих режимах материал будет перемещаться только по поверхности одного решета, не соприкасаясь с другим. Более целесообразным будет такой процесс работы грохота, когда частицы (материал) будут

подбрасываться одним решетом, а падать на поверхность второго решета. Поскольку решета колеблются в противофазе, то время полета частицы должно быть равно полупериоду колебаний. Тогда

$$\frac{2v_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} = \frac{\pi}{\omega}.$$

Преобразовав это равенство, получим

$$(\omega^2 A)_{\text{кр}} = \frac{g \cos \alpha}{2 \sin \beta} \sqrt{\pi^2 + 4} \approx 1,86 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (116)$$

Из выражения (116) видно, что при прочих равных условиях грохоту с совмещенными решетками для обеспечения собственных критических режимов требуется меньшая частота колебаний. Это очень важная особенность, так как с уменьшением частоты колебаний снижаются возникающие при работе грохота инерционные силы:  $\frac{m(\omega^2 A)_{\text{пг}}}{m(\omega^2 A)_{\text{кр}}} = 1,78$ .

Грохот с совмещенными решетками удастся довольно легко уравновесить подбором массы коробов и решет и совмещением центров тяжести или расположением их на линии направления колебаний. Последнее дает возможность подобрать такой режим, при котором транспортируемые частицы будут подбрасываться одним решетом и скользить по поверхности второго. Это может быть достигнуто за счет колебания решет с различной амплитудой. Амплитуду колебания решета, работающего в режиме с подбрасыванием, определяем по уравнению

$$A_1 = 1,86 \frac{g \cos \alpha}{\omega^2 \sin \beta},$$

второго решета

$$A_2 = \frac{g \cos \alpha}{\omega^2 \sin \beta \sin(\omega t_0)_2},$$

где  $(\omega t_0)_2$  — угол поворота эксцентрика второго решета, который соответствует началу отрыва частицы от его поверхности.

Учитывая принятое ранее условие, что движение частицы по поверхности второго решета происходит без подбрасывания, можем взять  $(\omega t_0)_2 = 90^\circ$ . Тогда отношение амплитуд запишем в таком виде

$$\frac{A_1}{A_2} \geq 1,86.$$

Если центры тяжести решет расположены на линии направления колебаний, то для уравновешивания возникающих сил

инерции необходимо, чтобы соблюдалось равенство  $m_1\omega^2 A_1 = m_2\omega^2 A_2$ . Отсюда  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{A_1}{A_2}$ . Соблюдение этого условия обеспечивает перемещение частицы по следующей схеме: полет — движение в контакте с решетом — полет и т. д. При этом полет частицы и совместное движение ее с решетом чередуются ровно через полупериод колебания. Такой характер движения частиц увеличивает время пребывания их в контакте с решетом, в результате чего улучшается процесс сепарации.

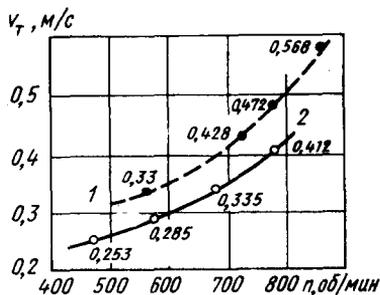


Рис. 131. Скорость транспортирования почвы колеблющимся грохотом:

- 1 — с совмещенными решетами;  
2 — с последовательно расположенными решетами

Изучение транспортирующей способности грохота с совмещенными решетками (рис. 131) показывает, что скорость транспортирования материала грохотом с совмещенными решетками (кривая 1) выше, чем колеблющимся грохотом с последовательным расположением решет (кривая 2) в среднем на 15%. Наибольшее различие скоростей транспортирования наблюдается в режимах, близких к критическим режимам грохота с совмещенными ре-

сетками (при амплитуде  $A = 15$  мм, углах  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\beta = 15^\circ$  и  $n = 690$  об/мин).

Коэффициент сепарации почвы грохотом с совмещенными решетками выше, чем колеблющимся двухрешетным (рис. 132, а).

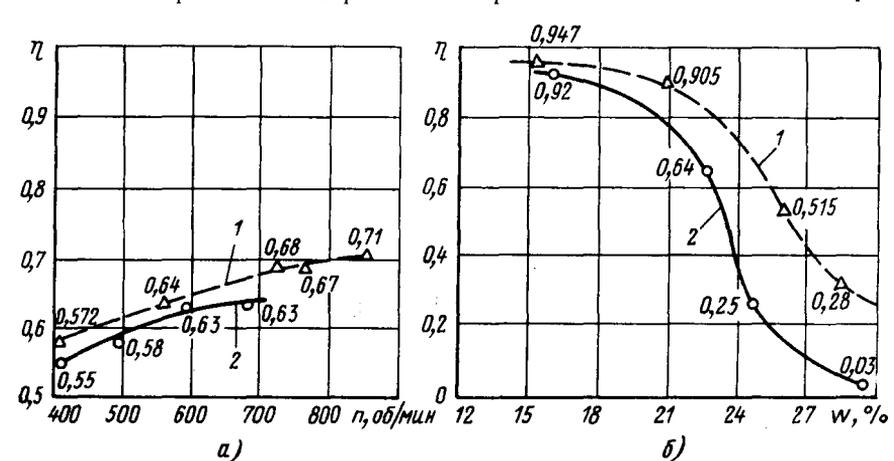


Рис. 132. Сравнительные данные по сепарирующей способности грохота:

- а — в зависимости от частоты колебаний; б — в зависимости от влажности; 1 — грохот с совмещенными решетками; 2 — грохот с последовательно расположенными решетками

сетками (при амплитуде  $A = 15$  мм, углах  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\beta = 15^\circ$  и  $n = 690$  об/мин).

Коэффициент сепарации почвы грохотом с совмещенными решетками выше, чем колеблющимся двухрешетным (рис. 132, а).

Это объясняется тем, что частицы из-за более низких режимов работы, перемещаются по поверхностям совмещенных решет более мелкими скачками, чем по поверхностям последовательно расположенных решет, поэтому имеют большее число соударений (контактов) с решетом, а значит и большую вероятность просеивания. Кроме того, повышение числа соударений способствует более интенсивному разрушению почвенных комков. В результате повышается полнота сепарации почвы грохотом с совмещенными решетатами.

Еще в большей степени увеличивается полнота сепарации грохотом с совмещенными решетатами по сравнению с обычным грохотом при работе на почвах повышенной влажности (рис. 132, б). Это различие особенно ощутимо за нижним пределом пластичности.

Хорошее транспортирование почвы колеблющимся грохотом с совмещенными решетатами и высокая степень сепарации в совокупности с простотой уравнивания инерционных сил и отсутствием залипания просветов между тростями ставят грохот этого типа в число наиболее эффективных сепарирующих рабочих органов.

### **Обоснование просветов сепарирующих органов**

Эффективность просеивания почвы сепарирующим органом зависит, как указывалось, от просветов: чем они больше, тем интенсивнее происходит сепарация почвы даже при ее оптимальной влажности (кривая 1, рис. 128, просвет до 36 мм), но при этом вместе с почвой выделяются и те корнеплоды и луковицы, размер которых меньше ширины просветов. Оптимальная ширина просветов решет грохотов и прутковых элеваторов овощеуборочных машин обусловлены размерными характеристиками овощных культур. В качестве примера рассмотрим размерные характеристики луковиц наиболее широко распространенных сортов: Бессоновского, Вертужанского, Краснодарского Г-35, Стригуновского, Грубенского и Днестровского. Полученные по измерениям диаметра вариационные диаграммы (рис. 133) позволяют не только обосновать просветы сепарирующих органов, но и определить потери луковиц при той или иной ширине просвета. Анализ диаграмм показывает, что кривая размеров диаметра луковиц сходна с кривой нормального распределения случайных величин. Согласно основным положениям закона Гаусса площадь, соответствующая какому-то заданному интервалу отклонений величины, определяется интегралом

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx,$$

который удобно представить в виде функции от  $z = \frac{x}{\sigma} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ .

$$f(z) = F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Приняв всю площадь кривой нормального распределения равной 100%, получим

$$2F(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 1.$$

Функция от  $2F(z)$  выражает таким образом отношение площади, ограниченной кривой и ординатами в интервале отклоне-

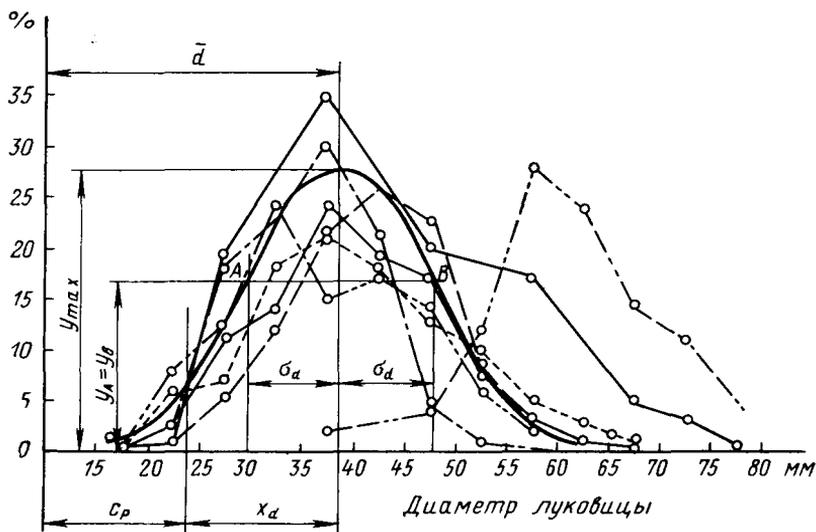


Рис. 133. Вариационная кривая диаметров лукович различных сортов

ний  $\pm x$ , ко всей площади кривой распределения. Площадь, расположенная между ординатами  $x = \pm 3\sigma$ , составляет 99,73% общей площади (поэтому  $\pm 3\sigma$  охватывает практически все рассеивание размеров, которое следует учитывать), между  $x = \pm 2\sigma$  — 95,45% и между  $x = \pm \sigma$  — 68,3%. Следовательно, для определения ширины просвета решета по заданному проценту потерь лукович (или наоборот) необходимо знать среднее арифметическое значение диаметра луковичи  $d_{cp}$  и среднее квадратическое отклонение диаметра  $\sigma_d$ . Параметры  $d_{cp}$  и  $\sigma_d$  определяют на основе замеров диаметров лукович. Однако они могут быть получены и непосредственно из диаграммы, если последняя построена графическим способом по гистограмме. Опре-

делим непосредственно из диаграммы среднее арифметическое значение диаметра луковицы для выбранных сортов,  $d_{\text{ср}} = 39$  мм. Координаты точек перегиба  $A$  и  $B$  кривой нормального распределения следующие:

$$x_A = d_{\text{ср}} - \sigma_d \text{ и } x_B = d_{\text{ср}} + \sigma_d;$$

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma_d \sqrt{2\pi e}} = y_{\text{max}} \frac{1}{\sqrt{e}} \approx 0,606 y_{\text{max}}.$$

Найдя по диаграмме  $y_{\text{max}} = 0,275$  (27,5%), получим  $y_A = y_B = 0,6 \times 0,275 = 0,1650$ . Проведем прямую параллельно оси абсцисс на расстоянии  $y_A = y_B = 0,1650$ , которая пересекаясь с кривой, даст точки  $A$  и  $B$  (и следовательно, значения  $x_A$  и  $x_B$ , т. е. определит значение  $\sigma_d$ ). Для нашей диаграммы  $\sigma_d = 8,75$  мм. Зная значения  $d_{\text{ср}}$  и  $\sigma_d$  и пользуясь таблицами  $F(z)$ , можно определить искомый просвет.

Обычно при определении размеров отверстий решет для разделения корнеклубнеплодов на фракции (решет для сортирования) для более точного сортирования берут переменную  $x$  равной  $\pm 3\sigma$ . Для обоснования просветов сепарирующих органов величину  $x$  целесообразно брать в меньшем интервале, поскольку при сепарации на решетках располагается не один компонент (только корнеклубнеплоды или луковицы), а несколько, при этом процентное содержание корнеплодов и луковиц в общей массе не превышает 5—8%. Поэтому в данном случае интервалом переменной  $x$  могут служить допустимые потери лука. По агротехническим требованиям потери лука сепарирующими органами не должны превышать 2%. Эти потери соответствуют функции  $2F(z) = 0,96$ . По таблицам находим значение  $z = 2,06$ , тогда  $x_d = \sigma_d z = 8,75 \times 2,06 = 18,025 \approx 18$  мм.

Просвет решета

$$c_p = d_{\text{ср}} - x_d = 39 - 18 = 21 \text{ мм.}$$

Полученный просвет для первого решета следует считать минимальным, так как луковицы на это решето поступают вместе с большим количеством почвы и в основном имеют достаточно мощную ботву, которая затрудняет проскакивание их в просветы. Для последующих сепарирующих органов лукоборочных машин просветы решет и элеваторов могут быть приняты: для первого решета — 24 мм; для второго решета, где значительно меньше почвы, чем на первом, — 22 мм.

### **Методика расчета параметров сепарирующих органов**

Исходя из изложенных теоретических предпосылок, расчет параметров сепарирующих рабочих органов может выполняться в следующем порядке.

*Для прутковых транспортеров с эллиптическим встряхивателем:*

- 1) принимают угол наклона рабочей ветви полотна до  $30^\circ$ ;
- 2) определяют длину рабочей части полотна из условий просеивания почвы, задавшись коэффициентом сепарации;
- 3) устанавливают размеры звездочки, приняв параметр  $k = 0,6 \div 0,7$ ;
- 4) определяют по формуле (106) скорость полотна транспортера и по формуле (109) частоту встряхиваний.

*Для прутковых транспортеров с ударным роликовым встряхивателем:*

- 1) конструктивно устанавливают  $L$  и  $K_{уд}$ ;
- 2) выбирают амплитуду колебаний  $A = 35 \div 45$  мм;
- 3) определяют частоту вращения вала эксцентриков по отношению (111);
- 4) находят нормальную составляющую скорости  $v_{н}$  по формуле (112);
- 5) определяют скорость полотна транспортера  $v_{т}$  по формуле (113).

*Для колеблющегося спаренного грохота с последовательным расположением решет:*

- 1) принимают угол наклона  $\alpha$  для лехема, закрепленного на решетке, до  $30^\circ$ ; для решета, расположенного за лемехом, — до  $20^\circ$ ; для второго решета — до  $15^\circ$ ; для грохотов, расположенных в середине или конце схемы технологического процесса, — до  $10^\circ$ ;
- 2) устанавливают угол  $\beta$  для грохотов, расположенных в начале схемы технологического процесса, в пределах  $15\text{—}18^\circ$ , в середине или конце схемы технологического процесса —  $18\text{—}25^\circ$ ;
- 3) выбирают амплитуду колебаний  $A$  в пределах  $0,015\text{—}0,025$  м. Амплитуда  $0,015$  м рекомендуется для грохотов, используемых в середине или конце схемы технологического процесса, а также для первого грохота машин, предназначенных для подкапывания пласта тонким слоем (например, лукоуборочных). В остальных случаях целесообразно принимать амплитуду  $A = 0,020 \div 0,025$  м;
- 4) определяют по формуле (78) частоту вращения вала эксцентрика в зависимости от принятых параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $A$ .

При этом коэффициент  $K$  находят из условия обеспечения режима с подбрасыванием. Если время полета частицы равно времени одного оборота вала эксцентрика, то для грохота с  $A = 0,020 \div 0,025$  м  $K_0 = 2,2 \div 2,5$ , а для грохотов с  $A = 0,015$  м принимается  $K_0 = 2,0 \div 2,2$ .

С целью приспособления режима работы к различным условиям привод грохотов целесообразно осуществлять через вариатор с регулированием частоты вращения в пределах  $\pm 25\text{—}30\%$  от номинальной;

5) рассчитывают транспортирующую способность и производительность качающегося грохота по скорости перемещения материала:

$$v_T = 0,1 k_h k_w n A,$$

где  $k_h$  — коэффициент толщины слоя;

$k_w$  — коэффициент влажности почвы.

Коэффициент  $k_w$  принимают равным единице при работе на сухой почве и 0,6—0,7 — на влажной.

Значение  $k_h$  принимают в зависимости от высоты слоя почвы на решетке: при  $h_{c.л} = 0,05$  м  $k_h = 1$ ; при  $h_{c.л} = 0,05 \div 0,1$  м  $k_h = 0,8$ ; при  $h_{c.л} = 0,1 \div 0,15$  м  $k_h = 0,6$ .

Скорость транспортирования почвы грохотом  $v_T$  должна быть больше поступательной скорости машины  $v_M$  во избежание сгруживания.

Зависимость, связывающая эти скорости и толщину слоя на решетке, представлена на рис. 134. Задавшись допустимой толщиной слоя на грохоте  $h_c$  и зная глубину подкапывания  $H$ , можно определить минимальное значение параметра  $v_T/v_M$ , а затем, приняв значение  $v_M$ , можно легко определить необходимую скорость транспортирования  $v_T$ .

6) определяют по формуле (114) длину решет грохота из расчета обеспечения коэффициента сепарации сухой не связной почвы до  $\eta = 0,9$ .

*Для колеблющегося спаренного грохота с совмещенным расположением решет:*

1) устанавливают по приведенной методике расчета грохота с последовательным расположением решет параметры  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $A$ ;

2) определяют по формуле (116) частоту вращения эксцентрикового вала;

3) принимают скорость транспортирования  $v_T$  при прочих равных условиях выше скорости перемещения почвы по грохоту с последовательным расположением решет на 12—15%.

*Для гирационного грохота:*

1) принимают угол наклона решета при длине до 1 м — 3—5°, свыше 1 м — до 8°;

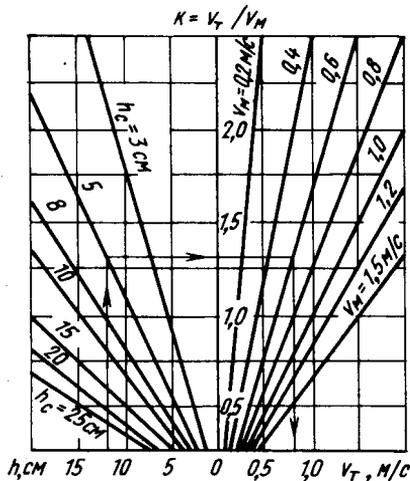
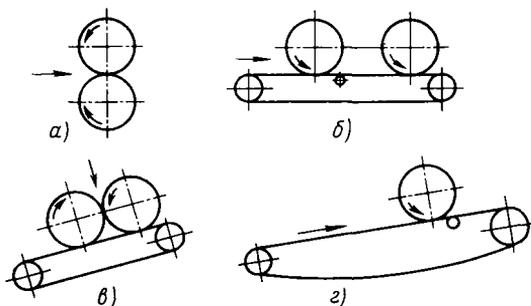


Рис. 134. Номограмма зависимости высоты подкапывания  $H$ , высоты слоя на сепарирующем органе  $h$  и отношения скорости транспортирования материала к поступательной скорости машины  $K = v_T/v_M$

- 2) выбирают амплитуду колебаний  $A$  в пределах 5—10 мм;
- 3) определяют частоту вращения вала эксцентриков по формуле (115).

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ КОМКОВ ПОЧВЫ

К наиболее распространенным способам отделения комков почвы от картофеля, корнеплодов и лука в машинах подкапывающего типа относится способ разрушения их путем статического сжатия. Комкоразрушающие устройства, основанные на этом



способе, можно разделить на две разновидности: для предварительного разрушения комков в рядах и для разрушения комков в машине.

При уборке овощей устройства для предварительного разрушения комков почвы не находят применения в связи с тем, что они изготавливаются в виде металлических катков, выполняющих роль копиров (например, у комбайнов КГП-2 и ККУ-2), а плоды многих овощных культур располагаются на поверхности поля. В овощеуборочных машинах комки почвы раздавливаются пневматическими баллонами (рис. 135, *a*), представляющими собой цилиндры диаметром 320 мм и длиной 1300 мм.

Каждый баллон состоит из вала с опорными подшипниками, камеры и покрышки. В машине пневматические баллоны устанавливают, как правило, после основного сепарирующего рабочего органа. Компоновать их можно попарно (спаренные баллоны машины ЛКГ-1,4, комбайна ККУ-2) и в сочетании с прутковыми (машина УЛШ-2М) или ленточными транспортерами (комбайн КГП-2).

Спаренные баллоны удобно располагаются в машине, не вызывая увеличения ее габаритов, однако имеют существенные недостатки — однократное воздействие на комки и необходимость прекращения работы машины в случае прокола баллона, особенно нижнего. Сочетание баллонов с прутковым транспортером не находит широкого распространения, так как при этом создаются большие давления на поверхность корнеплодов и лу-

ковиц в месте контакта их с прутками, вызывающие повреждение мякоти.

Наиболее целесообразной следует считать компоновку баллонов, принятую в комбайне КГП-2: два пневматических баллона установлены над ленточным транспортером. Применение такого комкодавителя хотя и удлиняет машину (длина транспортера комкодавителя комбайна КГП-2 — 890 мм), однако дает возможность работать в случае прокола баллона (передача материала осуществляется транспортером), а двукратное воздействие на комки вызывает более эффективное их разрушение.

Целесообразность использования пневматических баллонов подтверждается результатами выполненных в ВИСХОМе, Белорусском институте механизации и электрификации сельского хозяйства и других организациях работ по изучению прочности комков почвы при статических нагрузках. Работами этих институтов установлено, что прочность комков почвы находится в обратной зависимости от влажности. С изменением влажности от 2,9 до 24,6% среднее усилие на разрушение комка соответственно изменяется от 33 до 7 кгс.

Сравнивая прочностные свойства комков почвы, корнеплодов и луковиц, можно заключить, что прочность последних при статических нагрузках выше прочности комков почвы при соразмерном их сравнении. Поэтому при воздействии на материал, состоящий из двух компонентов: почвы и корнеплодов (или луковиц), баллоны будут разрушать комки почвы, не нанося повреждения плодам.

Из параметров пневматических баллонов наибольшее влияние на эффективность разрушения почвенных частиц оказывает давление воздуха и ширина щели между поверхностями давления. По опытным данным избыточное давление воздуха в баллонах должно быть не более 0,25 ат для корнеплодоуборочных машин, и 0,5 ат для лукоуборочных машин при работе на уборке острых сортов лука.

Расстояние между баллонами и полотном транспортера устанавливается равным среднему размеру корнеплода (луковицы), при этом должна предусматриваться возможность изменения зазора в пределах 0—100 мм.

Окружная скорость баллонов также оказывает влияние на разрушение комков почвы. При скорости баллонов 5 м/с (вариант компоновки, показанный на рис. 135, в) по сравнению с контрольной пробой разрушается 94,6% комков, а при скорости 1,5 м/с — 76,7%. Однако увеличение окружной скорости баллонов ограничивается прочностными свойствами овощей. Поэтому скорость баллонов не должна быть выше 3 м/с. Используемые в машине ЛКГ-1,4 баллоны имеют окружную скорость: верхний 2,85 м/с, а нижний 2,45 м/с. В устройствах с двукратным воздействием окружная скорость баллонов принимается до 1,5 м/с, а линейная скорость транспортера — 1,2—1,3 м/с.

Количество пневматических баллонов также определяет их эффективность. Например, при окружной скорости 3 м/с и однократном воздействии разрушается 43,9% комков, а при двукратном воздействии — 85,7%.

Данные по эффективности использования комкоразрушающих устройств, скомпонованных по схемам, показанным на рис. 135, а и б, приведены в табл. 21.

Таблица 21

Эффективность разрушения почвенных комков баллонами

Схема и характер воздействия	Подача в кг/с	Фракционный состав почвы после баллонов в %			Эффектив- ность в %
		Более 25 мм	10--25 мм	Менее 10 мм	
Спаренные баллоны					
Без воздействия баллонов	46,3	49,3	11,7	30,0	—
Под воздействием баллонов с давлением 0,2 ат	4,14	23,2	12,1	64,7	26,1
Баллоны с ленточным транспортером					
Без воздействия баллонов	5,9	72,8	4,6	22,6	—
Однократное воздействие	3,51	58,0	8,0	34,0	14,8
Двукратное воздействие	3,91	33,6	18,9	47,5	39,2

Эффективность работы пневматических баллонов зависит в конечном итоге от подачи материала. По данным опытов при увеличении подачи с 4 до 17 кг/с степень разрушения комков почвы снижается с 26,1 до 11,9%.

## Глава V

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ ТОМАТОВ И ОГУРЦОВ

#### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ПОДРЕЗАНИЯ И ПОДБОРА РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ

**П**одрезающие и подбирающие рабочие органы тоματοуборочных машин тесно связаны между собой, обуславливая качество выполняемого процесса, поэтому их следует рассматривать как единый комплекс, называемый подборщиком тоματοуборочной машины.

