

17 16  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

---

На правах рукописи

ПАНИН А.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОДО-ОВОЩНОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЬЮ  
УТОЧНЕНИЯ РАСЧЕТА РЕЗАТЕЛЬНЫХ МАШИН

(Специальность № 05.175 - Машины и аппараты пищевых  
производств)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Проверен 1984

Одесса - 1971

Автореф  
П16

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

---

На правах рукописи

ПАНИН А.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОДО-ОВОЩНОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЬЮ  
УТОЧНЕНИЯ РАСЧЕТА РЕЗАТЕЛЬНЫХ МАШИН

(Специальность № 05.175 – Машины и аппараты пищевых  
производств)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

V.011780

Одесский технологический  
институт пищевой промыш-  
ленности им. М. В. Ломоносова

Б И Б Л И О Т Е К А

Одесса - 1971

Работа выполнена на кафедре технологического оборудования пищевых производств Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Диссертация изложена на 165 страницах машинописного текста.

Работа иллюстрирована 60 таблицами, 74 рисунками.

В списке использованной литературы приведены 121 источник.

Научный руководитель кандидат технических наук  
доцент Н.В.Морозов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Платонов П.Н.,  
кандидат технических наук, доцент Гальперин Г.Д.

Ведущее предприятие - СКТБ „Продмаш“ г.Одесса.

Автореферат разослан 26 января 1971г.

Защита диссертации состоится на заседании ученого Совета Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова 26 февраля 1971г.

Письменный отзыв в 2-х экземплярах просим прислать по адресу: г.Одесса, ГСП-510, ул.Свердлова, 112.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Л.ЗАПОРОЖЕЦ

Программой КПСС предусматривается значительное увеличение производства и потребления овощных, натуральных, закусочных консервов, а также сушеных овощей в нашей стране.

Увеличение производства требует дальнейшей интенсификации процессов, повышения качества продукции, экономного расходования сырья и энергии.

Кинетика процесса резания плодов и овощей и значение геометрии режущего инструмента мало изучены.

Процесс резания плодов, овощей и других органических материалов рассматривается в литературе с точки зрения производительности и удельного расхода энергии, но не содер- жит данных, которые могли бы быть использованы при кон- струировании и анализе конструкции овощерезательных машин. Вместе с тем, качество разрезанных овощей, а также мощ- ность овощерезательных машин в большой мере зависят от способа резания и геометрических параметров режущего ин- струмента (ножа).

В работе была поставлена цель - дать конструкторам необходимые данные, которые позволили бы уточнить расчет и конструирование овощерезательных машин.

В связи с этим в настоящей работе были поставлены следующие задачи:

1. Поиск и рекомендация оценки процесса, которая по- зволила бы конструктору выбрать наиболее рациональный спо- соб резания и инструмент.

2. Получение достоверных значений физико-механиче- ских характеристик наиболее распространенного сырья кон- сервной и овощесушильной промышленности, определяющих пре- цесс резания:

- а) коэффициента трения плодов и овощей о стальные по- верхности;
- б) удельного сопротивления резанию плодов и овощей;
- в) модуля упругости при сжатии.

#### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Различные авторы отмечают влияние на энергозатраты при резании следующих факторов: 1 - толщины лезвия,  $\delta_n, м$ ;

2 - величины заглубления ножа,  $l_3$ , м; 3 - чистоты поверхности ножа; 4 - угла заточки ножа,  $\alpha$ , град.; 5 - угла установки ножа,  $\beta$ , град.; 6 - толщины отрезаемого слоя,  $\delta$ , м; 7 - скорости резания,  $V$ , м/сек, а также 8 - физико-механических свойств разрезаемого продукта, к которым относятся: а) удельное сопротивление резанию,  $\omega_0$ , н/м или удельная работа резания,  $A_{y9}$ , нм/м<sup>2</sup>; б) коэффициент трения покоя и движения,  $f$ ; в) модуль упругости при сжатии,  $E$ , н/м<sup>2</sup>.

При этом все исследователи сходятся в оценке важности энергозатрат при резании как обобщенной характеристики процесса.

В виду специфичности плодов и овощей как объектов резания необходимо подвергнуть более детальному рассмотрению процесс их резания, чтобы выделить факторы, в наибольшей мере влияющие на энергетические затраты.

Общепринятая формула энергозатрат 
$$N = \frac{A_{y9} Q F'}{\eta_n} v_m \quad (1)$$

требует знания  $A_{y9}$  и  $\eta_n$ .