Исходя из физико-механических свойств растений томатов и условий работы уборочных машин, эти рабочие органы должны удовлетворять следующим требованиям:

1) осуществлять низкий срез растений без повреждения плодов;

2) оказывать минимальное динамическое воздействие при подрезании и подборе куста, чтобы осыпание плодов было наименьшим;

3) иметь хорошую сепарирующую способность транспортеров, которые должны подавать на плодоотделитель растения без земли;

4) полностью подбирать плоды с земли;

5) равномерно, без сгруживаний подавать растения на поверхность плодоотделителя;

В настоящее время на тоματοуборочных машинах устанавливают подборщики трех типов:

1) с пассивными подрезающими ножами;

2) с активным подрезающим сегментным полотном;

3) с дисковым подрезающим аппаратом.

Пассивный подрезающий нож представляет собой полосу с лезвием, направленным под углом  $\gamma$  к оси ряда срезаемых растений. Были сделаны попытки использовать для подрезания растений томатов лемеха картофелекопателя с углом раствора лезвий  $2\gamma$  до  $160^\circ$  и культиваторные лапы с  $2\gamma = 60^\circ$ . Особенностью работы тоματοуборочных машин является малая глуби-

на подрезания 0—4 см. Лемеха картофелекопателя, обычно работающие на значительно большей глубине, оказались не-работоспособными, так как для срезания растений на глубине 0—4 см необходимо выполнить условие

$$\gamma < 90^\circ - \varphi. \quad (117)$$

Угол трения стебля томатов по стали  $\varphi = 57^\circ$ , отсюда  $\gamma < 33^\circ$ . Лемеха картофелекопателя, имеющие растение  $\gamma = 80^\circ$ , сгруживали растения томатов, не перерезая их.

На неровных полях не нашла применения и стрельчатая лапа, так как при глубине 0—2 см подрезание растений практически представляет подрезание стержня с односторонней опорой, для чего требуется острое лезвие. Лезвие лапы быстро затуплялось, стебли отгибались и лапа скользила вдоль них, отрезая отдельные ветви.

В настоящее время пассивный нож применяется только на томатоуборочном комбайне фирмы Блэкуелдер. Лезвие ножа установлено по конструктивным соображениям под углом  $\gamma = 45^\circ$ . Но этот комбайн может убирать томаты только на профилированной грядовой поверхности, обрабатываемой в период развития растений специальными почвообрабатывающими орудиями, которые постоянно восстанавливают профиль борозды и гряды. При этом глубина борозды по всей длине поля строго постоянна. В зависимости от влажности почвы необходимо регулировать глубину подрезания от 3 см при сухой почве, до 6 см при влажной.

Испытания этой машины на Южно-Украинской МИС показали, что ножи на ровной поверхности, особенно при сырой почве работают плохо. Растения часто выдергиваются и сгруживаются перед транспортером подборщика, нож залипает почвой.

В Саратовском институте механизации сельского хозяйства для срезания растений томатов использовали сегментный режущий аппарат косилочного типа. Были найдены следующие оптимальные параметры аппарата:

частота вращения кривошипа  $n = 502$  об/мин при поступательной скорости машины 0,73 м/с;

отношение скорости планок мотовила к скорости машины  $\lambda = 4$ ;

вылет мотовила по отношению к режущему ножу  $L = 140$  мм;

высота планки мотовила над землей  $H = 140$  мм.

При срезании растений томатов детали режущего аппарата быстро изнашиваются, так как они работают в земле. Для снижения износа и поломок ножа за рубежом применили беспальцевый режущий аппарат типа пилы (США) или колеблющихся поперек ряда лемехов (ВНР). Такие ножи могут работать только на грядовой поверхности, так как привод их должен находиться над бороздой.

Наиболее универсальными и удобными для подрезания и подбора растений томатов оказались дисковые ножи с вертикальными боковыми транспортерами над ними. Дисковый аппарат получил наибольшее распространение. Он установлен на томатоуборочных комбайнах КТ-5 и КТН-2. Дисковый подборщик-копач представлен на рис. 90.

Основными параметрами дискового аппарата являются диаметр дисков  $D$ , угол их наклона к земле  $\alpha$ , диаметр звездочки наклонного транспортера подборщика  $d_0$ , высота планки транспортера от осевой линии цепи  $h_1$ , зазор между планками подборщика и дисками  $\Delta_1$  или землей  $\Delta_2$ , наибольшая глубина подрезания растений  $h$  и межцентровое расстояние между дисками  $b$ .

Определим связь этих параметров при условии, что точка  $B$  схождения лезвий дисков находится на вертикали, касающейся полотна транспортера, а точка  $A$  — на уровне почвы, т. е. исходя из условий наименьших потерь и повреждений плодов.

Согласно схеме на рис. 90,

$$LK + KS = \frac{d_0}{2}. \quad (118)$$

Выразим составляющие этого равенства через параметры дискового аппарата

$$LK = O_2E \sin \alpha = \left( \frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_1 \right) \sin \alpha. \quad (119)$$

Из треугольников  $AEK$  и  $ABS$

$$\begin{aligned} KS = EK \operatorname{ctg} \alpha - BA \cos \alpha &= (O_2E \cos \alpha + O_2L) \operatorname{ctg} \alpha - \\ &- (D - CB - AM) \cos \alpha = \left[ \frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_2 + \right. \\ &\left. + \left( \frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_1 \right) \cos \alpha \right] \operatorname{ctg} \alpha - \left( D - 2 \frac{h}{\sin \alpha} \right) \cos \alpha. \end{aligned} \quad (120)$$

Подставив выражения (119) и (120) в формулу (118), получим

$$\begin{aligned} \left( \frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_1 \right) \sin \alpha + \left[ \frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_2 + \left( \frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_1 \right) \cos \alpha \right] \times \\ \times \operatorname{ctg} \alpha - D \cos \alpha + 2h \operatorname{ctg} \alpha = \frac{d_0}{2}. \end{aligned} \quad (121)$$

Это уравнение выражает зависимость между параметрами в вертикальной плоскости. Но на диаметр диска оказывает существенное влияние и ширина захвата  $B_3$ , равная ширине зоны расположения растений поперек ряда. Можно принимать ее равной ширине зоны расположения плодов поперек ленты.

Зависимость между шириной захвата  $B_3$ , диаметром диска  $D$  и глубиной подрезания  $h$  при тех же исходных условиях можно определить следующим образом.

Из схемы на рис. 90

$$b = \frac{B_3}{2} \quad (122)$$

и

$$\left(\frac{D}{2} - \frac{h}{\sin \alpha}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2. \quad (123)$$

Подставив выражение (122) в формулу (123), после преобразования получим

$$D = \frac{B_3^2 \sin^2 \alpha + 16h^2}{16h \sin \alpha}. \quad (124)$$

Объединив уравнения (121) и (124), получим систему двух уравнений, учитывающих параметры рабочего органа, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{\left(\frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_1\right) \sin \alpha + \left[\frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_2 + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{d_0}{2} + h_1 + \Delta_1\right) \cos \alpha\right] \operatorname{ctg} \alpha + 2h \operatorname{ctg} \alpha - \frac{d_0}{2}}{\cos \alpha}; \\ D &= \frac{B_3^2 \sin^2 \alpha + 16h^2}{16h \sin \alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (125)$$

Из этих уравнений можно определить диаметр дисков  $D$  и угол их наклона  $\alpha$ , задавшись остальными параметрами. Так, если взять звездочку транспортера с  $z_{\text{ТР}} = 8$  и  $t = 38$  мм, то получим  $d_0 \approx 100$  мм.

Высота планки  $h_1$ , зависящая от диаметра плодов  $d_{\text{пл}}$  и угла наклона транспортера  $\alpha_2$ , должна быть

$$h_1 > \frac{d_{\text{пл}}}{2} (1 - \cos \alpha_2).$$

Угол наклона транспортера  $\alpha_2$ , как установлено при испытаниях томатоборочных машин, не должен превышать  $40^\circ$ . Увеличение угла  $\alpha_2$  свыше  $40^\circ$  приводит к обратному скатыванию одиночных кустов с плодами.

На томатоборочных машинах фирм Блэкуелдер и FMC, имеющих  $\alpha_2 > 40^\circ$ , над транспортером установлены цепи, которые нижней свисающей ветвью прижимают кусты к полотну транспортера. Практически принимают  $h_1 = 20 \div 25$  мм. Иногда применяют зубчатые планки из мягкой резины. Высота впадин

таких планок над поверхностью транспортера 15—20 мм, а зубцов 30—40 мм. Мягкие планки предохраняют транспортер от поломок и повышают его транспортирующую способность.

Зазоры  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  следует принимать не менее 10 мм, так как толщина диска 6—8 мм.

Чтобы не образовывались крупные комки при подрезании слоя почвы, глубина подрезания должна быть минимальной. Если посмотреть на профиль борозды, образованной дисками, то видно, что глубина подрезания по ширине ленты изменяется от 0 до  $h$ . Комки почвы толщиной до 4 см легче удалить на прутковом транспортере (толщина 4 см выбрана исходя из стандарта на круглые плоды).

Следовательно, желательно, чтобы  $h < 4$  см. При ровном микрорельефе получается  $h = 4 \pm 2$  см.

При  $d_0 = 100$  мм,  $h_1 = 30$  мм,  $\Delta_1 = \Delta_2 = 10$  мм,  $h = 40$  мм и  $B_3 = 1200$  мм получим диаметр диска  $D = 820$  мм и угол  $\alpha = 17,5^\circ$ .

Угол  $\alpha$  отличается от угла  $\alpha_2$  наклона транспортера, поэтому за дисками на транспортере ставят звездочку, позволяющую цепи транспортера иметь два угла наклона. Опытами установлено, что транспортер может быть расположен на расстоянии 3—5 см от вертикали  $BS$ .

Диски выполняют две операции: подрезание и подбор растений с последующей передачей их на транспортер. В связи с этим кинематический режим дисков должен удовлетворять условию резания со скольжением и условию равномерной подачи срезанной массы на наклонный транспортер. Определим кинематический режим дисков исходя из первого условия. При рассмотрении подрезания растений томатов лезвиями лемехов картофелекопателей было найдено, что для перерезания стеблей в почве со скольжением необходимо выполнить условие

$$\gamma < 90^\circ - \varphi,$$

где  $\gamma$  — угол между направлением движения ножа и его лезвием.

При работе дисковых ножей этот угол образуется касательной к диску в точке резания и направлением абсолютной скорости резания в этой же точке, т. е.  $\gamma$  — это угол между окружной и абсолютной скоростями диска в точке резания.

Поступательная скорость машины  $v_m$  обычно определяется пропускной способностью плодоотделителя или переборочных столов, если на комбайне предусмотрена полная доработка плодов. Будем считать ее заданной.

Определим зависимость между окружной скоростью диска в точке  $A$ , скоростью машины и углом  $\gamma$ , приняв угол наклона диска к земле  $\alpha = 0$ . При таком допущении получается ошибка в расчетах в пределах 5%, но упрощаются выводы.

Из схемы на рис. 136

$$v_m = v_{окр} \sin \beta - v_a \sin(\beta - \gamma),$$

отсюда

$$\gamma = \beta + \arcsin \left( \frac{v_m - v_{окр} \sin \beta}{v_a} \right). \quad (126)$$

Из треугольника  $ABC$  абсолютная скорость диска в точке резания

$$v_a = \sqrt{v_{окр}^2 + v_m^2 - 2v_{окр}v_m \cos(90 - \beta)}. \quad (127)$$

Подставляя значение скорости  $v_a$  из выражения (127) в зависимость (126) и учитывая условие (117), получаем

$$\gamma = \beta + \arcsin \left( \frac{v_m - v_{окр} \sin \beta}{\sqrt{v_{окр}^2 + v_m^2 + 2v_{окр}v_m \sin \beta}} \right) < 90^\circ - \varphi, \quad (128)$$

где

$$\beta = \arcsin \frac{b-c}{D}.$$

При уменьшении скорости лезвия дисков угол  $\gamma$  увеличивается и при определенном соотношении между  $v_m$  и  $v_{окр}$  резание

будет не скользящим, а нормальным. Решая неравенство (128) графически или аналитически, можно определить минимальное значение скорости  $v_{окр}$ , чтобы выполнялось резание со скольжением.

Если принять  $c = 0,4$  м,  $b = 0,6$  м,  $v_m = 0,8$  м/с, то по формуле (128) получим, что скорость лезвия дисков  $v_{окр}$  должна быть больше 1,4 м/с.

Лезвия дисков в почве очень быстро затупляются, поэтому они должны быть

Рис. 136. План скоростей в точке резания

износостойкими, самозатачивающимися и кроме того, иметь наплавку или наплавку из высокопрочных материалов. На отечественных машинах на диски наклепаны сегменты с вырезами, имеющие сормайтовую наплавку.

На американской машине фирмы FMC установлены тупые диски с вырезами. Такой аппарат не режет, а сламывает или выдергивает растение при достаточной глубине резания. При малой глубине резания (1—2 см) наблюдается очесывание кустов, что неблагоприятно сказывается на дальнейшем технологи-

ческом процессе, так как осыпавшиеся плоды необходимо выбрать вручную.

Диски, наряду с функцией подрезания, выполняют роль транспортирующего рабочего органа, так как подрезанные растения подбираются и перемещаются ими с помощью боковых транспортеров к наклонному. Кусты при прохождении между боковыми транспортерами (рис. 137) не должны тормозиться

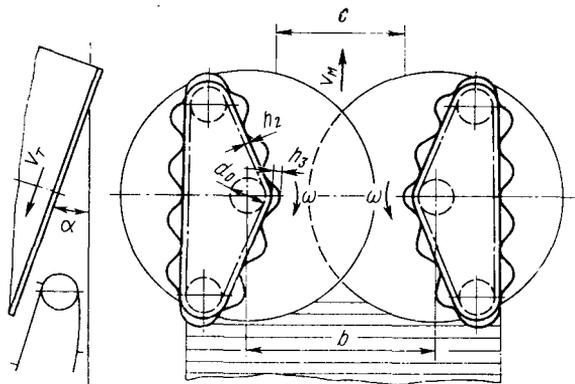


Рис. 137. Схема дискового аппарата

и растаскиваться, так как это вызывает дополнительное осыпание плодов. Скорость растений на дисковом аппарате фактически определяется скоростью боковых транспортеров  $v_T$ , так как стебли сжимаются этими транспортерами.

$$v_T = \frac{v_M}{\cos \alpha}.$$

Исходя из этого частота вращения диска (см. рис. 137)

$$n_d = \frac{30v_T}{\pi \left( \frac{d_0}{2} + h_2 \right)} = \frac{30v_M}{\pi \left( \frac{d_0}{2} + h_2 \right) \cos \alpha}.$$

Скорость лезвия диска

$$v_{\text{окр}} = \frac{\pi D n_d}{60} = \frac{D}{(d_0 + 2h_2) \cos \alpha} v_M. \quad (129)$$

Скорость лезвия диска, рассчитанная по формуле (129), в 5—6 раз больше необходимой для резания со скольжением.

Неотъемлемой частью дискового и сегментного подборщиков является устрйоство для отделения захваченной почвы, которое должно полностью удалять почву, неотсепарированную на наклонном транспортере, и передавать кусты томатов на плодотделитель без осыпания плодов.

Известны почвоотделители трех типов (рис. 138, а—г): барабанные, щелевые и прутковые.

Баранный почвоотделитель (рис. 138, *а*) состоит из двух наклонных прутковых транспортеров, между которыми расположен барабанный подборщик с убирающимися жесткими пальцами, а под ним — поперечный транспортер.

Кусты с первого транспортера перебрасываются на второй с помощью пальцевого барабана, а почва и осыпавшиеся плоды поступают на поперечный транспортер, а затем на переборочные столы для выбора плодов. Такая конструкция почвоотделителя предполагает двойной подбор кустов: сначала с поля, а затем

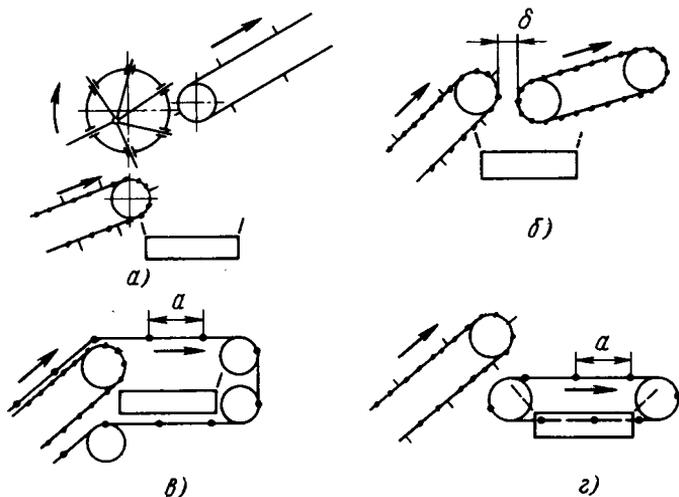


Рис. 138. Почвоотделители:

*а* — барабанный; *б* — щелевой; *в* и *г* — прутковые

с первого транспортера, что может вызвать дополнительное осыпание плодов. Конструкция этого почвоотделителя сложна.

Щелевой почвоотделитель (рис. 138, *б*) наиболее прост по конструкции. Он состоит из двух наклонных и одного поперечного транспортеров. Между наклонными транспортерами имеется щель, достаточная для прохода почвы и осыпавшихся при подборе плодов, но не пропускающая кусты томатов. Захваченная почва проваливается в щель на поперечный транспортер, а кусты свободно проходят над щелью. Регулируя ширину щели, можно добиться ее оптимального размера для определенных почвенных условий. Почвоотделитель испытан на комбайнах КТ-5. При этом почва удалялась полностью, а дополнительное осыпание плодов составляло 1—3%.

При работе такого почвоотделителя может быть случай, когда кисть с плодами опускается в щель со скоростью  $v_1$  первого транспортера, а затем испытывает рывок вверх и начинает двигаться со скоростью  $v_2$  второго транспортера. В этом случае

каждый плод кисти испытывает импульс силы (кисть и плоды приняты абсолютно жесткими), под действием которого могут оторваться все плоды:

$$S_{\max} = m(v_1 + v_2).$$

Однако практически ветви, кисть и плоды упруги, разность скоростей невелика, и следовательно, действительный импульс силы  $S$  не опасен.

Прутковый почвоотделитель может быть двух вариантов: без перепада и с перепадом кустов (рис. 138, *в* и *г*).

Почвоотделитель первого варианта (рис. 138, *в*) представляет собой систему двух наклонных (внешнего и внутреннего) прутковых транспортеров и одного поперечного.

Внутренний наклонный транспортер имеет просвет между прутками меньше диаметра плода томатов. У внешнего просвет между прутками достаточный для прохода почвенных примесей, но мал для прохода кустов томатов. Скорости обоих транспортеров одинаковые.

Внутренний транспортер имеет только наклонную часть, а внешний — еще и горизонтальную, расположенную над поперечным транспортером.

При работе комбайна подрезанные и подобранные кусты и почва с осыпавшимися плодами располагаются на внутреннем транспортере. Прутки наклонной части внешнего транспортера выполняют роль планок, препятствующих обратному скатыванию плодов.

Почва и осыпавшиеся плоды подаются внутренним транспортером к поперечному, а стебли с плодами висают на планках внешнего транспортера и подаются на плодоотделитель.

На таком почвоотделителе куст не испытывает дополнительных динамических нагрузок, так как при выделении почвы он не меняет своего положения на внешнем транспортере.

Расстояние между планками внешнего транспортера необходимо выбирать исходя из размеров куста. Наихудшее расположение куста на поверхности транспортера будет, когда главный стебель его размещается по ходу транспортера поперек планок, так как у детерминантных сортов томатов главный стебель короче боковых ветвей. Чтобы куст не проскочил между планками, его главный стебель должен опереться не менее чем на две из них. Следовательно, расстояние  $a$  между планками должно быть менее половины длины главного стебля  $a < \frac{l}{2}$ . Длина главного стебля у детерминантных сортов томатов  $l = 35 \div 60$  см. Значит,  $a < 175$  мм. Конструктивно при шаге цепи  $t = 38$  мм удобно принять  $a = 4t = 152$  мм. На всех томатоборочных машинах с подобным почвоотделителем выбрано именно такое расстояние между планками.

Отрыв плодов на прутковом почвоотделителе наименее возможен. Неотделившиеся от куста плоды, расположенные снизу подаваемого слоя, при сходе с внутреннего транспортера под действием веса  $G$  опускаются вниз, зависая на кистях. Кисть с плодами колеблется под поверхностью внешнего транспортера около точки крепления кисти к стеблю как маятник (рис. 139).

Первоначально кисть отклонена на угол  $\varphi_0$  от вертикали, затем, опускаясь, кисть занимает положения с отклонением на текущий угол  $\varphi$ . При этом усилие, действующее на плод,

$$F = G \cos \varphi + F_{\text{ин.п}} = G \cos \varphi + 2G(\cos \varphi - \cos \varphi_0),$$

где  $F_{\text{ин.п}}$  — сила инерции плода.

При  $\varphi_0 = 90^\circ$  и  $\varphi = 0$   $F_{\text{max}} = 3G$ , что меньше минимального значения усилия отрыва плода от кисти.

Второй вариант пруткового почвоотделителя (см. рис. 138, з) проще первого, так как здесь транспортер с большим просветом между планками значительно короче. Характер отделения почвы такой же, как и на предыдущем отделителе, с той лишь разницей, что кусты томатов переходят с одного транспортера на другой, что может вызвать дополнительное осыпание плодов при проходе одиночных кустов. Однако при непрерывном связанном потоке стеблей осыпания не наблюдается.

Из рассмотренных подборщиков дисковый со щелевым или прутковым почвоотделителем наиболее полно удовлетворяет требованиям к этим рабочим органам: срезает растения под землей без повреждения плодов; при перерезании и подборе воздействует на куст мягко, так как не имеет ударяющих рабочих органов типа мотвила; почвоотделители полностью удаляют свободную почву;

не имеет потерь плодов; равномерно подает кусты даже при затуплении ножей; хорошо работает как на грядовой, так и на ровной поверхности.

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ПЛОДОВ ОТ СТЕБЛЕЙ

Для отделения плодов томатов от стеблей наиболее перспективными оказались инерционные встряхивающие рабочие органы и в настоящее время на комбайнах установлены плодотделители двух типов: транспортерно-грохотные и клавишные (см. гл. II).

Транспортерно-грохотные плодоотделители, например комбайнов КТ-5 и фирмы ФМС, представляют собой прутковый транспортер, огибающий параллелограммный механизм. Одно звено механизма приводится в колебательное движение при помощи шатунного вала. Часть транспортера над этим звеном также колеблется, передавая колебания кустам томатов, находящимся на его поверхности.

Рассмотрим процесс отделения плодов. Куст томатов схематически можно представить в виде жесткого скелета, состоящего

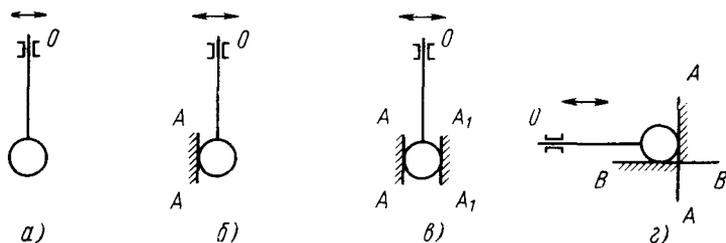


Рис. 140. Возможные положения плодов в начале плодоотделения:  
*a* — свободно висит; *б* — имеет одностороннюю боковую опору; *в* — зажат стеблями и листьями; *г* — имеет вертикальную и горизонтальную опоры

из главного стебля и боковых побегов, к которым прикреплены на гибких нитях плоды. Листья заполняют пространство между ветвями, образуя очень рыхлый амортизационный слой.

Куст при машинной уборке подается без определенной ориентации на рабочую поверхность плодоотделителя, которая представляет собой решетку, состоящую из планок с вертикальными штырями. Планки расположены перпендикулярно направлению колебаний и переплетены продольной гибкой нитью. Колебания плодоотделителя — гармонические. Процесс отделения плодов на таком плодоотделителе сложен и случаи отрыва плодов от стеблей очень разнообразны в зависимости от расположения плодов относительно планок плодоотделителя, стеблей и листьев растений, прочности и угла крепления плода к кисти и ряда других причин.

Анализ результатов скоростной съемки показывает, что для того чтобы понять процесс плодоотделения, достаточно рассмотреть следующие положения плодов (рис. 140, *a—г*):

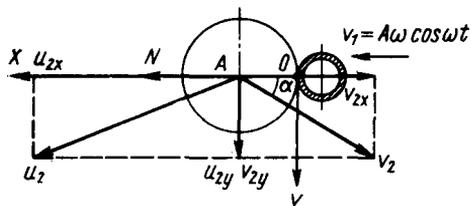
- 1) свободно свисают на кистях под планками;
- 2) свисают на кистях, но имеют вертикальное одностороннее ограничение движения (планки плодоотделителя, слой листьев, стебли и др.);
- 3) зажаты листьями и стеблями;
- 4) лежат на слое листовенно-стебельной массы.

Первое положение относится в основном к плодам нижней части обрабатываемого слоя, второе и третье — к плодам в середине слоя и четвертое — к плодам в средней и верхней частях

слоя. При тонком слое и слабой облиственности куста плоды в основном располагаются на уровне или ниже планок.

Штыри планок плодоотделителя во время падения куста пронизывают его и предотвращают горизонтальное смещение при колебаниях с достаточно большими амплитудами ( $A = 50 \div 70$  мм). При этом небольшими перемещениями куста относительно рабочей поверхности при теоретическом анализе можно пренебречь.

Найдем прежде всего максимально допустимые кинематические режимы плодоотделителя исходя из прочностных свойств плода. Для этого рассмотрим случай соударения плода с планкой (рис. 141), который может возникнуть при падении плода



с подборщика на плодоотделитель; при колебании между планками, когда он еще не отделился от кисти, и наконец, при его прохождении сквозь плодоотделитель после отрыва.

Рис. 141. Случай соударения плода с планкой при горизонтальных гармонических колебаниях плодоотделителя

Скорость плода  $v_2$  в момент соударения составляет угол  $\alpha$  с линией движения центра сечения планки. Скорость планки  $v_1 = A\omega \cos \omega t$ .

Примем, что ось  $OX$  совпадает с линией, проходящей через центры плода и сечения планки, а точка соударения — с началом координат  $O$ . Скорости планки и плода примем встречными, т. е. рассматриваем наиболее неблагоприятный случай. Вследствие кратковременности действия ударного импульса будем считать, что за время удара скорость планки не меняется.

В рассматриваемом случае сила нормального давления  $N$  направлена вдоль оси  $OX$ , и следовательно, проекция скорости плода на эту ось изменится так же, как и при прямом ударе двух не вполне упругих тел, т. е.

$$u_{2x} = q(v_1 - v_{2x}) + v_1,$$

где  $q$  — коэффициент восстановления;

$v_{2x} = -v_2 \cos \alpha$  — проекция скорости плода на ось  $OX$ .

Проекция скорости плода на ось  $OY$  не изменяется, т. е.

$$u_{2y} = v_{2y} = v_2 \sin \alpha.$$

Ударный импульс, испытываемый плодом,

$$S = m(u_{2x} - v_{2x}) = m(1 + q)(v_1 + v_2 \cos \alpha).$$

Этот ударный импульс должен быть меньше критического. За критический импульс  $S_{кр}$  примем такой, выше которого плод разрушается, т. е. можно считать, что коэффициент восстанов-

ления до критического импульса не изменяется.

$$S_{кр} = m(1 + q)v_{кр} = m(1 + q)\sqrt{2gH},$$

где  $H_{кр}$  — высота свободного падения плода на испытываемую поверхность, выше которой происходит его разрушение.

Чтобы плоды не повреждались на плодоотделителе, необходимо соблюдать следующее условие:

$$S < S_{кр}$$

или, если подставить их значения и произвести преобразования, то

$$v_1 = A\omega \cos \omega t \leq \sqrt{2gH_{кр}} - v_2 \cos \alpha. \quad (130)$$

Для крупных плодов районированных сортов  $H_{кр} = 10 \div 15$  см при падении на сталь или дерево и до 25 см при падении на поверхность, покрытую губчатой резиной. При падении с высоты 25 см на дерево количество поврежденных плодов увеличивается до 10%. Однако круглоплодные томаты сортов для машинной уборки более прочные и для них можно принять  $H_{кр} = 25$  см; для сливовидных томатов  $H_{кр} = 40 \div 75$  см при падении на дерево и сталь в зависимости от размера.

При крайне неблагоприятных условиях, когда скорость планки в момент соприкосновения с плодом максимальная, т. е.  $v_1 = A\omega$ , угол  $\alpha = 0$  и  $v_1 = v_2$  (это возможно при колебании плода между двумя планками), выражение (130) принимает следующий вид:

$$v_1 \leq \sqrt{0,5gH_{кр}}. \quad (131)$$

Подставив в зависимость (131) значение  $H_{кр}$  для плодов машинных сортов, получим

$$v_1 \leq \sqrt{0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,25} = 1,11 \text{ м/с},$$

а для сливовидных

$$v_1 \leq \sqrt{0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,4} = 1,4 \text{ м/с}.$$

Экспериментально установлено, что амплитуда колебаний плодоотделителя должна быть  $A \geq 40$  мм.

Минимальная круговая частота колебаний плодоотделителя при  $A = 0,05$  м должна быть

$$\omega_{\min} \leq \frac{v_1}{A} = \frac{1,11}{0,05} = 22,2 \text{ 1/с}$$

или

$$n_{\min} \leq \frac{30\omega_{\min}}{\pi} = 212 \text{ об/мин},$$

а максимальная

$$\omega_{\max} \leq \frac{1,4}{0,05} = 28 \text{ 1/с}$$

или

$$n_{\max} \leq \frac{30 \cdot 28}{\pi} = 267 \text{ об/мин.}$$

В рассмотренном расчете взят редкий наиболее неблагоприятный случай соударения плода с планкой. Следовательно, кинематические режимы плодоотделителя можно повысить.

Найдем кинематические режимы плодоотделителя, необходимые для отрыва плодов от кисти.

Для свободно свисающих плодов можно принять, что во время горизонтальных колебаний плодоотделителя плод колеблется относительно точки крепления кисти к стеблю, если кисть свободно свисает, или относительно точки крепления ответвления кисти, на которой непосредственно крепится плод, если ствол кисти зажат.

У крупноплодных сортов (Волгоградский 5/95, Колхозный 34) кисть короткая и жесткая, поэтому некоторые исследователи принимают для них за точку, относительно которой колеблется плод, место крепления плодоножки к кисти.

Эту точку назовем точкой подвеса, а плод с кистью или частью ее примем за маятник, колеблющийся относительно точки подвеса, т. е. имеем маятник с подвижной подвеской.

Длина маятника  $l$  включает длину кисти  $l_k$  (или части кисти), длину плодоножки  $l_n$  и половину высоты плода  $\frac{l_{пл}}{2}$

$$l = l_k + l_n + \frac{l_{пл}}{2}.$$

Длина маятника может равняться нулю, когда плод зажат между стеблями, и быть максимальной, когда вся кисть свободно свисает, а плод находится на ее конце.

Анализ колебаний маятника с подвижной подвеской подробно проведен в исследованиях Г. П. Варламова (ВИСХОМ). Согласно этому анализу дифференциальное уравнение движения плода имеет следующий вид:

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \sin \varphi - \frac{1}{l} (\ddot{x}_0 \cos \varphi + \ddot{y}_0 \sin \varphi) = 0,$$

где  $\varphi$  — угол отклонения маятника от вертикальной оси;  $x_0$  и  $y_0 = f(t)$  — координаты точки подвеса в неподвижной системе, которые в рассматриваемом случае будут  $x_0 = A \sin \omega t$  и  $y_0 = 0$ .

Это уравнение имеет явное решение в квадратурах только при небольших отклонениях маятника, когда можно принять  $\sin \varphi \approx \varphi$ , а  $\cos \varphi \approx 1$ .

Однако анализ результатов скоростной киносъемки процесса плодоотделения показал, что уже при первых колебаниях плод отклоняется на угол  $\varphi \geq 90^\circ$  и в дальнейшем отрывается в результате действия импульса силы.

Проанализируем процесс отрыва плодов с учетом результатов скоростной киносъемки (рис. 142).

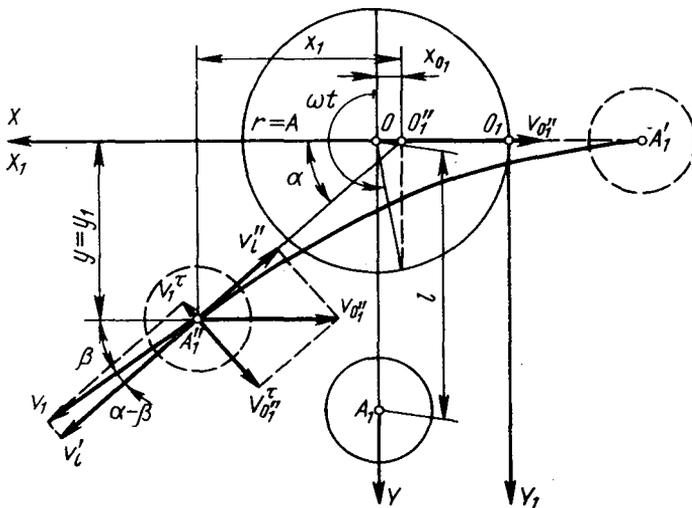


Рис. 142. Схема процесса плодоотделения для свободно свисающих плодов

При этом период раскачивания плода, который занимает очень короткий промежуток времени, не рассматриваем. Характер последующих колебаний, как показала скоростная съемка, не зависит от характера раскачивания, и следовательно, им можно пренебречь для упрощения анализа.

Выберем неподвижную  $XOY$  и переносную  $X_1O_1Y_1$  системы координат. Пусть закон движения рабочей поверхности, представленной на схеме точкой  $O_1$  — точкой подвеса маятника, будет

$$x_{O_1} = A \sin \omega t, \quad (132)$$

где  $A$  — амплитуда колебаний.

Координаты центра тяжести плода в неподвижной системе координат выразятся следующим образом:

$$x = x_{O_1} + x_1; \quad y = y_{O_1} + y_1,$$

где  $x_1$  и  $y_1$  — координаты центра тяжести плода в переносной системе координат.

В нашем случае  $y_{O_1} = 0$ , т. е.  $y = y_1$ .

Как уже упоминалось, маятник в начале колебаний отклоняется от вертикали на угол  $\varphi \geq 90^\circ$ , т. е. принимает горизон-

тальное положение, и при этом имеет скорость точки подвеса (поверхности плодоотделителя).

$$\dot{x}_{O_1} = A\omega \cos \omega t.$$

Плод со скоростью  $x_{O_1, \max} = A\omega$ , вследствие гибкой связи, летит по инерции, отклоняясь от горизонтали под действием силы тяжести  $G = mg$ .

Уравнение движения плода при этом будет следующее:

$$\left. \begin{aligned} x &= -l + A\omega t; \\ y &= \frac{gt^2}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (133)$$

или

$$y = \frac{g}{2} \left( \frac{x+l}{A\omega} \right)^2. \quad (134)$$

Плод летит свободно на расстояние, равное длине маятника. В момент преодоления этого расстояния происходит импульсный рывок.

Определим время свободного полета плода из системы трех уравнений:

$$\begin{aligned} x &= -l + A\omega t; \\ y &= \frac{gt^2}{2}; \\ (x - A \sin \omega t)^2 + y^2 &= l^2. \end{aligned}$$

Последнее уравнение системы является уравнением окружности радиусом  $l$  в абсолютной системе координат, центр которой колеблется по закону  $x_{O_1} = A \sin \omega t$ .

Эту систему можно привести к следующему уравнению:

$$(l - A\omega t + A \sin \omega t)^2 + \left( \frac{gt^2}{2} \right)^2 - l^2 = 0,$$

которое решается графически и имеет два корня:

$t_0 = 0$  для всех значений длины маятника и  $t_1$ , зависящий от длины маятника и кинематических режимов.

Подставив значение  $t_1$  в выражения (132) или (133), найдем координаты точек  $O_1'' (A \sin \omega t_1; 0)$  и  $A_1'' (-l + A\omega t_1; \frac{gt_1^2}{2})$ .

Уравнение прямой, проходящей через две точки, выражается следующим образом:

$$\frac{x - x_{O_1''}}{x_{A_1''} - x_{O_1''}} = \frac{y - y_{O_1''}}{y_{A_1''} - y_{O_1''}},$$

где  $x_{A_1''}$ ,  $y_{A_1''}$ ;  $x_{O_1''}$ ,  $y_{O_1''}$  — координаты соответствующих точек  $A_1''$  и  $O_1''$  в неподвижной системе координат  $XOY$ .

Уравнение прямой  $O_1''A_1''$  будет

$$y = \frac{gt_1^2(x - A \sin \omega t_1)}{2(A\omega t_1 - l - A \sin \omega t_1)}.$$

Прямая  $O_1''A_1''$  с осью  $OX$  образует угол

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{dy}{dx} \right) = \operatorname{arctg} \left[ \frac{gt_1^2}{2(A\omega t_1 - l - A \sin \omega t_1)} \right].$$

Определим импульс силы во время рывка

$$S = m(\dot{v}_i'' - \dot{v}_i'), \quad (135)$$

где  $m$  — масса плода;

$\dot{v}_i'$  — проекция скорости плода на нить маятника к моменту рывка;

$\dot{v}_i''$  — проекция скорости точки подвеса на нить маятника.

Как видно из рис. 142,

$$\dot{v}_i' = v_1 \cos(\alpha - \beta),$$

где  $v_1$  — скорость плода к моменту рывка;

$\beta$  — угол между вектором скорости  $v_1$  и осью  $OX$ .

Модуль скорости

$$v_1 = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \sqrt{(A\omega)^2 + (gt_1)^2}.$$

Направление вектора скорости определяем, исходя из уравнения (134)

$$\beta = \operatorname{arctg} \left( \frac{dy}{dx} \right) = \operatorname{arctg} \left( \frac{gt_1}{A\omega} \right).$$

Отсюда

$$\dot{v}_i' = \sqrt{(A\omega)^2 + (gt_1)^2} \cos \left\{ \operatorname{arctg} \left[ \frac{gt_1^2}{2(A\omega t_1 - l - A \sin \omega t_1)} \right] - \operatorname{arctg} \left( \frac{gt_1}{A\omega} \right) \right\}.$$

Конечная скорость плода при условии неупругой связи с точкой подвеса будет

$$\dot{v}_i'' = \dot{x}_{O_1} \cos \alpha = A\omega \cos \omega t_1 \cos \left[ \operatorname{arctg} \left( \frac{gt_1^2}{2(A\omega t_1 - l - A \sin \omega t_1)} \right) \right].$$

Из-за кратковременности импульса примем, что векторы скоростей  $\dot{v}_i'$  и  $\dot{v}_i''$  за время рывка не изменяются по величине

и направлению. Тогда, подставив значения этих скоростей в выражение (135), получим

$$S = m [A\omega \cos \omega t_1 \cos A' - \sqrt{(A\omega)^2 - (gt_1)^2} \cos(A' - B')], \quad (136)$$

где

$$A' = \arctg \left[ \frac{gt_1^2}{2(A\omega t_1 - l - A \sin \omega t_1)} \right];$$

$$B' = \arctg \left( \frac{gt_1}{A\omega} \right).$$

Рывок возможен и при горизонтальном расположении маятника в случае, когда в начальном положении  $\varphi > 90^\circ$ . В этом случае максимальное значение импульса

$$S_{\max} = 2mA\omega. \quad (137)$$

Расчеты показывают, что при  $A\omega = 1,1$  м/с,  $A = 0,05$  м,  $l = 0,05 \div 0,1$  м и весе плода  $G = 0,06$  кгс возникающий импульс больше среднего импульса отрыва плодов томатов, определяемого по формуле

$$S = \frac{1}{2} F\tau,$$

где  $F$  — среднее усилие отрыва плода от кисти;

$\tau$  — время отрыва;  $\tau = (4,5 \div 7,1) 10^{-3}$  с.

Анализ остальных случаев расположения плодов показывает, что они также отрываются в результате импульсного рывка, максимальное значение которого  $S_{\max} = 2mA\omega$ .

Случай, когда плод плотно зажат стеблями в течение всего времени расположения его на плодоотделителе, встречается редко. Чаще всего в процессе колебаний, вследствие рыхлости листовенно-стебельного слоя, плод меняет свое положение и принимает одно из рассмотренных.

Таким образом, кинематические режимы, удовлетворяющие условию неповреждения плодов, удовлетворяют и условию его отрыва.

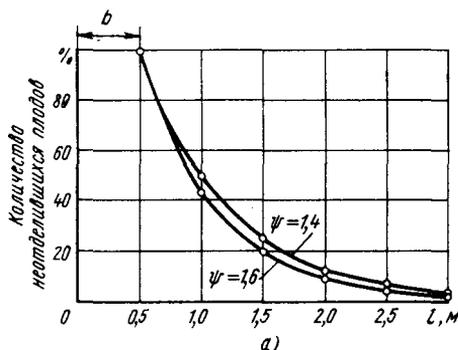
Плоды, имеющие слабую связь с кистью, отрываются сразу при падении на поверхность плодоотделителя или после нескольких колебаний. Плоды, расположенные неблагоприятно, требуют определенного времени для отрыва от кисти и сепарации через поверхность плодоотделителя.

Лабораторными опытами установлено, что для отделения плодов на отдельных кустах достаточно 3—5 с. Для проверки этого были проведены опыты на транспортерно-грохотном плодоотделителе длиной 2,5 м при скорости транспортера 0,5 м/с.

В результате опытов определили закономерность плодоотделения по длине плодоотделителя (рис. 143, а).

$$K_{н.п} = \mu e^{-\psi(l-b)}, \quad (138)$$

- где  $l$  — расстояние от начала плодоотделителя в м;  
 $K_{н.п.}$  — количество неотделившихся плодов в % на участке плодоотделителя, расположенном на расстоянии  $l$  от его начала;  
 $\mu = 100\%$  — постоянный коэффициент, показывающий количество неотделившихся плодов в поступающем на обработку слое. Если за 100% принять количество плодов перед уборкой, то  $\mu = 100 - \Delta$ , где  $\Delta$  — количество плодов, осыпавшихся до поступления на плодоотделитель;  
 $\psi$  — показатель, зависящий от подачи плодостебельного слоя, который при оптимальных кинематических режимах и подаче и допустимых потерях плодов не более 2% равен 1,6—1,7;  
 $b$  — перекрытие плодоотделителя подающим транспортером (в рассматриваемом опыте  $b = 0,5$  м).



Оптимальная подача плодостебельного слоя томатов, как показали опыты, может колебаться в больших пределах (5—10 кг/с) в зависимости от сорта, развития кустов, их обильности, прочности крепления плодов и некоторых других причин.

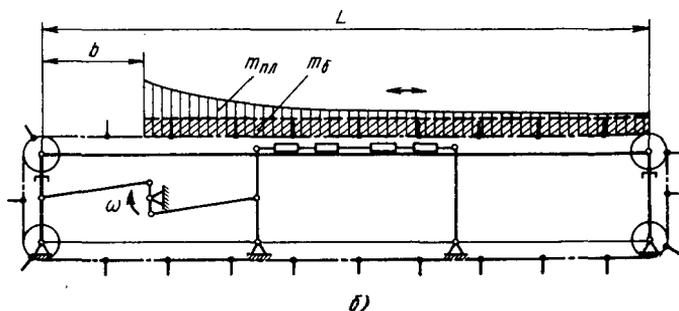


Рис. 143. Распределение плодов по длине  $L$  плодоотделителя в процессе плодоотделения при оптимальных кинематических режимах:

$a$  — количество плодов, оставшихся на плодоотделителе;  $b$  — расчетная схема транспортерно-грохотного плодоотделителя с учетом обрабатываемой плодостебельной массы

Исходя из допустимой подачи  $q_1$  на плодоотделитель, массы куста с плодами  $m_k$ , двухстрочной схемы посадки и шага посадки  $t_{п.}$ , можно определить допустимую поступательную скорость

уборочной машины

$$v_m = \frac{q_1 t_n}{2m_k}.$$

Так, при шаге посадки  $t_n = 0,3$  м,  $m_k = 1,3$  кг скорость машины  $v_m = 0,58 \div 1,16$  м/с.

В настоящее время для повышения пропускной способности проводят ряд мероприятий конструктивного характера — удлиняют и активизируют плодоотделитель. Так, фирма FMC наряду с удлинением плодоотделителя предусмотрела «каскад», который должен способствовать обороту куста, а на отечественных машинах для этой цели над плодоотделителем установлены пальчатые барабаны.

Опыты показывают, что при работе транспортерно-грохотного плодоотделителя с барабанами машина может перемещаться со скоростью 1,2—1,3 м/с даже при уборке трудно отделяющихся сортов типа Машинный 1.

Зная закономерность плодоотделения томатов по длине плодоотделителя, можно определить массу плодов и стеблей, постоянно находящихся на плодоотделителе в процессе его работы (рис. 143, б).

Пусть  $q_1$  — подача плодостебельной массы на плодоотделитель, а  $\lambda$  — стеблестость растений томатов в период уборки, тогда подача только плодов составит

$$q_{пл} = q_1 \frac{1}{1 + \lambda},$$

а ботвы

$$q_б = q_1 \frac{\lambda}{1 + \lambda}.$$

Поскольку количество ботвы на плодоотделителе не изменяется по его длине, то масса ее будет:

$$m_б = q_б \frac{L-b}{v} = q_1 \frac{(L-b)\lambda}{(1+\lambda)v},$$

где  $v$  — скорость транспортера плодоотделителя;

$L$  — длина рабочей поверхности плодоотделителя.

Если бы куст не встряхивался, то на поверхности транспортера находилось бы постоянное количество плодов

$$m'_{пл} = q_{пл} \frac{L-b}{v} = q_1 \frac{L-b}{(1+\lambda)v}.$$

Однако количество плодов, оставшихся на плодоотделителе, находится в экспоненциальной зависимости от его длины [см. зависимость (138)]. Следовательно,

$$m_{пл} = m'_{пл} \frac{\int_b^L \mu e^{-\psi(x-b)} dx}{\mu(L-b)},$$

или после решения и подстановки

$$m_{пл} = \frac{q_1}{(1 + \lambda)v\psi} [1 - e^{-\psi(L-b)}].$$

Отсюда масса кустов с плодами, которую необходимо учитывать при уравнивании плодоотделителя,

$$m_k = \frac{q_1}{v(1 + \lambda)} \left\{ (L-b)\lambda + \frac{1}{\psi} [1 - e^{-\psi(L-b)}] \right\}. \quad (139)$$

Клавишные плодоотделители томатоборочных машин бывают одно- или двухвальными и состоят из 10—12 клавиш. Шейки колена соседних клавиш смещены одна относительно другой на 180° и их оси расположены в одной плоскости, так как коленчатый вал плоский, а не пространственный.

Работа клавишного плодоотделителя томатоборочного комбайна аналогична работе клавишных соломотрясов зерноуборочных комбайнов.

Чтобы понять процесс отрыва плодов томатов на клавишном плодоотделителе, рассмотрим сначала работу решетки, аналогичной поверхности транспортерно-грохотного плодоотделителя, которая имеет вертикальные гармонические колебания  $x = A \sin \omega t$ . При этом принимаем следующие допущения:

- 1) все ветви куста, когда он находится на решетке, полностью разделяют ее движение;
- 2) при соударении с решеткой куст и плоды мгновенно приобретают скорость решетки;
- 3) воздух не оказывает влияния на движение куста.

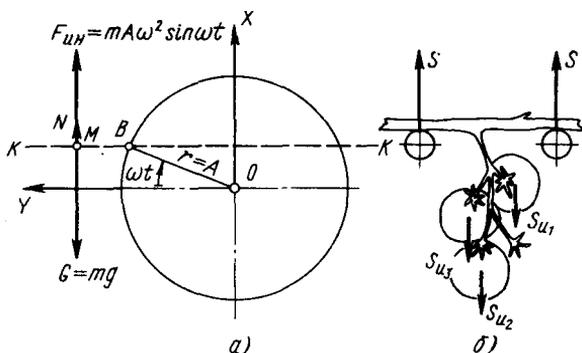


Рис. 144. Вертикальные гармонические колебания решетки с кустом томатов на ней:

*a* — схема сил, действующих на любую частицу куста; *б* — момент соударения куста с решеткой

Таким образом, можно считать, что на любую частицу куста будут действовать силы (рис. 144, *a*): вес частицы  $G$ ; реакция поверхности  $N$  и сила инерции  $F_{ин} = mA\omega^2 \sin \omega t$  от переносного движения.

Условие равновесия частицы на решетке выразится так:

$$N = mA\omega^2 \sin \omega t - mg = 0.$$

Частица все время будет находиться на решетке, если  $N \geq 0$  при максимальном значении силы инерции. Этому состоянию частицы соответствует кинематический режим

$$A\omega^2 \leq g.$$

Наибольшее значение реакции поверхности будет в нижнем положении решетки, когда направление действия силы инерции совпадает с направлением веса частицы. В этом случае  $N \leq 2mg$  в зависимости от кинематического режима.

Плоды подвешены к ветке, опирающейся на планки. Следовательно, на плодоножку со стороны плода действует сила, равная реакции опоры, но противоположно направленная.

Данный кинематический режим плодоотделителя не обеспечивает отрыв всех плодов.

При  $N = 0$  частица теряет связь с решеткой. Фаза отрыва частицы от поверхности решетки будет

$$\omega t_1 = \arcsin \frac{1}{k},$$

где  $k = \frac{A\omega^2}{g}$  — показатель кинематического режима плодоотделителя.

С момента отрыва частица летит как тело, брошенное вертикально вверх со скоростью  $v_2 = A\omega \cos \omega t_1$ .

Для определения момента  $t_3$  соударения частицы с решеткой решаем совместно уравнения их движения.

Уравнение движения решетки

$$x_1 = A \sin \omega t;$$

уравнение движения частицы

$$x_2 = A \sin \omega t_1 + A\omega(t-t_1) \cos \omega t_1 - \frac{g(t-t_1)^2}{2}.$$

В момент  $t_3$   $x_1 = x_2$ . Следовательно,

$$\omega t_3 = \omega t_1 + \operatorname{ctg} \omega t_1 + \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \omega t_1 - 2 - 2 \frac{\sin \omega t_3}{\sin \omega t_1}}.$$

Решая это тригонометрическое уравнение, можно найти фазу соударения  $\omega t_3$  как функцию  $\omega t_1$  (рис. 145).

Динамическая эффективность режимов работы решетки оценивается ударными импульсами при соударении частицы с ее поверхностью

$$S = m(v_3'' - v_3'),$$

где  $v_3''$  — скорость частицы после соударения, которая равна по величине и направлению скорости решетки в этот момент;

$v_3'$  — скорость частицы в момент соударения.

Подставив значение скоростей и проведя преобразование, получим

$$S = \frac{mg}{\omega} (k \cos \omega t_3 - k \cos \omega t_1 + \omega t_3 - \omega t_1). \quad (140)$$

На плод, расположенный между планками, при соударении кула с решеткой действует инерционный импульс  $S_{\text{и}}$  (см. рис. 144, б), определяемый по формуле (140).

Импульс, необходимый для отрыва плодов томатов, может быть в пределах  $S = (2 \div 12) \cdot 10^{-3}$  кгс·с в зависимости от сорта и почвенно-климатических условий выращивания.

Если взять максимальное значение необходимого импульса  $S = 12 \times 10^{-3}$  кгс·с, то по графику на рис. 146 можно найти необходимую амплитуду колебаний для отрыва плодов томатов. Из графика  $S = Bm$ .

Для плода весом 0,06 кгс

$$B = \frac{12 \times 10^{-3} \times 9.8}{0.06} = 1.96.$$

Отложив на графике по оси ординат  $S = 1.96$  м, найдем, что такой импульс можно получить при  $A = 0.05$  м и  $k = 2$ .

Найдем условия неповреждаемости плодов томатов при вертикальных гармонических колебаниях рабочей поверхности плодоотделителя.

Чтобы плоды не повреждались при столкновении с планкой, ударный импульс должен быть меньше критического

$$S_{\text{кр}} = m(1 + q) \sqrt{2gH_{\text{кр}}}.$$

При соударении планки с плодом на плод будет действовать ударный импульс

$$S = m(1 + q) \frac{g}{\omega} (k \cos \omega t_3 - k \cos \omega t_1 + \omega t_3 - \omega t_1).$$

Подставив в условие неповреждаемости плодов  $S < S_{\text{кр}}$  соответствующие значения ударных импульсов, после преобразований получим

$$\sqrt{\frac{A}{k}} (k \cos \omega t_3 - k \cos \omega t_1 + \omega t_3 - \omega t_1) < \sqrt{2H_{\text{кр}}}. \quad (141)$$

Расчеты показывают, что кинематические режимы, необходимые для отделения плодов, значительно ниже критических.

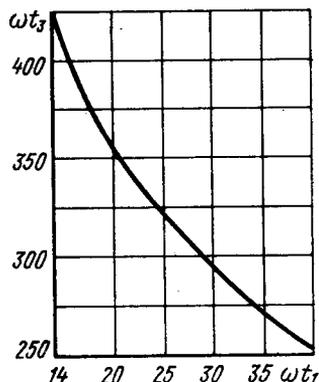


Рис. 145. Изменение фазы  $\omega t_3$  в функции  $\omega t_1$

Как видно из рис. 146, ударный вертикальный импульс растет с увеличением амплитуды колебаний при одном и том же показателе кинематического режима. Исходя из этого, фирма Блэкуелдер (США) изготовила плодотделитель (рис. 147), у которого в передней части установлен коленчатый вал с амплитудой  $A = 0,065$  м, а в задней качающийся вал, позволяющий увеличить вертикальную амплитуду до  $A = 0,075$  м. Это позволяет по мере продвижения материала к выходу из комбайна наносить по слою удары нарастающей силы, чтобы можно было

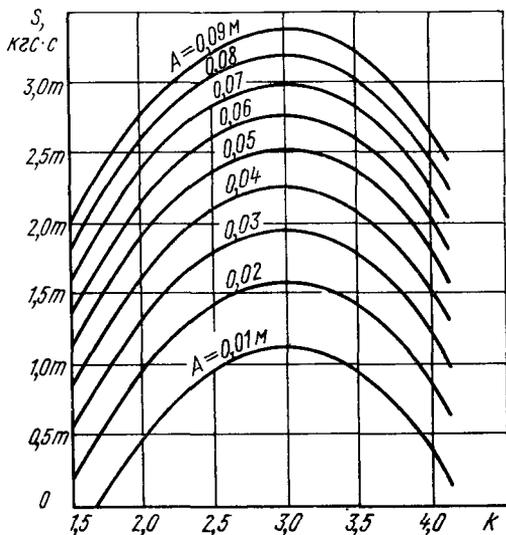


Рис. 146. Зависимость величины ударного импульса от показателя кинематического режима и амплитуды колебаний при соударении куста томатов с решеткой, совершающей вертикальные гармонические колебания

оторвать плоды, имеющие прочную связь с кистью или неблагоприятно расположенные относительно плодотделителя.

Рассмотренный пример с решеткой позволяет понять процесс отделения томатов на клавишном плодотделителе, когда подброшенный куст при падении соударяется с подброшившей его клавишей. Различие только в том, что на клавишном плодотделителе куст имеет еще и горизонтальную скорость.

В кинематическом отношении клавишный плодотделитель томатоборочной машины аналогичен пятиклавишному соломотрясу зерноборочного комбайна, поэтому для

обоснования его режима можно пользоваться имеющимися в литературе результатами теоретических и экспериментальных исследований по данному типу соломотрясов.

Динамическую эффективность типичных режимов при угле наклона клавиши к горизонтали  $\alpha = 0$  характеризуют графики изменения нормальной  $S_x$  и тангенциальной  $S_y$  составляющих импульса и средней силы удара (рис. 148), где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  — типичные режимы работы плодотделителя при допущениях, сделанных в начале анализа клавишного плодотделителя.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями рабочего процесса клавишных соломотрясов установлено, что соударение слоя материала с клавишей продолжается значительный промежуток времени и что слой отрывается от клавиш значительно позднее, чем это следует из формулы  $\omega t_1 =$

$$= \arcsin \frac{\cos \alpha}{k}, \text{ или при } \alpha = 0 \text{ из формулы } \omega t_1 = \arcsin \frac{1}{k}.$$

В связи с этим считается, что основным режимом работы солоотряса будет режим типа *D*, т. е. при  $A = 0,05$  м частота вращения коленчатого вала должна быть  $n = 180 \div 220$  об/мин. Этот режим удовлетворяет также условию отрыва плодов без повреждений.

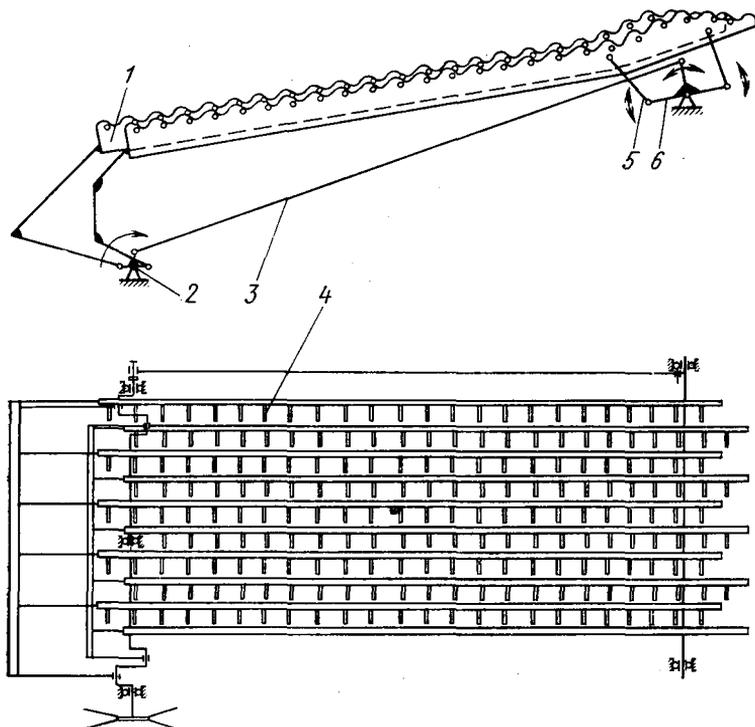


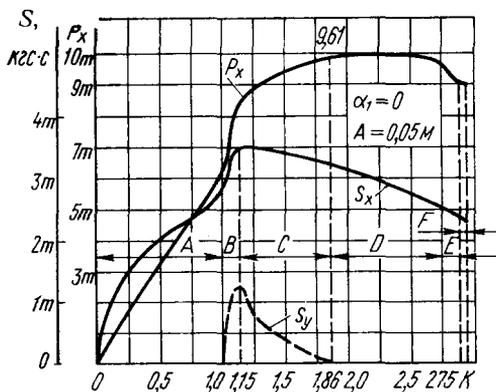
Рис. 147. Клавишный плодотделитель томатуборочного комбайна фирмы Блэкуелдер:

1 — клавиша; 2 — коленчатый вал; 3 — соединительная штанга; 4 — резиновые пальцы клавиш; 5 — задняя опора клавиш; 6 — качающийся вал с кронштейнами

При сравнении транспортерно-грохотного и клавишного плодотделителей оказалось, что по пропускной способности и качеству работы при уборке томатов круглоплодных сортов типа VF = 145 оба плодотделителя одинаковы. При этом закономерность (138) справедлива и для клавишного плодотделителя.

Однако при уборке томатов сливовидных сортов типа Машинный-1 клавишный плодотделитель не полностью отделял плоды от стеблей, допуская потери до 14%. Для устранения этого недостатка над клавишами установили два пальцевых

колеблющихся барабана, которые дополнительно встряхивали кусты томатов. При таком исполнении плодоотделитель по



эффективности приближился к транспортерно-грохотному, но конструкция его усложнилась.

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ ТОМАТОВ ПО СТЕПЕНИ СПЕЛОСТИ

Сортирование томатов по степени спелости в настоящее время производится вручную на уборочной машине или на стационарном пункте. Для этого на уборочной машине устанавливают переборочные столы с рабочими местами для сортировщи-

Рис. 148. Изменение нормальной и тангенциальной составляющих импульса и средней силы удара в пятиклавишном соломотрясе

ков, которые удаляют зеленые и некондиционные плоды и другие примеси. Однако при выполнении ручного сортирования непосредственно на машине снижается ее производительность.

Из расчета плодоотделителя видно, что он может работать удовлетворительно при скорости машины до 4,5 км/ч, а при ручном сортировании плодов машина идет со скоростью 1—1,6 км/ч.

Для повышения производительности машин необходимо автоматизировать сортирование томатов по степени спелости.

Наиболее простым и высокопроизводительным способом сортирования томатов является разделение их по плотности в воде.

Изучение плотности томатов показало, что по мере созревания плотность плодов увеличивается.

Например, красные плоды сорта Машинный 1 имеют плотность 0,991—1,027 г/см<sup>3</sup>, розовые и бурые — 0,970—1,004 г/см<sup>3</sup> и зеленые — 0,944—0,986 г/см<sup>3</sup>. Из этого видно, что плотность зеленых и красных плодов различается и вода в данном случае может отделить незрелые плоды от спелых, но не полностью. Часть спелых плодов всплывает. В зависимости от условий поспевания (обычно в сухую погоду при недостаточном поливе) эта часть может резко возрастать.

Некоторые сорта томатов вообще не поддаются водному сортированию: тонет незначительная часть спелых плодов.

Эффективность водного сортирования видна из табл. 22.

Как видно из данных таблицы, водное сортирование в ряде случаев может дать большой экономический эффект, но при

Разделение плодов томатов в воде по степени спелости

Показатели	Сорт			
	Машинный 1		Гибрид 606	Подарок
	Первый вариант	Второй вариант		
Общее количество учтенных плодов в % . . . . .	100	100	100	100
Количество плодов, осевших на дно, в % . . . . .	36	55,5	53,1	30,6
в том числе:				
красных стандартных . . . . .	29,5	50,5	43,3	30
красных загнивших . . . . .	5,1	—	6,1	—
бурых . . . . .	1,4	3,5	3,7	0,6
молочных . . . . .	—	0,4	—	—
зеленых . . . . .	—	1,1	—	—
Количество плодов, всплывших на поверхность в % . . . . .	64	44,5	46,9	69,4
в том числе:				
красных . . . . .	31,2	8,0	8,0	21,6
красных загнивших . . . . .	3,8	—	4,7	—
розовых . . . . .	—	2,6	—	—
бурых . . . . .	7,2	4,2	11,1	7,7
молочных . . . . .	—	18,5	—	29,3
зеленых . . . . .	21,8	11,2	23,1	10,8

этом необходим подбор сортов, тщательное соблюдение агротехники возделывания и дальнейшее совершенствование рабочих органов, позволяющее более полно использовать разность в плотности томатов.

Водное сортирование томатов возможно только на стационарном пункте, но и при этом требуется ручной выбор красных плодов из всплывшей части вороха. Следовательно, при этом способе сортирования сохраняется ручной труд.

Для полной автоматизации процесса сортирования томатов по степени спелости необходимо устройство, различающее плоды по цвету — наиболее точному показателю их спелости. Таким устройством является фотоэлектронная сортировка.

Основными рабочими органами фотоэлектронной сортировки томатов по цвету являются сингулятор (дозировующий рабочий орган), фотоанализатор, исполнительный механизм.

Дозировующие рабочие органы применяют различных типов. Наиболее известными являются профилированный грохот и шнековый стол, на которые ровным слоем в один плод подаются томаты. Эти рабочие органы достаточно известны, поэтому их рассматривать не будем.

Наиболее важным рабочим органом сортировки является фотоанализатор (рис. 149), имеющий шестигранный корпус, на

каждой грани которого установлена система линз с интерференционным фильтром и фотоприемником. В корпус вмонтированы три осветителя с фокусирующими линзами.

Когда плод при падении проходит в камере освещения через место пересечения световых потоков трех источников, то от него отражаются лучи и попадают на собирающую линзу, проходят

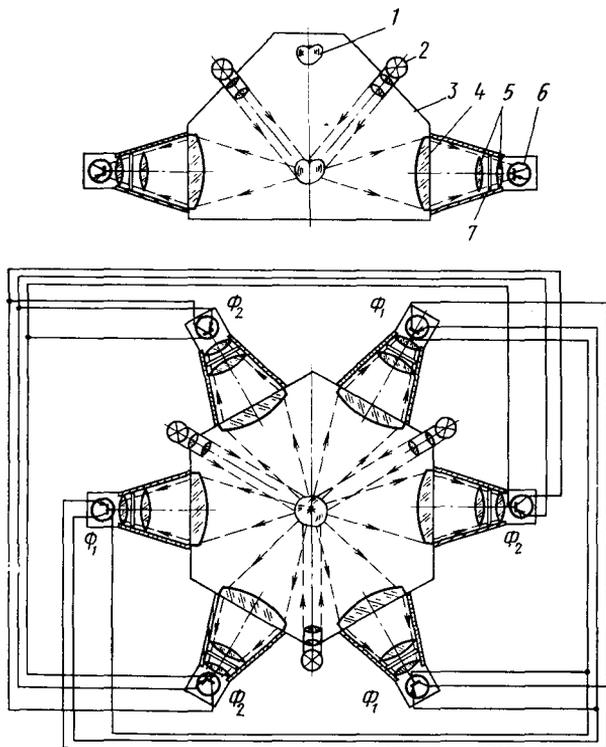


Рис. 149. Схема фотоанализатора:

1 — плод; 2 — осветители; 3 — камера освещения; 4 — линзы; 5 — конденсаторы; 6 — фотоприемники; 7 — интерференционные фильтры

конденсор, интерференционный светофильтр и, наконец, фокусируются на светочувствительной поверхности фотоприемников. Интерференционные светофильтры пропускают излучения спектра с длинами волн  $\lambda_1 = 570$  нм и  $\lambda_2 = 680$  нм и шириной спектра 10—14 нм, при которых коэффициенты отражаемости имеют наибольшее отклонение в зависимости от степени спелости плодов (см. рис. 5).

Под действием этого отраженного излучения через фотоприемники протекает фототок. Как видно из рис. 5, отражаемость плодов разной степени спелости различна на участках спектра

$\lambda_1 = 550 \div 570$  нм и  $\lambda_2 = 680$  нм, в зависимости от этого различны освещенность фотозлемента и фототок.

Фототок, проходящий через фотодиод под действием поступающего на него светового потока [1],

$$I_{\Phi} = \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} S(\lambda) F(\lambda) \rho(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda, \quad (142)$$

где  $S(\lambda)$  — спектральная чувствительность фотозлемента;

$F(\lambda)$  — интенсивность освещения плода;

$\rho(\lambda)$  — отражаемость плода;

$\tau(\lambda)$  — коэффициент пропускной способности светофильтра;

$\lambda_a$  и  $\lambda_b$  — границы выбранных участков спектра (интерференционные светофильтры дают  $\lambda_b - \lambda_a = 10-14$  нм).

Опытами установлено, что даже при наличии интерференционных светофильтров значение выходного электрического сигнала зависит от размера, формы, блеска плодов и стабильности освещения.

Для устранения отрицательного влияния этих факторов применен дифференциальный метод замера фототоков, по которому выходной величиной является разность фототоков от отраженного светового потока плодов в двух выбранных участках спектра.

Если принять спектральную чувствительность фотоприемников  $S(\lambda)$  одинаковой на обоих участках спектра, то

$$I_p = I_2 - I_1 = S(\lambda) [F'_{\lambda_2} - F'_{\lambda_1}],$$

где

$$F'_{\lambda_{1;2}} = \int_{\lambda_{a1;2}}^{\lambda_{b1;2}} F(\lambda) \rho(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda$$
 — интенсивность монохроматического излучения соответственно с длинами волн  $\lambda_1 = 570$  нм и  $\lambda_2 = 680$  нм, поступающего на фотоприемник.

Практически  $S(\lambda)$  не всегда одинакова на необходимых участках спектра.

В данном случае значение выходного тока почти не зависит от размера, формы и блеска плодов, стабильности освещения, напряжения питания фотореле и наличия посторонней подсветки.

Как видно из выражения (142), интенсивность отраженных от плода лучей прямо пропорциональна коэффициенту отражаемости плодов  $\rho(\lambda)$ .

Рассмотрим случай прохождения через фотоанализатор плодов разной степени спелости. При прохождении красного или розового плода, отраженные от него излучения поступают на два соседних фотоприемника  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  одинаковой чувствительности.

Перед фотоприемником  $\Phi_1$  стоит интерференционный светофильтр, пропускающий лучи длиной волны  $\lambda_1 = 570$  нм, а перед фотоприемником  $\Phi_2$  стоит светофильтр, пропускающий лучи с  $\lambda_2 = 680$  нм. В каждом случае ширина полосы пропускаемых волн 10—14 нм.

Как видно из спектрограммы (см. рис. 5),  $\rho(\lambda_1) < \rho(\lambda_2)$  и, следовательно,  $F'_{\lambda_1} < F'_{\lambda_2}$ .

Отсюда результирующий ток

$$I_{p.кp} = S(\lambda)[F'_{\lambda_2} - F'_{\lambda_1}] > 0.$$

При прохождении молочного или зеленого плода  $F'_{\lambda_1} > F'_{\lambda_2}$  и, значит,

$$I_{p.зел} = S(\lambda)[F'_{\lambda_2} - F'_{\lambda_1}] < 0.$$

Бурые плоды имеют  $\rho(\lambda_1) \approx \rho(\lambda_2)$ , поэтому  $I_{p.бур} \approx 0$ .

Этим способом можно разделить плоды на три фракции.

Таких фотоприемников три пары, что позволяет проанализировать цвет плода с трех сторон и, кроме того, усиливает выходной сигнал примерно в 3 раза, суммируя выходные токи фотоприемников с одинаковыми светофильтрами.

На рис. 150 показано изменение фототоков в зависимости от цвета и размеров плодов при  $\lambda_1 = 570$  и  $\lambda_2 = 680$  нм.

В качестве фотоприемников рекомендуется использовать фототриоды ФТГ-3 или кремниевые фотодиоды ФТ-1К [1].

Суммарные фототоки от каждой из двух групп фотоприемников усиливаются транзисторами и поступают навстречу друг другу в поляризованное реле (например, РПС-5), где

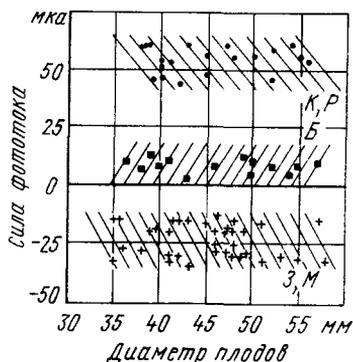


Рис. 150. Изменение фототоков в зависимости от цвета и размеров плодов при  $\lambda_1 = 570$  и  $\lambda_2 = 680$  нм:

$K, P$  — красные и розовые;  $Б$  — бурые;  $З, М$  — зеленые и молочные плоды

при достаточном значении преобладающий ток включает его в ту или другую стороны, или вообще не включает, если токи равны.

Реле, в свою очередь, включает исполнительный механизм.

Поляризованное реле имеет порог срабатывания и обладает определенной инерционностью, поэтому в фотоанализаторе необходимо создавать достаточную интенсивность отраженного излучения и обеспечивать необходимое время освещения фотоприемников.

Рассмотрим характер изменения освещенности фотоприемников и в соответствии с этим изменения силы фототоков (рис. 151).

Наибольшая освещенность фотоприемника наблюдается в момент прохождения плода через точку  $M_2$ . В целом же световой импульс имеет трапецеидальную зависимость по времени.

Для достижения максимального фотоэффекта направление наибольшей интенсивности излучения  $F(\lambda)$  должно совпадать с оптической осью линзы. Трапецеидальность изменения величины  $F(\lambda)$  несколько снижает требования к точности установки осветителя.

Если за время светового импульса  $T_{\text{имп}}$  принять время освещения  $t_{\text{осв}}$  и затемнения (паузы)  $t_{\text{п}}$  фотоприемника, то можно выделить четыре участка светового импульса.

Участку I соответствует время увеличения интенсивности  $F(\lambda)$  от нуля до  $F_{\text{max}}$  за период  $0 \leq t \leq t_{\text{н}}$ .

При этом

$$F(\lambda) = F_{\text{max}} \frac{t}{t_{\text{н}}}$$

Участок II — это период перемещения полностью освещенного плода  $t_{\text{н}} \leq t \leq t_{\text{осв}} - t_{\text{к}}$ . Интенсивность освещения фотоприемников не изменяется.

Участок III — это период выхода плода из потока лучей осветителя  $t_{\text{осв}} - t_{\text{к}} \leq t \leq t_{\text{осв}}$ . При этом

$$F(\lambda) = F_{\text{max}} \frac{t_{\text{осв}} - t}{t_{\text{к}}}$$

Наконец, участок IV — это период затемнения фотоприемников  $t_{\text{осв}} \leq t \leq T_{\text{имп}}$ .

Время паузы  $t_{\text{п}} = 1,5 t_{\text{вз}} = 4,5 \cdot 10^{-3}$  с (где  $t_{\text{вз}} = 3 \cdot 10^{-3}$  с — время возврата поляризованных реле в исходные положения).

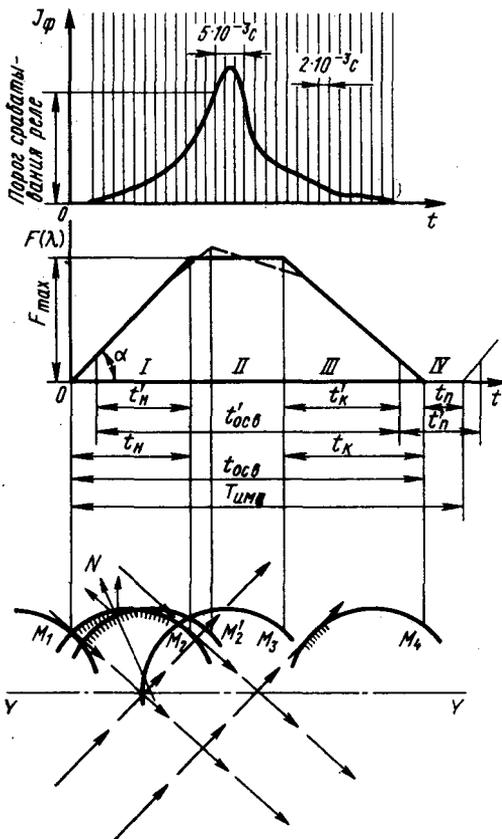


Рис. 151. Схема пересечения плода потоками лучей в разные моменты прохождения его через камеру освещения и соответствующая сила фототока

Фототок возникает при освещенности фотоприемника порядка 0,4—0,5 лк, поэтому он запаздывает относительно начала освещения. Для надежной работы реле необходимо, чтобы

$$t'_{\text{осв}} > t_{\text{ср}},$$

где  $t_{\text{ср}} = 5 \cdot 10^{-3}$  с — время срабатывания реле РПС-5.

Расчеты показывают, что минимальное время засветки  $t'_{\text{осв}}$  должно быть в 5 раз больше  $t_{\text{ср}}$ , а  $t'_n / t_{\text{вз}} = 4$ . При этом фотореле может надежно работать с частотой 10 Гц, т. е. фотоанализатор может пропускать независимо от размера 10 плодов в секунду, разделяя их на три фракции.

Разделение на две фракции более простое, для осуществления его требуется только один фильтр. Такое устройство имеется на томатоуборочной машине Пенсильванского университета (США). Плоды томатов, проходя по винтовым валикам 4 освещаются источником света 3 (рис. 152). Отраженные лучи падают на фотосопротивления 2, расположенные с двух сторон. При прохождении под осветителем зеленого плода на реле подается сигнал, затворка открывается и плод падает на землю.

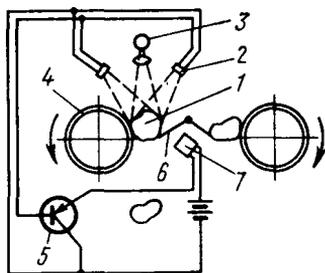


Рис. 152. Фотоанализатор и исполнительный механизм сортирующего устройства томатоуборочной машины Пенсильванского университета:

1 — плод; 2 — приемники отраженных лучей (фотосопротивления); 3 — источник освещения; 4 — винтовые валики; 5 — полупроводниковый усилитель фототоков; 6 — затворка; 7 — электромагнит

Для разделения плодов на четыре — пять фракций, как это сделано на машине фирмы ESM, необходим анализатор выходных сигналов, а для исполнительного органа «память», чтобы выбрасывать плоды над соответствующей транспортной лентой.

Известно фотоэлектронное устройство АСЦ-1, разделяющее томаты на три фракции, разработанное в Болгарии. Его производительность 10 томатов в секунду.

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ ОГУРЦОВ

Основными рабочими органами машин для уборки огурцов являются подборщик и плодотделитель.

Подборщики машин для разовой уборки огурцов (рис. 153, а и б, см. также рис. 57 и 58) имеют подрезающий аппарат в виде пассивных ножей или сегментных полотен, колеблющихся

поперек ряда. Такие рабочие органы были рассмотрены при анализе подборщиков томатуборочных машин.

Вследствие меньшей осыпаемости огурцов по сравнению с томатами, к подбирающей части машин для уборки огурцов предъявляются менее жесткие требования. Поэтому на машинах для уборки огурцов устанавливают цепочно-планчатые подборщики с пружинными пальцами, теребильные гофрированные транспортеры или обычные прутковые транспортеры.

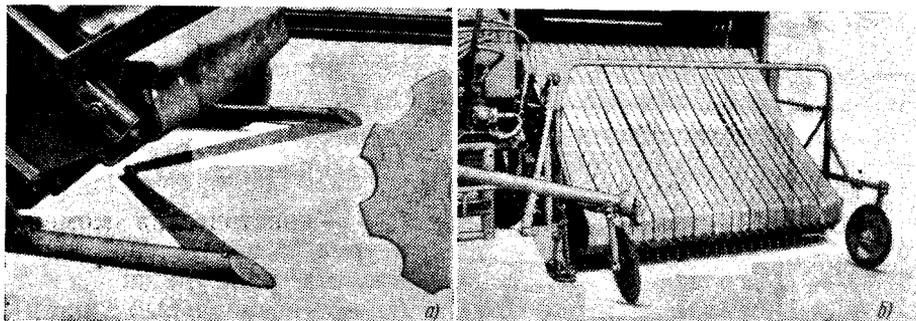


Рис. 153. Подрезающие и подбирающие рабочие органы машин для уборки огурцов:

а — типа VU (ВНР); б — фирмы Портер-Уей

Испытания венгерской машины показали, что гофрированные транспортеры, подбирая растения, повреждают крупные плоды. Растения кустовых и короткоплетистых сортов плохо подбираются цепочно-планчатыми подборщиками. Хорошие результаты получены при испытании обычных прутковых транспортеров в сочетании с прижимным барабанчиком.

Рассмотренные подборщики подбирают растения без захвата почвы, поэтому систем ее удаления на машинах для уборки огурцов нет.

Ширина захвата подборщиков большинства машин для уборки огурцов равна 2 м. Учитывая малую высоту растений (в среднем 25 см), предъявляются высокие требования к выровненности поля в поперечном направлении.

На машинах для выборочной уборки огурцов установлены вакуумные или барабанные стеблеподъемники.

В зависимости от назначения (для выборочной или разовой уборки) машины для уборки огурцов имеют разные плодоотделители.

При выборочной уборке огурцы сбиваются с плетей горизонтальным ударом. Рассмотрим процесс отрыва, приняв огурец за жесткое тело, способное вращаться относительно неподвижной оси, проходящей через точку  $O$  крепления его к плети (рис. 154).

Пусть на плод в горизонтальном направлении действует ударный импульс  $S$  на расстоянии  $x$  от точки крепления. Необходимо найти реакцию подвески огурца при ударе.

С некоторым допущением огурец можно принять за однородный стержень длиной  $l$ , равной длине огурца. В начальном положении огурец, приподнятый на плети над землей, висит вертикально и горизонтальной скорости не имеет, т. е.  $v_0 = 0$ , и, следовательно, начальная угловая скорость огурца относительно точки подвеса  $\omega_0 = 0$ .

Применив теорему об изменении кинетического момента системы относительно оси  $O$ , получим

$$L_{\text{ог}} - L_{\text{ог},0} = M_o(S),$$

где  $L_{\text{ог}} = J_{\text{ог}}\omega$  — кинетический момент огурца относительно точки подвеса после удара;

$L_{\text{ог},0} = J_{\text{ог},0}\omega_0$  — начальный кинетический момент;

$M_o(S)$  — момент импульса  $S$  относительно точки  $O$ .

Поскольку  $\omega_0 = 0$ , то  $L_{\text{ог},0} = 0$  и

$$L_{\text{ог}} = M_o(S). \quad (143)$$

Момент инерции огурца  $J_{\text{ог}}$  относительно точки  $O$  будет

$$J_{\text{ог}} = \frac{1}{3} ml^2,$$

где  $m$  — масса огурца,

$a$  — момент импульса силы  $M_o(S) = Sx$ .

Подставив в выражение (143) соответствующие значения величин, имеем

$$\frac{1}{3} ml^2 \omega = Sx. \quad (144)$$

Откуда

$$\omega = \frac{3Sx}{ml^2}. \quad (145)$$

Скорость  $u_c$  центра  $C$  массы огурца будет

$$u_c = a\omega = \frac{l}{2} \omega.$$

Начальная скорость центра массы  $u_{c,0} = 0$ .

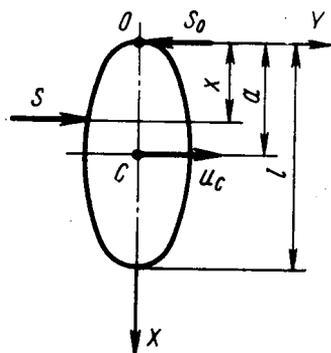


Рис. 154. Действие ударного импульса со стороны прутка плодоотделителя на огурец при выборочной уборке

Пользуясь теоремой об изменении проекций количества движения центра масс на оси  $OX$  и  $OY$ , получим

$$\begin{aligned} S_{OY} + S &= m u_C; \\ S_{OX} &= 0. \end{aligned}$$

Отсюда

$$S_{OY} = m u_C - S = \frac{1}{2} m l \omega - S = \left( \frac{3x}{2l} - 1 \right) S. \quad (146)$$

Поскольку  $S_{OX} = 0$ , то  $S_0 = |S_{OY}|$ .

Найдем наиболее благоприятное место приложения ударного импульса.

Реакция подвеса изменяется по абсолютному значению от нуля до  $S$ , когда импульс приложен непосредственно в точке подвеса. Найдем условие, когда  $S_0 = 0$ . Из выражения (146) при этом условии получим

$$x = \frac{2}{3} l.$$

Следовательно, для отрыва плода от плети удар должен быть произведен как можно ближе к точке подвеса  $0 \leq x \ll \ll \frac{2}{3} l$ .

На машине удар производится планкой или прутком. При медленном перемещении прутка плод может и не оторваться, а отклониться.

Определим скорость прутка, при которой

$$S_0 > S_{кр}, \quad (147)$$

где  $S_{кр}$  — импульс силы, необходимой для отрыва огурца от плети.

При соударении прутка с огурцом скорость в точке соударения равна  $v$ , а угловая скорость огурца относительно точки  $O$   $\omega = v/x$ .

Из зависимости (144)

$$S = \frac{1}{3x} m l^2 \omega = \frac{m l^2 v}{3x^2}. \quad (148)$$

Подставив выражение (148) в формулу (146) и выполнив условие (147), получим

$$S_0 = \frac{m l^2 v}{3x^2} \left( \frac{3x}{2l} - 1 \right) \leq S_{кр}.$$

Так как  $x \ll l$  и  $\frac{3x}{2l} - 1 < 0$ , то

$$v \geq \frac{S_{кр} 3x^2}{m l^2 \left( \frac{3x}{2l} - 1 \right)}$$

или

$$v \geq \frac{S_{кр} \delta x^2}{ml(3x - 2l)}. \quad (149)$$

Расчеты показывают, что если принять время отрыва, как и для томатов,  $\tau = 7 \cdot 10^{-3}$  с, максимальное усилие отрыва плодов 4,5 кгс, массу зеленца длиной 90 мм равной 100 г, а удар произвести на расстоянии  $x = 25$  мм от точки крепления огурца к плети (расстояние  $x$  выбрано исходя из закругления огурца в этом месте  $r = 13,5 \pm 4,5$  мм), то  $v \geq 0,6$  м/с. Это подтверждено также опытами [37].

На машинах для разового сбора огурцов устанавливают горизонтально или вертикально вальцовые плодоотделители (см. рис. 57 и 58).

Основными параметрами этих плодоотделителей являются диаметр вальцов и зазор между ними в процессе работы. Чтобы отрывать малые огурцы, необходимы вальцы как можно меньшего диаметра. Но в то же время вальцы малого диаметра имеют малую захватывающую и протягивающую способность и быстро забиваются.

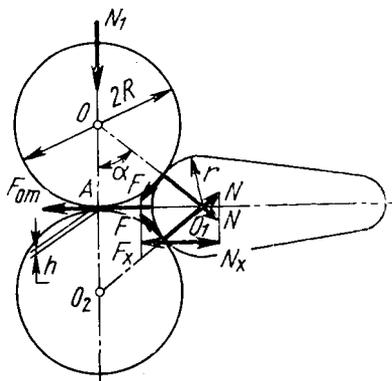


Рис. 155. Определение параметров плодоотрывающего аппарата машины для уборки огурцов

Определим максимальный допустимый диаметр вальцов из условия незащемления плода (рис. 155). При соприкосновении с вальцами на огурец действуют сила трения  $F$ , усилие со стороны стебля, максимальное значение которого равно усилию отрыва  $F_{от}$ , и вес плода  $G$ . Поскольку прежде всего интересен вопрос защемления огурцов малых размеров диаметром 30—35 мм, которые весят обычно 40—80 гс, что значительно меньше усилия отрыва, то для упрощения расчетов весом огурцов пренебрегаем.

Огурцы в момент отрыва прижимаются к вальцам силой, развиваемой протаскиваемыми через вальцы стеблями. При этом возникает сила нормального давления  $N = \frac{F_{от}}{2 \sin \alpha}$ .

Чтобы плод не защемлялся, сила трения

$$F_x < N_x. \quad (150)$$

Но  $F_x = Nf \cos \alpha$ , а  $N_x = N \sin \alpha$ .

Подставив эти значения в выражение (150) и упростив его, получим

$$\alpha > \varphi. \quad (151)$$

Из треугольника  $AOO_1$  имеем

$$\cos \alpha = \frac{R + \frac{h}{2}}{R + r}, \quad (152)$$

где  $R$  — радиус вальца;  
 $h$  — зазор между вальцами;  
 $r$  — радиус закругления огурца.

Отсюда

$$\alpha = \arccos \frac{R + \frac{h}{2}}{R + r}. \quad (153)$$

Подставив выражение (153) в неравенство (151), имеем

$$\arccos \frac{2R + h}{2(R + r)} > \varphi. \quad (154)$$

Из зависимости (152)

$$R = \frac{2r \cos \alpha - h}{2(1 - \cos \alpha)}. \quad (155)$$

Определим минимально допустимый диаметр вальцов из условия устойчивого захвата и протаскивания стеблей огурцов.

Захват начинается в основном с листьев, особенно на плодотделителе с воздушным поддувом. Тонкие и шероховатые листья легко захватываются вальцами и увлекают за собой стебли.

Для протаскивания стеблей необходимо, чтобы

$$\alpha_1 < \varphi_1,$$

где  $\varphi_1$  — угол трения стеблей о поверхность вальцов.

$$\cos \alpha_1 = 1 - \frac{d_c - h}{D}, \quad (156)$$

где  $d_c$  — диаметр стебля;

$D$  — диаметр вальца.

Отсюда

$$\alpha_1 = \arccos \left( 1 - \frac{d_c - h}{D} \right).$$

Тогда условие протаскивания стеблей вальцами выразится так:

$$\arccos \left( 1 - \frac{d_c - h}{D} \right) < \varphi_1. \quad (157)$$

Величина  $d_c - h$  в формуле (156) представляет собой уменьшение диаметра стебля (обжатие) при протягивании его через вальцы.

По данным В. Г. Удовина, наибольший зазор между вальцами в процессе работы должен быть  $h = 8 - 12$  мм [28].

Расчеты показывают, что при выполнении условия (154) будет выполнено и условие (157). Однако выполнить полностью условие (154) трудно, так как требуются диаметры вальцов 25—30 мм, чтобы отделять мелкие плоды, что не всегда можно выполнить конструктивно. Поэтому на практике увеличивают диаметры вальцов, несмотря на некоторое повышение повреждения мелких плодов.

Исследованиями В. Г. Удовина установлено, что вполне удовлетворительно, с повреждениями плодов не более 10% могут работать вальцы диаметром 35—51 мм [28].

В машинах США с горизонтальными вальцами шириной до 2 м принимают диаметр вальцов 100 мм и больше. В этих машинах неизбежно затаскивание и раздавливание плодоотделителем мелких огурцов, что нельзя признать удовлетворительным.

Усилие  $N_1$  прижатия вальцов друг к другу для обеспечения протягивающего усилия, равного  $F_{от}$ , определяют из выражения

$$N_1 = \frac{nF_{от}}{f},$$

где  $n$  — количество одновременно протягиваемых стеблей;

$f$  — коэффициент трения стеблей о поверхность вальцов.

Применение вальцов малого диаметра и небольшого зазора между ними предъявляет высокие требования к снижению засоренности полей, так как засоренность приводит к забиванию вальцов.

В уборочных машинах необходимо предусмотреть рассредоточение стеблей огурцов перед подачей их в вальцы. Эту роль, например, в комбайне фирмы ФМС выполняет транспортер-питатель, имеющий скорость, превышающую скорость транспортера подборщика.

## Г л а в а VI

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ БОБОВЫХ КУЛЬТУР

#### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ЖАТОК И ПОДБОРЩИКОВ

**В** бобовых жатках установлен режущий аппарат нормального резания, который работает в сочетании с эксцентриковым мотовилом. Конструкции и теоретический анализ этих рабочих органов хорошо известны. Однако они имеют ряд конструктивных особенностей, учитывающих специфику бобовых культур. Режущий аппарат имеет пальцы открытого типа, на каждом третьем пальце установлены лифтеры, поднимающие растения.

Полозки, копирующие микрорельеф, выполнены плавающими и подпружинены. Режущий аппарат тоже плавающего типа, шарнирно соединен с полозками. С рамой режущий аппарат связан через плоские пружины, что дает возможность раме копировать поверхность почвы и обеспечивает регулировку аппарата независимо от рамы. Средняя скорость ножа составляет 1,5—1,6 м/с; минимальная высота среза 70—80 мм.

Граблины эксцентрикового мотовила имеют подпружиненные пальцы. Угол наклона граблин и положения мотовила в горизонтальной и вертикальной плоскостях регулируются.

Особый интерес представляют теребильно-подрезающие жатки (ЖНТ-2,1) и теребильные машины (МРМ-2,2), принцип работы которых полностью учитывает специфику растений овощного гороха (перевитость стеблей и слабую прочность прикорневой шейки). На этих машинах, а также на мобильных молотилках установлены барабанные подборщики с убирающимися жесткими пальцами.

Подборщик (рис. 156) имеет барабан, внутри которого расположен эксцентрично пальцевый вал. На внутренней поверхности барабана шарнирно закреплены направляющие роликовые обоймы, в которые входят пальцы прямоугольного сечения. Пальцы прикреплены к установленным на валу чугунным головкам с капроновыми втулками. При вращении бара-

бана пальцы свободно поворачиваются на неподвижном валу, а благодаря эксцентричному расположению вала вылет пальцев из барабана в течение одного оборота изменяется от максимального до минимального на величину удвоенного расстояния между центрами вала и оси. Выходя из барабана, пальцы захватывают слой стеблей и поднимают его вверх, а после передачи на транспортирующие органы входят в барабан.

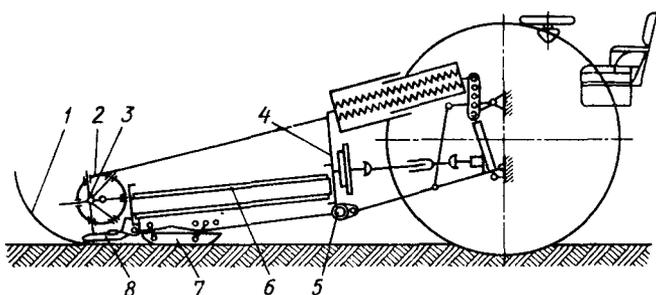


Рис. 156. Схема жатки ЖНТ-2,1:

1 — делители; 2 — барабан; 3 — пальцевый вал; 4 — задний щит; 5 — рама; 6 — транспортное полотно; 7 — копирующая лыжа; 8 — косилочный аппарат

Рабочий процесс барабана состоит из трех фаз: захват растений, натяжение стеблей при подъеме и отрыв (если нет режущего аппарата) и, наконец, подача растений на транспортирующие органы.

Рассмотрим более подробно работу барабана (рис. 157, а—в). Уравнение движения конца пальца имеет вид

$$x = v_m t + e \sin \alpha + l \sin(\alpha + \varphi);$$

$$y = e \cos \alpha + l \cos(\alpha + \varphi),$$

где  $e = OA$  — расстояние между осями вала  $O$  и барабана  $A$ , т. е. эксцентриситет механизма;

$l = AB$  — длина пальца;

$\alpha$  — угол наклона осевой линии  $OA$  ( $\alpha = 25 \div 45^\circ$ );

$\varphi$  — угол поворота пальца, отсчитываемый от осевой линии  $OA$ .

При постоянной угловой скорости барабана угловая скорость пальцев переменная и определяется из уравнения

$$\omega_n = \frac{\omega(1 - \mu \cos \varphi)}{1 + \mu^2 - 2\mu \cos \varphi},$$

где  $\mu = \frac{e}{R_6}$  (здесь  $R_6$  — радиус барабана).

Линейная скорость конца пальца

$$v_n = l\omega_n,$$

а абсолютная скорость

$$v_a = \sqrt{v_m^2 + v_{\Pi}^2 - 2v_m v_{\Pi} \sin(\varphi - \alpha)}$$

Абсолютная скорость при входе пальцев в слой не должна быть чрезмерно большой, чтобы при встрече их со стеблями не происходило вымолачивание бобов.

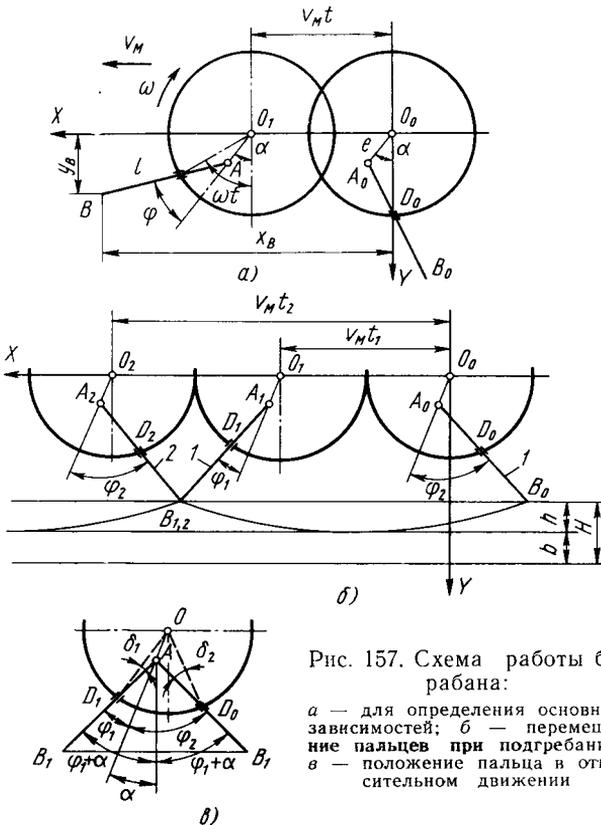


Рис. 157. Схема работы барабана:

*a* — для определения основных зависимостей; *б* — перемещение пальцев при подгребании; *в* — положение пальца в относительном движении

Чтобы исключить огрехи при подгребании стеблей, точки пересечения траекторий концов пальцев двух последовательно работающих рядов должны располагаться не выше уровня срезания растений (10—13 см).

Точка  $B_{1,2}$  имеет следующие координаты:

$$x_B = v_m t_1 + e \sin \alpha + l \sin(\alpha + \varphi_1) = v_m t_2 + e \sin \alpha - l \sin(\varphi_2 - \alpha);$$

$$y_B = e \cos \alpha + l \cos(\alpha + \varphi_1) = e \cos \alpha + l \cos(\varphi_2 - \alpha) = e \cos \alpha + l - h.$$

Решая совместно эти уравнения, получим

$$\cos(\alpha + \varphi_1) = \cos(\varphi_2 - \alpha);$$

$$\varphi_2 = 2\alpha + \varphi_1;$$

$$v_m(t_2 - t_1) = l[\sin(\alpha + \varphi_1) + \sin(\varphi_2 - \alpha)] = 2l \sin(\alpha + \varphi_1),$$

где  $t_2 = \frac{2\pi}{z\omega}$  (здесь  $z$  — количество рядов пальцев).

Кроме того,

$$\cos(\alpha + \varphi_1) = 1 - \frac{h}{l};$$

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{h}{l}\right) - \alpha;$$

$$\sin(\alpha + \varphi_1) = \sqrt{2 \frac{h}{l} - \left(\frac{h}{l}\right)^2}.$$

За время перемещения оси барабана из положения  $O_0$  в  $O_1$  палец  $l$  поворачивается на угол  $\varphi_1 + \varphi_2$ , а барабан на угол  $v$ , причем

$$v = \varphi_1 + \varphi_2 - \delta_1 - \delta_2 = 2\alpha + 2\varphi_1 - \delta_1 - \delta_2.$$

Из треугольников  $OAD_1$  и  $OAD_0$  (рис. 157, в) следует, что

$$\sin \delta_1 = \frac{e}{R} \sin \varphi_1;$$

$$\sin \delta_2 = \frac{e}{R} \sin \varphi_2 = \frac{e}{R} \sin(2\alpha + \varphi_1).$$

Отсюда после преобразований

$$\delta_1 = \arcsin \frac{e}{R} [\sin(\varphi_1 + \alpha) \cos \alpha - \cos(\varphi_1 + \alpha) \sin \alpha];$$

$$\delta_2 = \arcsin \frac{e}{R} [\sin(\varphi_1 + \alpha) \cos \alpha + \cos(\varphi_1 + \alpha) \sin \alpha].$$

Зная  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , можно определить  $t_1$ .

$$t_1 = \frac{v}{\omega} = \frac{2\alpha + 2\varphi_1 - \delta_1 - \delta_2}{\omega}.$$

Располагая значениями  $t_1$  и  $t_2$ , можно получить значения кинематического фактора  $\lambda = \omega R / v_m$ .

$$\lambda = \frac{R \left( \frac{2\pi}{z} + \delta_1 + \delta_2 - 2\alpha - 2\varphi_1 \right)}{2l \sin(\alpha + \varphi_1)}.$$

По данным исследований Ю. А. Николаева (ВИСХОМ) при терблении с подрезанием  $\lambda = 1,2 \div 1,4$ , а только при тербле-

нии  $\lambda = 1,4 \div 1,83$ . При этом количество рядов пальцев  $z$  должно быть не менее шести.

Остальные параметры барабанного подборщика обычно находятся между собой в следующей зависимости:  $e + l - R = 0,1$  м;  $l = (0,53 + 1,05)R$  и  $e = (0,47 \div 0,55)R$ .

На рис. 158 приведены траектории пальцев барабана при  $v_m = 0,97$  м/с и  $\lambda = 1,43$  (режим тербления).

Абсолютная скорость пальцев достигает наибольших значений в зоне активного воздействия их на стебли (положение

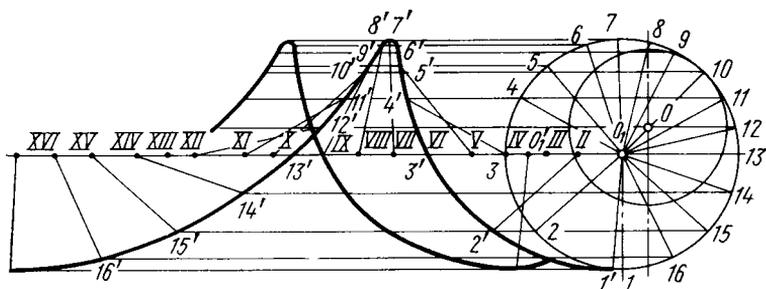


Рис. 158. Траектории концов пальцев барабанного подборщика жатки ЖБА-3,5М при  $v = 0,97$  м/с и  $\lambda = 1,43$

1—2). Для жатки ЖБА-3,5М при указанных кинематических режимах  $v_{a \max} = 2,8$  м/с.

Обмолот бобов происходит при скорости ударяющего элемента выше 5 м/с. Жатка ЖНТ-2,1 работает при большей частоте вращения барабана  $n_b \geq 64$  об/мин, но абсолютная скорость пальцев  $v_a < 5$  м/с.

Отрыв стеблей происходит за счет активного воздействия пальцев и поверхности барабана на стебли при положениях 1—3 пальцев. Граница зоны, в которой заканчивается отрыв стеблей аппаратом, определяется физико-механическими свойствами и агротехническими особенностями слоя и в основном соответствует горизонтальному положению пальцев. В дальнейшем происходит подъем стеблей и транспортирование к последующим рабочим органам машины.

Чтобы не наблюдалось сгруживания или растаскивания слоя при передаче на транспортер, скорость овощного гороха в фазе транспортирования должна быть близка к скорости машины

$$v_m \approx \left( R + \frac{l}{2} \right) \omega.$$

При работе барабана с режущим аппаратом необходимо определять оптимальное расположение передних кромок сегментов ножей относительно оси барабана. По данным исследований Ю. А. Николаева кромки сегментов ножей могут нахо-

даться на расстоянии до 70 мм перед осью барабана и до 60 мм сзади оси, в зависимости от условий работы жатки. Если пальцы должны приподнимать стебли и натягивать их перед режущим аппаратом, то передние кромки сегментов должны быть вынесены вперед относительно центра вращения барабана на 20—35 мм.

### ГОРОХОМОЛОТИЛЬНЫЕ БАРАБАНЫ

Процесс обмолота овощного гороха это результат взаимодействия многих факторов и раскрыть влияние каждого из них на процесс расщепления бобов довольно трудно.

Бобы расщепляются как в начале молотильного барабана, так и в конце, что объясняется резким различием физико-механических свойств бобов молочной и молочно-восковой спелости, разным положением бобов в ворохе относительно ударяющих по ним лопастей и т. д.

В связи с этим установить математическую зависимость процесса расщепления бобов от кинематических и динамических параметров барабанов и физико-механических свойств отдельного боба или группы бобов не представляется возможным.

Однако на основании среднестатистических данных зависимости качественных показателей от кинематических и динамических факторов, характеризующих работу барабанов, а также физико-механических свойств обмолачиваемых бобов можно проследить определенную закономерность этого процесса, позволяющую провести с достаточной достоверностью анализ процесса с помощью механико-математических методов.

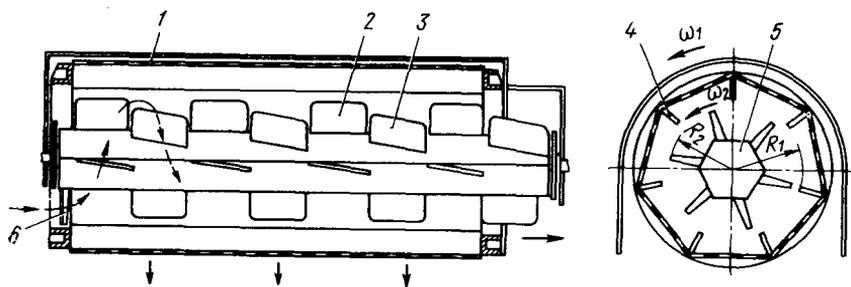


Рис. 159. Схема молотильного устройства горохомолотильной машины:  
1 — наружный барабан; 2 — нерегулируемая лопасть; 3 — регулируемая лопасть;  
4 — била; 5 — внутренний барабан; 6 — направляющий палец

Рассмотрим кинематику процесса обмолота овощного гороха в молотильном барабане.

Пусть ворох гороха вместе с бобами поступает по транспортеру в наружный барабан (рис. 159) с семью деревянными билами, вращающийся с постоянной угловой скоростью  $\omega_1$ .

Каждое било при вращении барабана подхватывает часть находящегося в барабане материала и поднимает его на некоторый угол над горизонтальной плоскостью, проходящей через ось барабана. Когда угол наклона била, которое можно рассматривать как наклонную плоскость, достигает предельного значения,

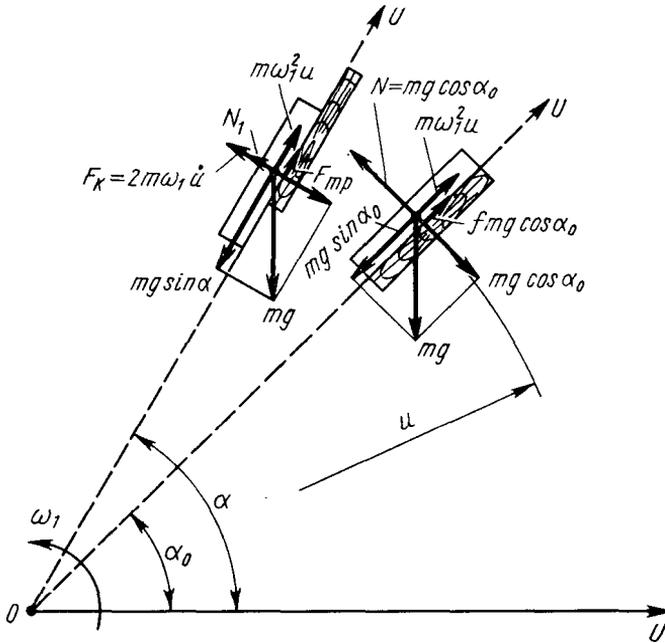


Рис. 160. Схема сил, действующих на слой материала, расположенного на биле наружного барабана

соответствующего равновесию сил, действующих на материал, то слой этого материала начнет двигаться по билу, а при дальнейшем вращении барабана полностью соскользнет с него.

Для теоретического анализа принимаем, что слой материала, лежащий на биле, прямоугольной формы и центр масс его находится над серединой била. Все силы, действующие на слой, прикладываем в центр масс (рис. 160). Перемещение слоя материала рассматриваем относительно переносной системы координат, у которой ось  $O-U$  совпадает с плоскостью била.

Движение слоя по билу начнется в тот момент, когда угол  $\alpha$  достигнет значения  $\alpha_0 = \omega t_0$ , при котором наступит предельное положение равновесия слоя материала под действием следующих сил: веса  $mg$ ; центробежной силы  $m\omega_1^2 u$ ; силы трения  $fmg \cos \alpha_0$  (где  $f$  — коэффициент трения); реакция со стороны опоры  $mg \cos \alpha_0$ .

Уравнение равновесия запишем следующим образом:

$$-mg \sin \alpha_0 + m\omega_1^2 u + fmg \cos \alpha_0 = 0.$$

Отсюда определим

$$\alpha_0 = \arccos \frac{-kf + \sqrt{(f^2 + 1) - k^2}}{f^2 + 1};$$

$$t_0 = \frac{\alpha_0}{\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} \arccos \frac{-kf + \sqrt{(f^2 + 1) - k^2}}{f^2 + 1}, \quad (158)$$

где  $k = \frac{u\omega_1^2}{g}$  — коэффициент кинематического режима барабана.

Начиная с момента равновесия материал под действием силы тяжести начинает равноускоренно двигаться по билу и в момент времени  $t$  на него, кроме ранее рассмотренных сил, начинают действовать сила сопротивления воздуха и кориолисова сила инерции  $F_K = 2m\omega_1 u$ , где  $u$  — относительная скорость материала по билу.

В рассматриваемом случае кориолисова сила инерции уменьшает силу нормального давления. В результате этого при движении по билу нормальное давление материала будет

$$N_1 = mg \cos \alpha - 2m\omega_1 \dot{u}.$$

Отсюда сила трения

$$F_{\text{тр}} = f(mg \cos \alpha - 2m\omega_1 \dot{u}).$$

Сила сопротивления воздуха очень мала и ею можно пренебречь.

Рассматривая действие всех сил на центр масс слоя, находящегося на биле (рис. 160), и учитывая, что для выполнения технологического процесса необходимо, чтобы относительная скорость  $u$  была направлена внутрь барабана, составим дифференциальное уравнение движения слоя

$$m\ddot{u} = -mg \sin \alpha + (mg \cos \alpha - 2m\omega_1 \dot{u})f + m\omega_1^2 u.$$

После упрощения и замены  $\alpha = \omega t$  получим

$$\ddot{u} + 2\omega_1 f \dot{u} - \omega_1^2 u = fg \cos \omega_1 t - g \sin \omega_1 t.$$

Это линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами и правой частью.

Решая это уравнение, получим

$$u = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + A \sin \omega_1 t;$$

$$\dot{u} = C_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} + A \omega_1 \cos \omega_1 t,$$

где

$$A = \frac{g}{2\omega_1^2}; \quad \lambda_1 = \omega_1(-f + \sqrt{f^2 + 1});$$

$$\lambda_2 = \omega_1(-f - \sqrt{f^2 + 1}),$$

$$C_2 = \frac{A \sin \omega_1 t_0 - \frac{A\omega_1}{\lambda_1} \cos \omega_1 t_0 - R}{\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} - 1\right) e^{\lambda_2 t_0}};$$

$$C_1 = \frac{R_1 - C_2 e^{\lambda_2 t_0} - A \sin \omega_1 t_0}{e^{\lambda_1 t_0}};$$

$t_0$  — время начала движения материала по билу, определяемое по формуле (158).

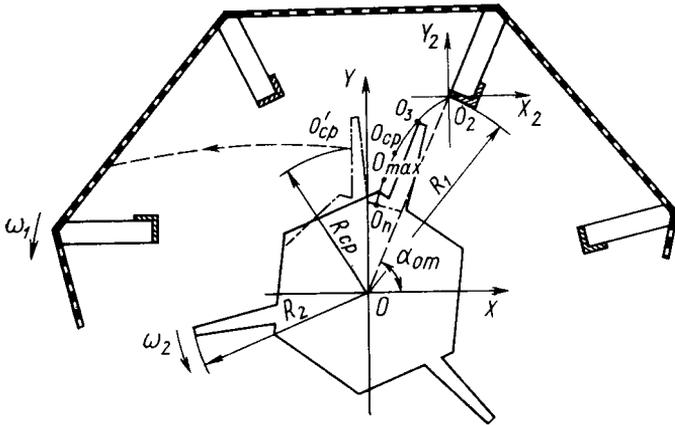


Рис. 161. Определение условий встречи материала с лопастями внутреннего барабана

Расчеты показывают, что при  $\omega_1 = 1,5$  1/с,  $f = 0,6$  на конце била ( $R_1 = 63$  см) относительная скорость  $v_{отн} = u = 92$  см/с, переносная скорость  $v_{окр} = \omega_1 R_1 = 1,5 \cdot 63 = 95$  см/с, а абсолютная скорость  $v_a = \sqrt{v_{отн}^2 + v_{окр}^2} = 132$  см/с и угол наклона вектора абсолютной скорости к горизонту  $\delta = 22,5^\circ$  [14]. При этом угол поворота барабана в момент отрыва материала от била  $\alpha_{от} \approx 69^\circ$ .

Соскользнув с била, материал снижается по некоторой траектории, получает удар от лопастей внутреннего барабана и отбрасывается на стенку наружного барабана, как показано на рис. 161.

Следующий удар порция материала получает уже в другом сечении барабанов, так как лопасти установлены под некоторым

углом к оси барабанов. Осевое перемещение материала в барабанах зависит от угла поворота лопастей. На комбайне КБК-1 лопасти внутреннего барабана не регулируются. Они установлены с постепенно возрастающим углом поворота от  $2^{\circ}25'$  до  $9^{\circ}36'$ .

Если принять точку  $O_2$  за начало системы координат с осями  $O_2X_2$  и  $O_2Y_2$ , параллельными осям  $OX$  и  $OY$ , то траекторию свободного полета центра масс слоя можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned}x_2 &= -v_a t \cos \delta; \\y_2 &= -v_a t \sin \delta - \frac{gt^2}{2},\end{aligned}$$

или в явном виде

$$y_2 = x_2 \operatorname{tg} \delta - \frac{gx_2^2}{2v_a^2 \cos^2 \delta}.$$

Координаты точки  $O_2$  в системе координат  $XOY$  будут

$$\begin{aligned}x_{O_2} &= R_1 \cos \alpha_{от}; \\y_{O_2} &= R_1 \sin \alpha_{от}.\end{aligned}$$

Отсюда траекторию полета слоя в системе координат  $XOY$  выразим следующим образом:

$$\left. \begin{aligned}x &= x_{O_2} + x_2 = R_1 \cos \alpha_{от} + v_a t \cos \delta; \\y &= y_{O_2} + y_2 = R_1 \sin \alpha_{от} - v_a t \sin \delta - \frac{gt^2}{2},\end{aligned} \right\} \quad (159)$$

а в явном виде

$$y = R_1 \sin \alpha_{от} - (x - R_1 \cos \alpha_{от}) \operatorname{tg} \delta - \frac{g(x - R_1 \cos \alpha_{от})^2}{2v_a^2 \cos^2 \delta}.$$

Движение материала по траектории  $O_2 - O_n$  продолжается до тех пор, пока лопасть не ударит по нему, что может произойти при различных положениях внутреннего барабана. Лопасть может только коснуться слоя в точке  $O_3$ , а встретиться с ним в точке  $O_{\max}$ .

Условие встречи материала с лопастями внутреннего барабана носит статистический характер и для обоснования расчета можно ввести понятие среднего положения встречи лопасти с материалом.

Определим время  $t_3$  свободного полета слоя до точки  $O_3$ . Координаты точки  $O_3$  можно найти, решив систему уравнений

$$y = R_1 \sin \alpha_{от} - (x - R_1 \cos \alpha_{от}) \operatorname{tg} \delta - \frac{g(x - R_1 \cos \alpha_{от})^2}{2v_a^2 \cos^2 \delta};$$

$$x^2 + y^2 = R_2^2,$$

где  $R_2$  — радиус внутреннего барабана по концам бил.

Зная координату  $X_{O_3}$ , можно из выражения (159) определить  $t_3$ . Поскольку в точке  $O_3$  лопасть только коснулась слоя, то после ее прохода материал продолжает свободный полет до момента подхода следующей лопасти, которая отстоит от первой на  $\frac{2}{3}\pi$ .

Время полета от точки  $O_3$  до точки  $O_{\max}$  будет

$$t_4 \approx \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{\omega_2},$$

где  $\omega_2$  — угловая скорость внутреннего барабана.

Подставив  $t_3$  и  $t_3 + t_4$  в выражение (159), получим значение крайних координат  $x_3, y_3$  и  $x_4, y_4$  возможных точек соударения била с материалом.

Среднее значение определим из выражений

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_4 - x_3}{2} \quad \text{и} \quad y_{\text{ср}} = \frac{y_4 - y_3}{2}.$$

Радиус вращения точки  $O_{\text{ср}}$  будет

$$R_{\text{ср}} = \sqrt{x_{\text{ср}}^2 + y_{\text{ср}}^2}.$$

При соударении с материалом в точке  $O_{\text{ср}}$  лопасть имеет скорость  $v_{O_{\text{ср}}} = \omega_2 R_{\text{ср}}$ .

Такую же скорость после удара имеет и материал.

В момент начала удара скорость материала

$$v_{\text{ср}} = \sqrt{x_{\text{ср}}^2 + y_{\text{ср}}^2}$$

и направлена под углом

$$\alpha = \text{arctg} \left( \frac{dy}{dx} \right).$$

В момент удара, как видно из рис. 161, угол между направлением скорости материала и плоскостью лопасти мал, следовательно, составляющей скорости, перпендикулярной плоскости лопасти, можно пренебречь.

Отсюда импульс силы в момент удара

$$S = F\Delta t \approx mv_{O_{\text{ср}}} = m\omega_2 R_{\text{ср}}.$$

Зерна овощного гороха в бобах могут выдержать удар металлической поверхности со скоростью  $v_{\text{доп}} = 5$  м/с.

Если считать, что удар неупругий, то

$$S_{\text{кр}} = mv_{\text{доп}}.$$

Исходя из условия неповреждения зерен, должно быть

$$S < S_{\text{кр}}.$$

Отсюда

$$\omega_2 R_{\text{ср}} < v_{\text{доп}} \text{ и } \omega_2 < \frac{v_{\text{доп}}}{R_{\text{ср}}}.$$

В предшествующем анализе рассматривали лопасть, параллельную оси барабана. В действительности она составляет с осью барабана угол  $\alpha_{\text{л}}$ . Нормальная составляющая удара будет меньше  $N_S = S \cos \alpha_{\text{л}}$ , следовательно,

$$\omega_2 < \frac{v_{\text{доп}}}{R_{\text{ср}} \cos \alpha_{\text{л}}}.$$

Частота вращения внутреннего барабана изменяется в пределах 108—216 об/мин.

Частота вращения выше критической требуется в ряде случаев в зависимости от степени спелости материала. При этом допускается дробление некоторой части зерен (до 5%).

После соударения с биллом внутреннего барабана вылушенные из бобов зерна и остальной материал отбрасываются на решетки наружного барабана под углом  $\alpha_{\text{л}}$  к плоскости поперечного сечения молотильных барабанов и перемещаются вдоль барабана на величину  $a$ , называемую шагом продвижения. Неподвижно закрепленные лопасти обеспечивают постоянный шаг продвижения материала вдоль барабана, а регулируемые лопасти могут ускорять или замедлять его прохождение через молотилку, что необходимо для уменьшения дробления зерна.

По расчету О. Е. Котовича при движении внутри барабана материал испытывает до 56 ударов [14].

Неоднородность бобов по степени спелости и твердости их зерен приводит во входной части барабанов к повышенному дроблению нежных и слабых зерен, находящихся в стадии молочной спелости, тогда как более спелые бобы не расщепляются. В связи с этим необходимо, чтобы сила удара в начале процесса была меньше, чем в конце. Такой режим обмолота могут обеспечить конические барабаны. На основании исследований О. Е. Котовича угол конусности барабанов должен быть около 1°.

## Глава VII

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ

#### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ

После выкапывания или подбора из валков корнеплоды и луковицы подвергаются первичной обработке, заключающейся в отделении растительных и почвенных примесей. Для этой цели используются прутковые транспортеры (пункт сортирования моркови ПСК-6), гирационные грохоты (пункты механизированной обработки лука ПМЛ-6, Б-902) и переборочные столы.

Транспортеры и грохоты по конструкции аналогичны сепарирующим органам уборочных машин, их рабочие режимы принимаются такими же как и в уборочных машинах (см. гл. IV).

Переборочные столы чаще всего представляют собой горизонтальные или наклонные ленточные транспортеры с гладкой (ровной), планчатой или роликовой поверхностью. Рабочая поверхность таких переборочных столов разделяется вдоль полотна на несколько ручьев (рис. 162, а). Обычно выделяют три рабочих ручья: центральный, предназначенный для транспортирования основного материала, и два боковых — для примесей (комков почвы, растительных остатков и т. д.). Переборочные столы используются также для переборки продовольственной и семенной фракций овощей. В этом случае делители устанавливаются под углом к поперечной оси транспортерного полотна (рис. 162, б).

Основные параметры переборочных столов установлены с использованием опыта горнообогатительной промышленности и уборки картофеля [13].

Длина  $L_{\text{п}}$  и ширина  $B_{\text{п}}$  транспортера зависят от линейной скорости его рабочей поверхности  $v_{\text{п}}$  и количества рабочих мест  $P_{\text{п}}$ . Скорость рабочей поверхности принимается не более

0,4 м/с, а количество рабочих мест определяется из соотношения

$$P_n = 0,03 \frac{Q_n t_k}{m_{ср}}, \quad (160)$$

где  $Q_n$  — производительность переборочного транспортера;  
 $t_k$  — время, необходимое на удаление одного комка почвы, камня, растительного остатка и т. п. ( $t_k = 1,5 \div 2$  с);  
 $m_{ср}$  — средняя масса выбираемого компонента.

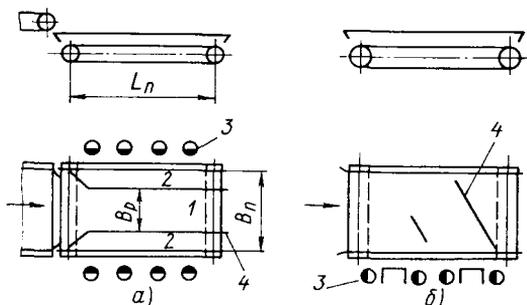


Рис. 162. Принципиальные схемы переборочных столов с делителями:

*a* — с продольными; *б* — с поперечными; 1 и 2 — соответственно русло для плодов и примесей; 3 — рабочее место переборщиков; 4 — делители

В зависимости от типа длина переборочного транспортера может быть определена по следующим формулам:

для двухсекционного (рабочие располагаются только с одной стороны)

$$L_n = P_n l_p + c,$$

где  $l_p$  — ширина рабочей зоны одного рабочего; принимается обычно 0,6—1,0 м;

$c$  — расстояние от конца рабочей зоны до вала транспортера; принимается в пределах 0,2—0,25 м.

для трехсекционных (рабочие располагаются с обеих сторон транспортера)

$$L_n = \frac{1}{2} P_n l_p + c.$$

Ширина транспортера  $B_n$  зависит от количества рабочих и вспомогательных секций.

$$B_n = k_p B_p + k_{вс} B_{вс},$$

где  $k_p$  — количество рабочих секций;

$B_p$  — ширина рабочей секции;

$k_{вс}$  — количество вспомогательных (для отвода примесей) секций;

$B_{вс}$  — ширина вспомогательной секции (принимается 0,15—0,20 м).

Рабочую ширину транспортера рекомендуется определять по зависимости [13]:

$$B_p = \frac{Q_n}{3600 h_T \gamma_n v_n \psi},$$

где  $h_T$  — высота транспортируемого слоя. Определяется высотой компонентов перебираемого материала, который должен располагаться в один слой. Для моркови и редиса может быть принята  $h_T = 0,05 \div 0,06$  м, а для лука и других корнеплодов  $h_T = 0,07 \div 0,10$  м.

$\gamma_n$  — насыпная масса перебираемого материала в т/м<sup>3</sup>;

$\psi$  — коэффициент заполнения рабочей поверхности; рекомендуется принимать 0,2—0,4.

### РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ БОТВЫ

Отделение ботвы является одной из наиболее трудоемких операций при уборке и послеуборочной обработке овощных культур.

Ботва может удаляться перед извлечением плодов из почвы (обрезка ботвы на корню), в процессе уборки рабочими органами уборочной машины (например, при тереблении корнеплодов) или в процессе послеуборочной обработки на стационарных машинах (пунктах).

Обрезка ботвы на корню производится, как правило, в два этапа: обрезка на высоту 80—100 мм машинами роторного типа, например, косилкой КИР-1,5Б, а затем обрезка на заданную агротехническими требованиями высоту специальными обрезчиками. Такая технология обрезки ботвы относится в основном к моркови и рассмотрена в гл. IV. Здесь остановимся только на ботвоудаляющих устройствах машин послеуборочной обработки лука и корнеплодов.

К настоящему времени создано большое количество различных рабочих органов для отделения ботвы. По способу выполнения технологического процесса они могут быть разделены на три типа: рабочие органы, осуществляющие отминку, обрыв или обрезку ботвы.

Отминочные устройства (рис. 163, а и б) чаще всего встречаются барабанного типа и используются для очистки лука. Внутри барабана размещают вращающийся вал с расположенными по спирали пальцами, которые ворошат поступающий в барабан материал и одновременно продвигают луковицы к выходу. Такие устройства могут быть одновальными (рис. 163, а), например, барабан машины ЛПС-6, или двухвальные (рис. 163, б). Отделение ботвы в этих устройствах осуществляется за счет многократного ворошения материала пальцами.

Достоинством устройств отминочного типа является то, что они, во-первых, не требуют поштучной подачи и ориентации луковиц ботвой в одну сторону и, во-вторых, могут быть использованы без переоборудования для обработки не только репчатого лука, но и лука-севка. Однако они имеют и существенный недостаток — использование их эффективно лишь при невысокой

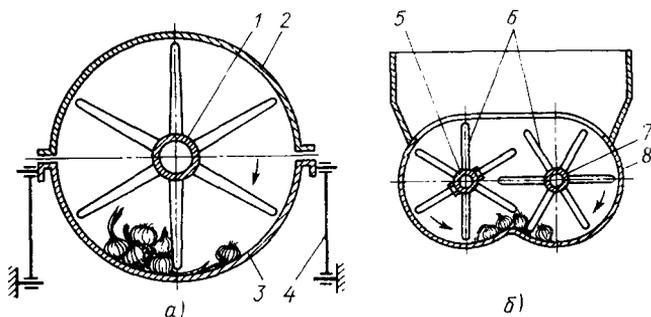


Рис. 163. Схемы барабанных отминочных рабочих органов:

*a* — одновальный барабан; *б* — двухвальный барабан; 1, 5 и 7 — валы; 2 — верхний неподвижный желоб; 3 — нижний колеблющийся поддон; 4 — подвески поддона; 6 — пальцы; 8 — барабан

влажности ботвы. Так, при влажности ботвы свыше 40% машина ЛПС-6,0 практически не отделяет ботву, а при влажности 25,7% количество луковиц с длиной ботвы до 3 см составляет лишь 44,9%, при угле наклона барабана 1,5° и 67,5% при угле наклона — 3°.

В двухвальных барабанных устройствах валы устанавливаются относительно друг друга на расстоянии, меньшем чем диаметр вала по краям пальцев. В процессе работы пальцы одного вала проходят между пальцами второго. Благодаря такому перекрытию пальцев происходит более интенсивное ворошение поступающего материала и лучшее отделение ботвы. Так, при влажности ботвы 27,7% и угле наклона барабана 5° количество луковиц с длиной ботвы до 3 см составляет 81,8%. Однако двухвальные барабаны, как и одновальные, оказываются неработоспособными при повышенной влажности ботвы.

При проектировании отминочных устройств диаметр одновального барабана  $D$  принимают равным 700—850 мм, двухвальных — 500—600 мм, а расстояние между центрами валов  $\frac{4}{5}D$ .

Производительность агрегата зависит от интенсивности заполнения барабана материалом  $\psi_b$  (для одновальных барабанов  $\psi_b = 0,2 \div 0,25$ , а для двухвальных — до 0,35) и определяется по формуле

$$Q_b = 0,047 l_{пл}^2 \psi_b t_{пл} n_6 \gamma_n k_6, \quad (161)$$

где  $l_{п.л}$  — длина пальца;  
 $t_{п.л}$  — шаг витков;  
 $n_б$  — частота вращения вала барабана;  
 $\gamma_n$  — насыпная масса перерабатываемого материала;  
 $k_б$  — коэффициент, учитывающий количество пальцев на длине одного шага, определяется опытным путем и находится в пределах 0,05—0,12.

К устройствам, отрывающим ботву от луковиц, относятся валиковые очистители (рис. 164, а—в), в которых используются валики с различными рабочими поверхностями. Существенное преимущество валиковых очистителей перед другими состоит в том, что в них операции ориентации луковиц и отрыва ботвы происходят одновременно и выполняются одним и тем же рабочим органом. На качество отделения ботвы рабочими органами обрывочного типа ее влажность практически влияния не оказывает.

Фирмой Брюннер (США) разработана очистительная платформа, состоящая из шести пар валиков, вращающихся навстречу один другому (рис. 164, а). В каждой паре один валик установлен жестко, а второй прижимается к нему специальными пружинами. На поверхности валиков имеются спиральные

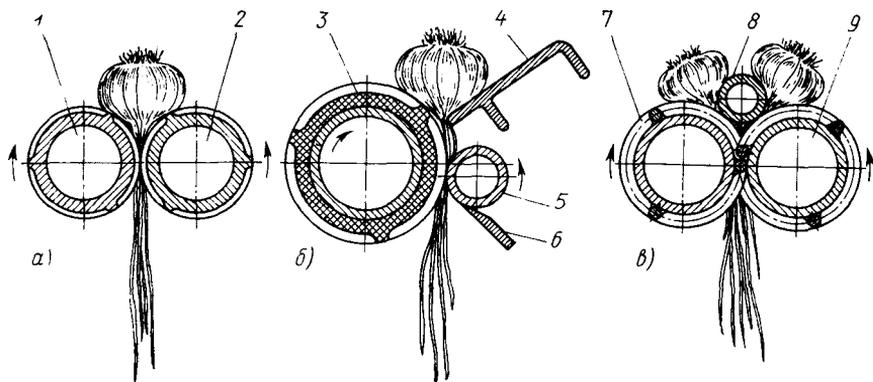


Рис. 164. Валиковые очистители:

а — без упора; б — с упорной планкой; в — с упорным прутком; 1 — левый вал; 2 — правый вал; 3 — валик с резиновым покрытием и спиральным выступом; 4 — упорная планка; 5 — гладкий валик; 6 — чистик валика; 7 и 9 — валы со спиральными выступами; 8 — упорный пруток

выступы трапецеидальной формы высотой 10 мм и изменяющейся шириной. Такая конфигурация выступа обусловлена желанием улучшить захватывающую способность валиков, а также обеспечить эффективный обрыв сырой ботвы.

Очистительные платформы могут устанавливаться на уборочной машине или использоваться как самостоятельный агрегат при послеуборочной обработке. Качество работы такого очистителя в значительной степени определяется местом расположения

его в технологической схеме уборки. Если он используется как стационарный агрегат при послеуборочной обработке корнеплодов и лука, то обрыв ботвы достигает 100%, при этом 11—23% корнеплодов и луковиц повреждаются спиральным выступом валиков, а у 8—10% луковиц ботва обрывается с мякотью.

Если очиститель устанавливают в уборочной машине, то на поверхность валиков вместе с плодами поступают почвенные примеси и растительные остатки, благодаря этому количество повреждений снижается, а качество работы ухудшается. По данным полевых испытаний при уборке лука валиковый очиститель машины «Брюннер-5А» обрывает ботву лишь у 80,53% луковиц, но при этом повреждения составляют только 2,18%.

Чтобы уменьшить воздействие валиков и, следовательно, количество повреждений, в машине Б-902, ГДР (рис. 164, б) один из валиков покрыт слоем резины, а второй — металлический валик закрыт планкой, которая одновременно является упором для луковицы при отрыве ботвы и перемещении вдоль валиков.

Такие конструктивные изменения позволили резко снизить повреждения и сохранить при этом высокое качество работы. Как показали испытания, у 99,4% луковиц длина ботвы не превышает 5 см. Однако наличие упорной планки ухудшает работу этого очистителя при повышенной влажности ботвы; так при влажности ботвы 39,7% число луковиц с отделенной ботвой составляет 83,5% (против 99,4% при влажности 25,7%). Производительность очистительной платформы, состоящей из пяти таких пар валиков, невысока и составляет около 1,54 т за час чистого времени.

Голландской фирмой П. Я. Звингерс эн Зонен разработана лукоочистительная машина Z-170 С, в которой ботва отрывается вращающимися валиками. Платформа состоит из пяти пар валиков (рис. 164, в), один из которых установлен жестко, а второй прижимается к нему пружиной. Каждый валик снабжен спиральным выступом круглого сечения, при этом выступ одного валика находится в постоянном контакте с выступом второго. Для увеличения производительности очистителя над каждой парой валиков установлен упорный прут, разделяющий рабочую щель на два ручья.

Производительность такого очистителя достигает 8,5 т за час чистого времени. Качество работы довольно высокое: количество луковиц с отделенной ботвой составляет 88,6%, повреждения при обработке острых сортов лука, характеризующихся плотной луковицей, не превышают 3,5%.

Подобные устройства с незначительными изменениями используются и при обработке лука-севка. Изменения касаются упорного прутка, который изготовляют в виде прямоугольного деревянного бруса с противорезущими пластинами по бокам. Производительность при этом снижается до 1 т/ч, повреждения возрастают до 5,2%, а качество работы остается высоким — ко-

личество луковиц севка с длиной ботвы до 2 см составляет 91,8%.

Однако при обработке лука сладких и полуострых сортов, а также лука-севка диаметром менее 15 мм повреждения резко возрастают и достигают 50%. Это обусловлено тем, что в процессе работы очистителей валикового типа луковицы постоянно находятся в контакте с рабочей поверхностью валиков.

Производительность валиковых очистителей можно рассчитать по формуле

$$Q_B = 60\psi_B m_{\text{ср}} n P_B, \quad (162)$$

где  $\psi_B$  — количество корнеплодов (луковиц), размещаемых на длина шага витка; для одноручьевых валиков  $\psi_B = 12 \div 18$ ; для двухручьевых  $\psi_B = 15 \div 32$ ;

$m_{\text{ср}}$  — средняя масса корнеплода (луковицы);

$n$  — частота вращения валика;

$P_B$  — число пар валиков.

Шаг витка выбирают из условия защемления ботвы спиралью валика, которое выполняется, если угол наклона винтовой линии и угол трения ботвы о валик в сумме меньше  $90^\circ$ .

Для отделения ботвы моркови наиболее эффективным рабочим органом является эксцентрико-вальцовый очиститель (рис. 165). Принцип работы его основан на использовании свойств хрупкости ботвы корнеплодов при изгибе. При вращении вальцов ботва затягивается между ними, а корнеплод опираясь о поверхность вальцов совершает колебательное движение по сложной траектории.

При определенном кинематическом режиме корнеплод отрывается от одного вальца и попадает на другой, затем процесс повторяется в обратном направлении и т. д. В результате такого воздействия защемленная между вальцами ботва отрывается. По данным исследований В. И. Федорова [29] перебрасывание корнеплода с одного вальца на другой выполняется, если

$$\frac{\omega^2 r_B}{g} \geq \frac{\gamma \pm \lambda \sqrt{\gamma^2 - 1}}{\pm \gamma^2 \left(1 \pm \frac{\lambda}{\gamma}\right) \sqrt{\gamma^2 - 1}} \left(1 \pm \frac{2T_3}{G}\right),$$

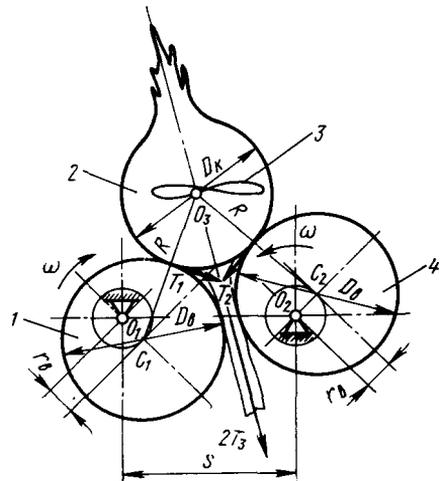


Рис. 165. Эксцентрико-вальцовый очиститель:

1 и 4 — вальцы; 2 — корнеплод; 3 — траектория движения центра тяжести корнеплода

где

$$\gamma = \frac{2R}{s}; \quad \lambda = \frac{2r_B}{s};$$

$$R = \frac{D_B + D_K}{2};$$

$T_3$  — усилие затягивания корнеплода вальцами;

$G$  — вес корнеплода;

$D_B$  — диаметр вальца;

$D_K$  — диаметр корнеплода;

$r_B$  — эксцентриситет;

$s$  — расстояние между осями вращения валцов.

Полнота отделения ботвы эксцентрико-вальцовым очистителем определяется в основном его кинематическим режимом работы, т. е. частотой вращения валиков и эксцентриситетом. В результате экспериментальных исследований выявлена следующая зависимость между коэффициентом полноты отделения ботвы  $\eta_6$  и эксцентриситетом [29]:

$$\eta_6 = c - ae^{br_B},$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — эмпирические коэффициенты (табл. 23).

Таблица 23

Значения коэффициентов  
 $a$ ,  $b$  и  $c$

Частота вращения валцов очистителя в об/мин	$a$	$b$	$c$
300	133	0,042	171
500	86	0,083	126
700	76	0,113	124

В устройствах для обрезки ботвы (рис. 166,  $a - e$ ) луковицы, как правило, отделены от рабочей поверхности очистителя, поэтому они повреждаются меньше. Однако при работе этих очистителей требуется предварительная строгая ориентация луковиц ботвой в сторону режущего аппарата. Это достигается различными способами.

В лукоуборочных машинах теребильного типа используется естественная ориентация луковиц, обусловленная их произрастанием.

Подобное устройство применено в теребильной машине Калифорнийской опытной станции (рис. 166,  $a$ ). Извлеченные из почвы луковицы подаются теребильными ремнями к обрезающим дискам, ботва захватывается дополнительной парой ремней и после обрезки выбрасывается на поверхность поля. Предварительное выравнивание луковиц, как это делается в машинах для уборки моркови, не производится, поэтому равномерная обрезка по высоте не достигается. Кроме того, в соответствии с принятой в нашей стране технологией уборки лука, ботву отделяют только после сушки и дозревания, в процессе которых часть питательных веществ переходят из ботвы в луковицу.

В других устройствах для обрезки ботвы предусматривается принудительная ориентация луковиц.

В США для уборки лука применяются машины, в которых ботва обрезается режущим аппаратом косилочного типа, а луковицы ориентируются ботвой вверх под действием воздушного потока (рис. 166, б). Луковицы подаются к обрезавшему аппарату прутковым транспортером. При равномерной подаче на транспортер достигается высокий процент обрезки ботвы. При нарушении равномерности подачи качество работы аппарата

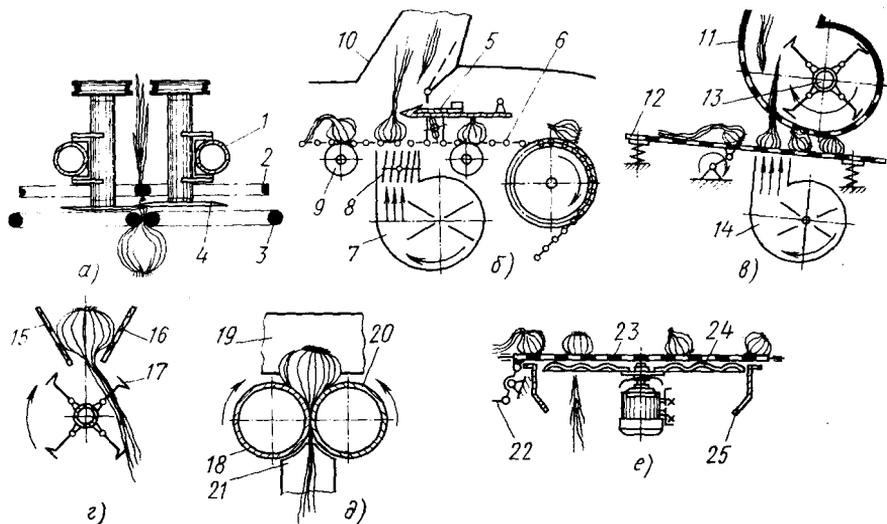


Рис. 166. Схемы устройств для обрезки ботвы:

*a* — механизм обрезки ботвы лука теревильной машины; *б* — механизм обрезки режущим аппаратом косилочного типа; *в* — механизм обрезки ботвы ножами ротора; *г* — роторный механизм обрезки с поштучной подачей луковиц; *д* — роторный механизм обрезки с ориентацией луковиц гладкими валиками; *е* — механизм обрезки лопастным ножом; 1 — рама; 2 — дополнительные клиновые ремни; 3 — теревильные ремни; 4 — дисковые ножи; 5 — режущий аппарат; 6 — прутковый транспортер; 7 и 14 — вентиляторы; 8 — направляющий дефлектор; 9 — поддерживающие ролики; 10 — заслонка; 11 — ограничительная прутковая решетка; 12 — гирационный грохот; 13 и 17 — роторы; 15 и 16 — трости грохота; 18 и 20 — вращающиеся гладкие валки; 19 — лопасть подающего транспортера; 21 — ножи ротора; 22 — привод решета грохота; 23 — решето грохота; 24 — двухлопастной нож; 25 — кожух

резко снижается, возрастают повреждения луковиц. Это объясняется тем, что прутковый транспортер не обладает способностью рассредоточить поступающий на него материал.

В устройствах, где ботва обрезается ротором, а луковицы подаются гирационным грохотом (рис. 166, в), эти недостатки отсутствуют. Между ножами ротора и решетом грохота установлена прутковая решетка, предотвращающая повреждение луковиц ножами. Испытания показали, что удовлетворительная работа этого устройства может быть достигнута при таком режиме грохота, когда луковицы перемещаются по решетке без подбрасывания. Такому режиму соответствует частота вращения

$$n \leq 30 \sqrt{\frac{\cos \alpha}{A}}, \quad (163)$$

где  $\alpha$  — угол наклона решета грохота;

$A$  — амплитуда колебаний.

При этом скорость воздушного потока не должна превышать скорости витания (критической) лука. В зависимости от веса, размера и формы луковиц критическая скорость воздуха колеблется в пределах 18,4—28,7 м/с. Превышение этой скорости приводит к тому, что луковицы округло-плоской и плоской формы не ориентируются ботвой в сторону режущего аппарата. Лучшие результаты получены при обрезке луковиц диаметром 36—40 мм: нормально обрезанная ботва у 82—89% луковиц, повреждения у 1,5—2%. Для улучшения работы этого устройства особенно при обработке луковиц диаметром до 35 мм (выборки) целесообразно ротор расположить под решетом грохота, которое будет выполнять роль ограничительной решетки.

Устройства для обрезки ботвы имеются в ряде машин ФРГ (рис. 166, *з*). Ротор в этих устройствах установлен под решетом, трости которого расположены под углом друг к другу, образуя желоб, и совершают колебательное движение. Над каждым желобом с определенным интервалом установлены эластичные щитки, упираясь в которые луковицы поворачиваются ботвой вниз. Вал ротора размещен вдоль желоба и при вращении вала ножи срезают свисающую ботву. Режимы колебаний решета принимаются такими, чтобы перемещение луковиц или корнеплодов осуществлялось скольжением (без подбрасывания). Частота вращения ротора 800—1500 об/мин.

В некоторых устройствах обрезающего типа ориентация луковиц выполняется валиками, не имеющими спиральных выступов (рис. 166, *д*). Ботва протаскивается между вращающимися валиками и обрезается внизу ножами ротора. Продвижение луковиц вдоль валиков осуществляется специальным транспортом со скребками. Такое устройство имеет низкую производительность и не обеспечивает устойчивого выполнения технологического процесса (гладкие валики не всегда захватывают ботву лука).

Большой интерес представляет очиститель голландской фирмы Финиш (рис. 166, *е*), в котором ботва обрезается двухлопастным ножом, расположенным под решетом грохота. Лопастный нож установлен под углом к решетку грохота, благодаря чему при вращении ножа создается воздушный поток, под воздействием которого ботва затягивается в щели и затем обрезается лезвием ножа. Производительность такого устройства достигает 2,7 т на 1 м<sup>2</sup> решета, при этом полностью исключаются повреждения товарного лука. Этот очиститель дает высокое качество обрезки лука всех сортов.

## РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ ОВОЩЕЙ

В качестве сортирующего признака овощных культур принимают их диаметр. Сортирование может производиться на различных поверхностях: для плодов округло-плоских и плоских форм целесообразнее использовать поверхность с круглыми отверстиями; для конусо- и веретенообразных форм — шелевую поверхность. Для сортирования овощей используются все типы сортирующих рабочих органов: грохотные (отечественные сортировки СЛС-1Б, СЛС-7, зарубежные ВЦО1, ТБ-26, ЛДГ-С, Л4Т и др.), роликовые («Куч»), транспортные («Локвуд» 5-РО-48-10, Б-902, ПСК-6,0 и др.), барабанные (Ну-сорт) и комбинированные.

### Грохотные сортирующие органы

Сортировки грохотного типа могут быть качающимися, вибрационными или полувибрационными; с последовательными или параллельным расположением решет; с одним или несколькими решетками и др. В овощеводстве наибольшее распространение получили качающиеся грохоты с параллельным (ярусным) расположением решет (СЛС-1Б, СЛС-7, ТБ-26 и др.) и однорешетные (ЛДТ-С), «Гермес» и др.). Качество сортирования и производительность грохотных сортировок зависят от скоростных режимов.

Опытом эксплуатации сортировок при обработке овощных культур установлено, что наиболее эффективными являются режимы, при которых сортируемый материал перемещается без отрыва от поверхности решета. Целесообразность таких режимов обусловлена не только более продолжительным временем пребывания компонентов на поверхности решета, но и повреждаемостью плодов при более интенсивных режимах.

При отсутствии подбрасывания возможны два типа движения материала [19]: безостановочное скольжение в направлении уклона решета и скольжение с остановками. Движение первого типа не представляет интереса при выборе режимов работы грохотных сортировок, поскольку, обеспечивая высокую производительность, оно не дает желаемого качества сортирования.

Наиболее приемлемым следует считать второй тип движения сортируемых компонентов. Режимы, обеспечивающие именно такой тип движения, разделяют на четыре вида [3]:

- 1) движение частиц вперед и назад с двумя продолжительными остановками в каждом цикле;
- 2) движение частиц вперед и назад с двумя мгновенными остановками в каждом цикле;
- 3) движение частиц вперед и назад с одной длительной и одной мгновенной остановкой в каждом цикле; при этом длитель-

ная остановка может следовать после движения вперед (3А) или после движения назад (3Б);

4) движение частиц с одной длительной остановкой в каждом цикле после движения вперед (4А) или назад (4Б).

Границы существования указанных режимов определяются решением трансцендентного уравнения

$$-g \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos \varphi} (t_k - t_n) - \frac{\omega r \cos(\beta \pm \varphi)}{\cos \varphi} (\cos \omega t_k - \cos \omega t_n) + v_{T_x} = 0, \quad (164)$$

где  $t_n$  и  $t_k$  — соответственно момент времени начала и конца скольжения частицы по решетке.

Решение этого уравнения аналитическим путем затруднено, поэтому границы режимов, обеспечивающих указанный тип движения, могут быть определены по графику (рис. 167), предложенному И. И. Блехманом [3], где

$$K_{л+} = \frac{g \sin(\alpha + \rho_1)}{\omega^2 A \cos(\beta - \rho_1)};$$

$$K_{л-} = \frac{g \sin(\alpha - \rho_1)}{\omega^2 A \cos(\beta + \rho_1)},$$

где  $\rho_1$  — угол трения покоя.

Грохотные сортировки находят наиболее широкое распространение при обработке овощных культур особенно таких как лук, редис и др. Качество их работы довольно высокое. По опытным данным при сортировании лука на грохотной сортирующей поверхности (амплитуда колебаний 35 мм,

частота — 250 кол/мин) обеспечивается следующая чистота фракций: для репчатого лука при диаметре луковиц более 41 мм — 98,36—99,78%; более 36 мм — 89,28—96,66%; более 23 мм 98,68—100%; для лука-севка первой группы — 91,17—97,3%; второй — 82,40—99,18%; третьей — 92,67—98,19% и мелкого отхода — 89,90—95,99%.

Повреждений и оголений (снятие верхних чешуй) не наблюдается.

Овощные сортировки нередко имеют в качестве рабочего органа гирационный грохот. Параметры такого грохота принимают такими же, как и при сепарации почвы, а режимы работы рекомендуется определять по формуле (163).

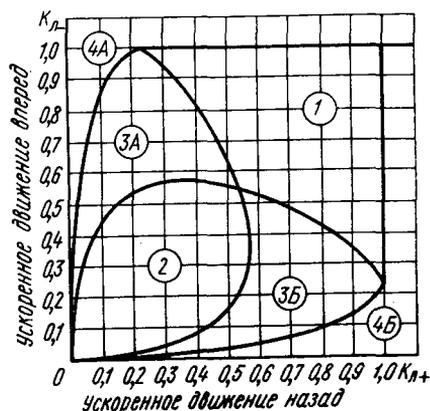


Рис. 167. График решения уравнения движения частицы по решетке грохота:

1 — 4 — области существования соответствующих режимов движения

## Роликовые сортирующие органы

Роликовые рабочие органы имеют отверстия двух видов: круглые, образованные поперечными фигурными роликами, и щелевые, образованные винтовыми продольными роликами. Наибольшее распространение получили сортирующие поверхности с поперечными роликами. Перемещение компонентов по этим поверхностям осуществляется за счет принудительного вращения роликов.

Одними из важных работ, посвященных изучению процессов сортирования на роликах, являются работы А. А. Сорокина

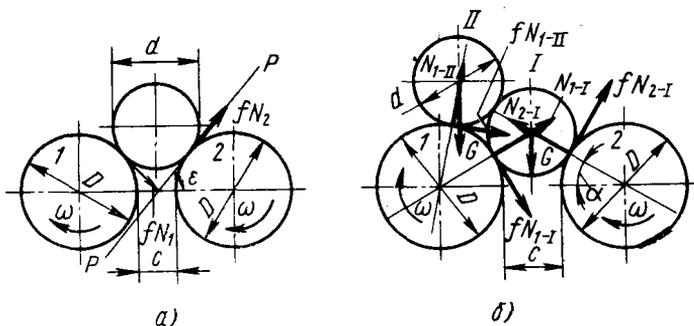


Рис. 168. Схема взаимодействия с роликами:  
а — одиночного плода; б — группы плодов

и Н. Н. Колчина [13]. Основные положения этих работ использованы при определении параметров и режимов работы роликовой сортирующей поверхности для овощных культур.

Взаимодействие сортируемых плодов с роликами сводится к двум случаям (рис. 168, а и б):

1) одиночный плод находится во впадине между роликами;

2) один плод находится во впадине между роликами, а второй во впадине между первым плодом и роликом.

В первом случае (рис. 168, а) при вращении роликов плод может вращаться во впадине или будет переброшен через ролик в следующую впадину. Последнее является непременным условием нормальной работы сортирующих роликов. Перебрасывание плодов через ролик возможно, если угол  $\epsilon$ , образованный касательной  $PP$  с горизонталью, не превышает угол качения плода. Это условие выполняется при следующем соотношении диаметров ролика  $D$ , плода  $d$  и зазора  $c$ :

$$D = \frac{d \sin(\alpha + \varphi) - c}{1 - \sin(\alpha + \varphi)}. \quad (165)$$

Отсюда минимальный диаметр плода, который может транспортироваться по горизонтальной роликовой поверхности,

$$d \geq \frac{D(1 - \sin \varphi) + c}{\sin \varphi}.$$

Во втором случае (рис. 168, б) воздействие верхнего плода (за счет возникновения силы  $fN_{I-II}$ ) способствует перескакиванию нижнего через ролик в следующую ячейку, и минимальный диаметр ролика может быть принят меньше. Н. Н. Колчин рекомендует ориентировочно определять значение  $D$  по уравнению (165), а область рациональных значений  $D$  при ранее заданных  $d$  и  $c$  по выражению

$$\frac{d \cos \varphi - c}{1 - \cos \varphi} < D < 0,4d - \frac{c - \sqrt{5,6d^2 + c(c - 0,7d)}}{2}. \quad (166)$$

Ширину роликовой поверхности при заданной производительности определяют из соотношения

$$B = \frac{Q}{q_p},$$

где  $Q$  — производительность роликовой поверхности в кг/с;  
 $q_p$  — удельная производительность в кг/(с·м).

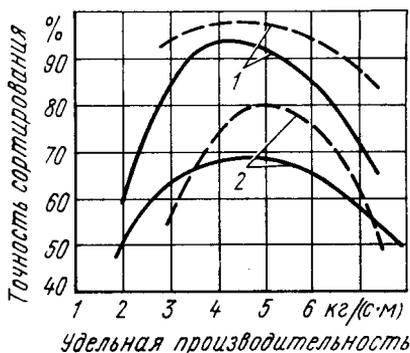


Рис. 169. Влияние удельной производительности роликовой (штриховые линии) и ременной (сплошные линии) сортирующей поверхности на точность сортирования:

1 — крупная фракция; 2 — мелкая фракция

Удельная производительность оказывает существенное влияние на качество сортирования (рис. 169). Ее значения в т/(ч·м) в зависимости от типа сортирующей поверхности могут быть приняты следующие: для решетной 7,0—8,8; для роликовой 12,5—21,0; для ременной 14,5—19,8.

Максимальная ширина сортирующей поверхности определяется допустимой длиной ролика и не должна превышать 0,9 м. Увеличение длины ролика приводит к прогибам его, резкому снижению качества сортирования и увеличению повреждений плодов.

Частоту вращения роликов находят из условия

$$g \sin \alpha = \omega^2 \left( \frac{D+d}{2} \right),$$

откуда

$$n_p = \frac{42,5}{D+d} \sqrt[4]{(D+d)^2 - (D+c)^2}. \quad (167)$$

Для определения скорости движения плодов по поверхности роликов рекомендуется формула

$$v_{\text{п}} = (0,4 \div 0,6) \frac{\pi D_{\text{пр}}}{60}$$

### Транспортерные сортирующие органы

К группе транспортерных сортирующих органов относятся ременные, сетчатые и желобчатые.

Ременные рабочие органы образуются бесконечными движущимися ремнями круглого сечения, расположенными веерообразно.

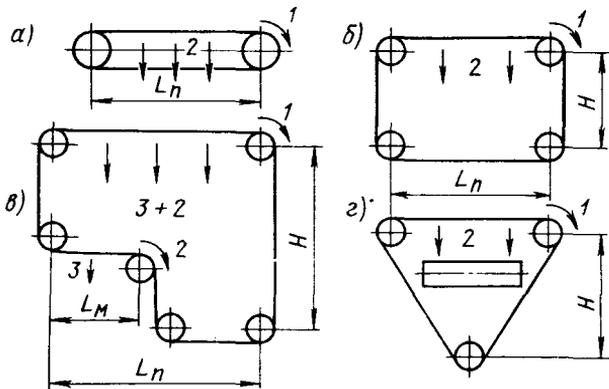


Рис. 170. Ременные сортирующие рабочие органы:

*а* — двухвальный; *б* — четырехвальный; *в* — многовальный; *г* — трехвальный; 1, 2 и 3 — соответственно крупная, средняя и мелкая фракции

разно с увеличивающимся шагом по направлению технологического процесса. Различают двух-, четырех- и многовальные ременные рабочие органы (рис. 170, *а—г*); при этом наибольшее распространение получили четырехвальные.

Основными параметрами ременной сортирующей поверхности являются рабочая ширина; длина; линейная скорость ремней и др.

Ширину рабочей поверхности ременных сортировок определяют из соотношения

$$B = \frac{Q}{q_{\text{рем}}},$$

где  $q_{\text{рем}}$  — удельная производительность ременной поверхности в кг/(с · м). При расчетах принимается в зависимости от требуемого качества сортирования (см. рис. 168) или по данным, приведенным на стр. 270.

Величину  $B$  рекомендуется также определять по допустимой удельной нагрузке на единицу площади ременной сортировальной поверхности [2]:

$$B = \frac{Q}{q_{\text{п}} v_{\text{рем}}},$$

где  $q_{\text{п}}$  — удельная нагрузка ременной поверхности; принимают 0,8—1,0 кг/м<sup>2</sup>;

$v_{\text{рем}}$  — линейная скорость ремней, по опытным данным рекомендуется принимать в пределах 0,4—0,6 м/с.

Длина сортировальной поверхности

$$L_{\text{п}} = L_{\text{м}} + L_{\text{с}},$$

где  $L_{\text{м}}$  и  $L_{\text{с}}$  — длина участков для выделения соответственно мелкой и средней фракции.

Длину участков  $L_{\text{м}}$  и  $L_{\text{с}}$  рекомендуется определять по удельной производительности и теоретическому коэффициенту точности сортирования корнеплодов [13]. Однако предлагаемый способ связан с определенными трудностями, так как пока еще нет достаточных экспериментальных данных для определения значений этих коэффициентов.

Л. С. Бакулев рекомендует определять длину сортирующей ременной поверхности по коэффициенту точности разделения фракций [2]. Полнота выделения мелких корнеплодов зависит, как известно, от длины сортирующей поверхности и коэффициента сепарации. Эта зависимость определяется эмпирической формулой

$$K_{\text{м}} = e^{-\mu L_{\text{м}}},$$

где  $K_{\text{м}}$  — коэффициент точности сортирования для мелкой фракции;

$\mu$  — коэффициент сепарации.

При подаче 1 кг/с найден экспериментальным путем коэффициент  $K_{\text{м}}$ , а затем  $\mu$ . По уравнению  $K_{\text{м}} = e^{-1,38L_{\text{м}}}$  построена кривая изменения коэффициента  $K_{\text{м}}$  в зависимости от  $L_{\text{м}}$  (рис. 171). Этот график позволяет определить необходимую длину рабочей поверхности по заданному значению коэффициента точности разделения для крупной  $K_{\text{к}}$  и мелкой  $K_{\text{м}}$  фракций. Как видно из графика, для  $K_{\text{м}} = 0,1$  оптимальной длиной сортирующей поверхности  $L_{\text{м}}$  следует считать 1500 мм.

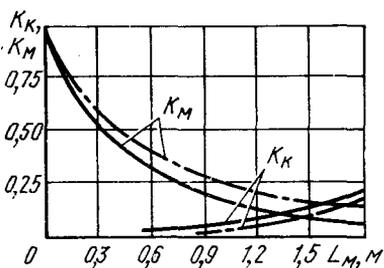


Рис. 171. Влияние длины решета на точность сортирования

Интенсивность процесса сортирования в значительной степени

зависит от характера перемещения ремней. При встряхивании ремней роликами длина сортирующей поверхности может быть уменьшена. Так, по графику (рис. 171) длина ременной поверхности со встряхивателями (сплошная линия на графике), при которой обеспечивается  $K_{\text{м}} = 0,1$ , составляет всего 1050 мм, против 1500 мм без встряхивателей (штрих-пунктирная линия).

Встряхиватели должны обеспечивать такой режим работы, при котором корнеплоды отрываются от поверхности ремней. Этому условию при заданной линейной скорости ремней  $v_{\text{рем}}$  и диаметре ведущего ролика  $D_p$  отвечает следующая частота вращения ведущего вала:

$$n = \frac{60v_{\text{рем}}C}{\pi D_p},$$

где  $C$  — число кулачков встряхивателя.

Сетчатые рабочие органы образуются бесконечной металлической сеткой с квадратными или шестиугольными отверстиями по четырехвальной схеме. Такую рабочую поверхность имеет сортировка 5-Р0-48-10 фирмы Локвуд. Параметры сетчатой рабочей поверхности определяются так же как и ременной.

Желобчатые рабочие органы представляют собой установленные с постоянно расширяющейся щелью планки, под которыми расположен прутковый транспортер с пальцами. Пальцы, двигаясь вдоль щели, перемещают плоды, которые в зависимости от размера проскакивают в определенном месте щели. Такой рабочий орган установлен на сортировке Б-908, ГДР (рис. 172). По опытным данным, качество сортирования желобчатыми рабочими органами невысокое, при сортировании лука пересортица (примеси другой фракции) составляет 7,4—66,6%.

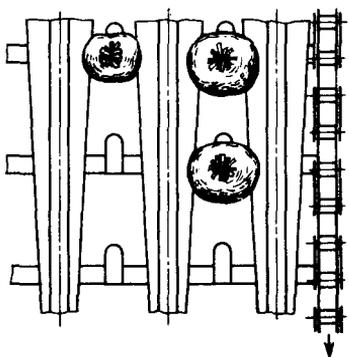
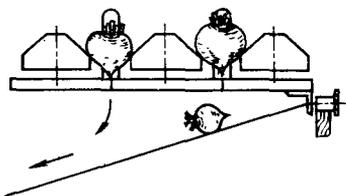


Рис. 172. Желобчатая поверхность сортировки Б-908

### Барабанные сортирующие органы

Для сортирования овощных культур применяют барабанные рабочие органы: конусные с горизонтальным расположением оси и цилиндрические с наклоном оси в направлении технологического процесса. Различают две группы барабанных рабочих органов с последовательным и концентрическим расположением решет. Наибольшее распространение получили рабочие органы первой группы с прямоугольными или квадратными сортирующими отверстиями.

Основные параметры барабанных рабочих органов рекомендуется выбирать следующими:

диаметр барабана, по опытным данным, — в пределах  $D = 0,5 \div 1,0$  м;

частоту вращения барабана

$$n_6 = 30 \sqrt{\frac{\sin(\varphi_1 - \varphi)}{R \sin \varphi}}, \quad (168)$$

где  $\varphi_1$  — угол поворота барабана до начала скатывания плодов по его поверхности;

$R$  — радиус барабана;  
длину барабана

$$L_6 = (3,5 \div 4,5) 2\pi R \operatorname{tg} 2\alpha, \quad (169)$$

где  $\alpha$  — угол наклона барабана, принимают в пределах  $5-8^\circ$ ;  
производительность барабанного рабочего органа

$$Q = 0,7 \sqrt{R^3 h_{\text{сл}}^3 n_6 \gamma_n \operatorname{tg} 2\alpha}, \quad (170)$$

где  $h_{\text{сл}}$  — высота слоя сортируемого материала, обычно  $h_{\text{сл}} = 0,05-0,1$  м;

$\gamma_n$  — насыпная масса плодов.

### Комбинированные сортирующие органы

В комбинированных рабочих органах сочетаются сортирующие поверхности двух типов, например, ременная и роликовая, грохотная и роликовая и т. п. Целесообразность использования комбинированного рабочего органа обусловлена недостатками одной из составляющих рабочих поверхностей. Следует, однако, иметь в виду, что улучшение качества сортирования на комбинированных рабочих органах сопряжено с повышением повреждения плодов и значительным повышением удельной металлоемкости.

Основные параметры комбинированных сортирующих рабочих органов следует рассчитывать в зависимости от используемых рабочих поверхностей по зависимостям, рекомендованным ранее.

### РАСЧЕТ ЛИНИЙ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ

Линии послеуборочной обработки овощных культур являются завершающим звеном в цепи комплекса машин, осуществляющих поточную уборку урожая. Исходя из этого должны рассчитываться основные параметры линий.

Производительность линии необходимо принимать из условия обработки материала, поступающего от уборочных машин. Как правило, одна линия обслуживает одну уборочную машину, тогда

$$Q_n = W q_y,$$

где  $W$  — производительность уборочной машины в га/ч;  
 $q_y$  — урожайность в т/га.

Вторым важным показателем линии является вместимость приемного бункера. Расчет вместимости Л. С. Бакулев рекомендует выполнять по формуле

$$V_{\text{бк}} = m_s q_{\text{п}},$$

где  $m_s$  — среднее число партий, поступающего на обработку материала, которое может быть переработано за время ожидания транспортных средств;

$q_{\text{п}}$  — средняя грузоподъемность транспортных средств (величина партий материала).

Среднее число партий материала  $m_s$  зависит от количества и загрузки транспортных средств, процесса взаимодействия уборочной машины с транспортным средством, производительности машин и ряда других факторов. Величина  $m_s$  связана с этими факторами следующей зависимостью:

$$m_s = \frac{\lambda}{2(1-\psi_{\text{п}})} \left( \sigma_t^2 + \frac{1}{\mu_{\text{п}}^2} \right),$$

где  $\lambda$  — интенсивность потока, т. е. число партий в час;

$\psi_{\text{п}}$  — коэффициент использования транспортных средств;

$\sigma_t$  — среднее квадратичное отклонение продолжительности доставки материала от уборочной машины;

$\mu_{\text{п}}$  — интенсивность обработки материала (производительность линии), т. е. число партий в час.

В производственных и экспериментальных линиях приемные бункера рассчитаны на прием 3 т материала. Исследованиями Л. С. Бакулева установлено, что при плотности потока  $\lambda = 6 \div 7$  партий в час простои транспортных средств при уборке моркови в ожидании разгрузки достигают 20%. В связи с этим необходимо разработать приемное устройство для накопления материала вместимостью 10—15 т.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ахундов Г. Г., Батяев Ф. И.** О сортировании плодов томатов по цвету при комбайновой уборке. «Тракторы и сельхозмашины», 1971, № 6, с. 33—35.
2. **Бакулев Л. С.** Экспериментальное исследование влияния конструктивных факторов на процесс сортирования моркови. Доклады МИИСП. Т. IV, вып. 1, М., 1968, с. 131—138.
3. **Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю.** Вибрационное перемещение. М., «Наука», 1964, 410 с.
4. **Босой Е. С.** Режущие аппараты уборочных машин. М., «Машиностроение», 1967, 168 с.
5. **Герасимов С. А., Кривоногов Н. И.** К обоснованию параметров встряхивателей сепараторов картофелеуборочных машин. «Тракторы и сельхозмашины», 1967, № 6, с. 31.
6. **Герасимчук В. В.** К выбору параметров дисковых копачей свеклоуборочных машин. «Тракторы и сельхозмашины», 1965, № 6, с. 27—28.
7. **Горячкин В. П.** Собрание сочинений. Т. V, М., Сельхозгиз, 1940, 234 с.
8. **Диденко Н. Ф., Петров Г. Д.** Исследование рабочего процесса качающегося грохота. Труды ВИСХОМ, М., вып. 58, 1969, с. 154—224.
9. **Дубровский А. А.** О влиянии вынужденных колебаний на тяговое сопротивление почвообрабатывающих рабочих органов. Сборник трудов по земледельческой механике. Т. III. М.—Л., Сельхозиздат, 1956, с. 182—185.
10. **Желиговский В. А.** Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов. Тбилиси, 1960, 145 с.
11. **Зеленин А. Н.** Резание грунтов, М., АН СССР, 1959, 271 с.
12. **Квасников Б. В., Беков Р. Х., Зайцев А. И. и др.** Подбор и оценка сортов томатов для одноразовой механизированной уборки. «Международный сельскохозяйственный журнал», 1968, № 2, с. 56—63.
13. **Колчин Н. Н., Трусов В. П.** Машины для сортирования и послеуборочной обработки картофеля. М., «Машиностроение», 1966, 258 с.
14. **Котович О. Е.** Машины для уборки и обмолота овощного гороха. М., Машгиз, 1963, 212 с.
15. **Майковский И. А.** К вопросу об экспериментальном исследовании процесса удаления ботвы столовых корнеплодов в машине теребильного типа. Труды ВИСХОМ, вып. 58, М., 1969, с. 225—257.
16. **Медведев В. П., Штейнгауз В. И.** Испытание томатоуборочных машин. «Консервная и овощесушильная промышленность», 1971, № 6, с. 14—15.
17. **Николаев Ю. А., Котов П. С.** К вопросу развития средств механизации уборки капусты. «Тракторы и сельхозмашины», 1966, № 10, с. 27.
18. **Овощеводство в зонах консервной промышленности Юга СССР.** М., «Колос», 1967, 240 с.
19. **Олевский В. А.** Конструкция и расчеты грохотов. М., 1955, 124 с.
20. **Петров Г. Д.** Картофелеуборочные машины. М., «Машиностроение», 1972, 400 с.
21. **Резник Н. Е.** Силосоуборочные комбайны. М., «Машиностроение», 1964, 448 с.

22. **Рейслер Ю. В., Николаев Ю. А.** Комплексная механизация возделывания зернобобовых культур. М., ЦИНТИАМ, 1963, 239 с.
23. **Рубцов М. И., Матвеев В. П.** Овощеводство. М., «Колос», 1970, 456 с.
24. **Синеоков Г. Н.** Проектирование почвообрабатывающих машин. М., «Машиностроение», 1965, 312 с.
25. **Сорокин А. А.** К обоснованию параметров колебаний сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин. Труды ВИСХОМ, вып. 28, М., 1961, 32 с.
26. **Справочник конструктора сельскохозяйственных машин.** Под ред. М. И. Клецкина. Т. 3, М., «Машиностроение», 1969, 744 с.
27. **Строков С. А., Распопов А. Р., Шуринов В. А.** Машина для уборки помидоров. «Тракторы и сельхозмашины», 1971, № 10, с. 35.
28. **Удовин В. Г.** К вопросу о механизированном отделении плодов огурцов от вегетативной части. Труды Саратовского института механизации сельского хозяйства им. М. И. Калинина, вып. 45, 1970, с. 85—96.
29. **Федоров В. И.** Некоторые вопросы сепарации и очистки столовой свеклы. Труды ВИМ. Т. 33, М., 1963, с. 101—109.
30. **Физико-механические свойства растений, почв и удобрений.** М., «Колос», 1970, 424 с.
31. **Фомин В. И.** Исследование процесса бесподпорного среза трав. Труды ВИСХОМ, вып. 39, М., 1962, с. 3—56.
32. **Хвостов В. А.** Исследование выкапывающих рабочих органов корнеплодоуборочных машин. Труды ВИСХОМ, вып. 58, М., 1969, с. 88—130.
33. **Эдельштейн В. И.** Овощеводство. М., Сельхозиздат, 1953, 487 с.
34. **Петков Ч., Барев Д., Савов Т.** Изследване върху механизираното изваждане на морковите. «Икономика и механизация на селското стопанство». София, 1966, № 8, с. 839—854.
35. **Baader W.** Absiebung von Erde in Kartoffelerntemaschinem mit unlauenden Siebketten (Ernte Ergebnisse). «Landtechnische Forschung», 1961, N 2, S. 47—51.
36. **Eggenmuller A.** Versuche mit Gruppen gegeneinander schwingender Hackwerkzeuge. «Grundlagen der Landtechnik», 1958, N 10, S. 55—69.
37. **Humphries E. G.** Development of a multiple—pick cucumber harvester. Transaction. ASAE, 1968, vol. 11, N 5, p. 628—630.
38. **Stout B. A., Delong M. M., Pettengill D. H. and Ries S. K.** A once—over mechanical harvester for pickling cucumber. Quarterly bulletin reports on reseach from the michigan state universaty Agr. Exp. St., 1964, vol. 43, N 3, p. 420—430.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>Глава I. Физико-механические свойства овощных культур . . . . .</b>	<b>7</b>
Репчатый лук . . . . .	7
Столовые корнеплоды . . . . .	10
Кочанная капуста . . . . .	14
Томаты . . . . .	16
Огурцы . . . . .	18
Овощной горох . . . . .	19
<b>Глава II. Тенденции развития технологических схем и конструкций машин для уборки овощей . . . . .</b>	<b>21</b>
Машины для уборки лука . . . . .	23
Машины для послеуборочной обработки лука . . . . .	32
Машины для уборки столовых корнеплодов . . . . .	39
Машины теребильного типа . . . . .	39
Машины подкапывающего типа с обрезкой ботвы на корню . . . . .	51
Машины для послеуборочной обработки корнеплодов . . . . .	62
Машины для уборки капусты . . . . .	67
Машины для уборки томатов . . . . .	74
Машины для уборки огурцов . . . . .	85
Машины для уборки овощного гороха . . . . .	88
<b>Глава III. Рабочие органы машин теребильного типа для уборки корнеплодов . . . . .</b>	<b>94</b>
Ботвоподъемники . . . . .	94
Теребильные аппараты . . . . .	97
Механизмы для выравнивания головок корнеплодов и удаления ботвы . . . . .	100
<b>Глава IV. Рабочие органы машин подкапывающего типа для уборки корнеплодов и лука . . . . .</b>	<b>114</b>
Ботвоудаляющие рабочие органы . . . . .	114
Роторные бтоврезы . . . . .	114
Некоторые вопросы теории бесподпорного резания . . . . .	119
Элементы теории копирования . . . . .	124
Подкапывающие рабочие органы . . . . .	131
Плоские пассивные лемеха . . . . .	132
Активные подкапывающие органы . . . . .	137
Выжимные лемешковые и вильчатые копачи . . . . .	159
Ротационные копачи . . . . .	163
Сепарирующие рабочие органы . . . . .	181
Прутковые транспортеры . . . . .	181
Грохоты с плоскими кслеблющимися решетами . . . . .	188
Обоснование просветов сепарирующих органов . . . . .	199

Методика расчета параметров сепарирующих органов . . . . .	201
Рабочие органы для разрушения комков почвы . . . . .	204
<b>Глава V. Рабочие органы машин для уборки томатов и огурцов . . . . .</b>	<b>207</b>
Рабочие органы для подрезания и подбора растений томатов . . . . .	207
Рабочие органы для отделения плодов от стеблей . . . . .	216
Рабочие органы для сортирования томатов по степени спелости . . . . .	232
Рабочие органы машин для уборки огурцов . . . . .	238
<b>Глава VI. Рабочие органы машин для уборки бобовых культур . . . . .</b>	<b>245</b>
Рабочие органы жаток и подборщиков . . . . .	245
Горохомолотильные барабаны . . . . .	250
<b>Глава VII. Рабочие органы машин для послеуборочной обработки . . . . .</b>	<b>257</b>
Рабочие органы для отделения примесей . . . . .	257
Рабочие органы для отделения ботвы . . . . .	259
Рабочие органы для сортирования овощей . . . . .	267
Грохотные сортирующие органы . . . . .	267
Роликовые сортирующие органы . . . . .	269
Транспортерные сортирующие органы . . . . .	271
Барабанные сортирующие органы . . . . .	273
Комбинированные сортирующие органы . . . . .	274
Расчет линий послеуборочной обработки овощей . . . . .	274
Список литературы . . . . .	276

Николай Федорович Диденко, Василий Андреевич Хвостов,  
Владимир Петрович Медведев

МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ОВОЩЕЙ

Редактор издательства *М. Н. Журавлева*  
Технический редактор *В. Д. Элькинд*  
Корректор *И. М. Борейша*  
Художник *Е. В. Бекетов*

---

Сдано в набор 6/III 1973 г. Подписно к печати 12/VII 1973 г.  
Т-10398. Формат 60 × 90/16. Бумага № 1. Печ. л. 17,5.  
Уч.-изд. л. 19,15. Тираж 4200. Заказ 807. Цена 1 р. 24 к.

---

Издательство «Машиностроение» Москва Б-78,  
1-й Басманный пер., 3

---

Экспериментальная типография ВНИИ полиграфии  
Государственного комитета Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
Москва, К-51, Цветной бульвар, 30

2-78508

10/2/77

114

9875



MANUFACTURED BY