При расчетах  $A_{y9}$  считают постоянной характеристикой продукта и коэффициент полезного действия ножа -  $\eta_n$  - не - которой, примерно, постоянной величиной  $\eta_n = 0,35 \div 0,45$ .

Основной недостаток такой оценки энергозатрат состоит в том, что не учитываются особенности процесса и ножа.

В литературе с целью исправления этого недостатка встречается предложение, которое заключается в том, что считают к.п.д. ножа переменным и зависящим от процесса и ножа.

В этом случае  $\eta_n = \frac{1}{1+M_0}$ , что позволяет формулу (1) записать в следующем виде (2)  $N = A_{y9} Q F' (1+M_0)$  и т.к.  $A_{y9} = 0,5 \omega_0$ ,

то 
$$N = 0,5 \omega_0 Q F' (1+M_0), \quad (3)$$

где  $M_0$  - коэффициент мощности.

Удается показать, что  $M_0 = K_{np} \cdot K_n$ , где  $K_{np} = \frac{E f}{\omega_0}$  м<sup>-1</sup>, а  $K_n$  - комплекс процесса и ножа и зависит от способа резания, геометрии ножа, толщины отрезаемого слоя, скорости резания и т.д.

Тогда формулу (3) можно записать в следующем виде

$$N = 0,5 Q F' (\omega_0 + E f K_n), \quad (4)$$

где  $Q$  - производительность, кг/сек;  
 $F'$  - вновь образованная поверхность в м<sup>2</sup> на килограмм продукта;  
 $\omega_0$  - удельное сопротивление резанию, н/м;  
 $E$  - модуль упругости при сжатии, н/м<sup>2</sup>;  
 $f$  - коэффициент трения движения.

Таким образом задача исследования энергетической оценки процесса резания овощей сводится:

во-первых, к экспериментальному установлению достоверных значений модуля упругости и коэффициентов трения овощей о нож,

во-вторых, к определению понятия удельного лобового усилия резания, и экспериментальному установлению его достоверных значений для различных плодов и овощей,

и в-третьих, к решению вопроса о значении характеристики ножа  $K_n$ .

Определение характеристики ножа  $K_n$  является сложной задачей, т.к. она зависит от типа ножа и способа резания.

Все многообразие способов резания в сочетании с типами ножей можно различать по характеру относительной скорости ножа и продукта и характеру отделения срезанного слоя, которые сведены в табл.1.

Таблица 1

По характеру относительной скорости ножа и продукта	По характеру отделения срезанного слоя	
	Свободное резание	Стесненное резание
Лобовое резание $\beta = 0, K_c = 0$ $K_c = \operatorname{tg} \beta = \frac{V_c}{V_n}$		
Скользящее резание $\beta > 0, K_c > 0$		

Полученные аналитические значения характеристики ножа  $K_n$  и коэффициента полезного действия ножа  $\eta_n$  для различных способов резания, в соответствии с табл.1, сведены в табл.2.

Таблица 2

Н о ж		Резание	$\eta_n$	$K_n$		
Z	$\delta_n$ $\alpha$					
о д и н	$\delta_n < 0,5 \text{ мм}$	90°	лобовое	$\eta_n = \frac{33}{\delta_n + 33} (\delta_n \text{ в мм})$	—	
			скользящее	$\eta_{\text{нск}} = \eta_n \cdot C_p$ ; $\psi_{\text{нр}} = \frac{2\psi_{\text{нр}}}{\omega_{\text{нр}}}$ $C_p = \frac{1}{\psi_{\text{нр}} (1 + \psi_{\text{нр}} K_c)}$ ; $\psi_{\text{н}} = \frac{2\psi_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}$	—	
			лобовое	$K_{\text{нл}} = \delta_n (0,5 + \frac{0,1 \delta_n}{\text{tg} \alpha}) (\frac{1}{\text{cos} \alpha} + \frac{1}{\text{sin} \alpha}) \text{ м}$ $K_{\text{нл}} \approx 1,5 \delta_n \text{ м}$	—	
			скользящее		$K_{\text{нск}} = \frac{K_{\text{нл}}}{\text{cos} \beta} - 0,5 \frac{\delta_n^2}{\delta_n f} (\frac{1}{\text{cos} \beta} - 1) \text{ м}$ $K_{\text{нск}} = \frac{K_{\text{нл}}}{\text{cos} \beta} \text{ м}$	—
	$\delta_n > 0,1 \delta$	до 20°	лобовое	$\eta_n = \frac{1}{1 + M_0}$ $M_0 = K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{н}}$	$K'_{\text{нл}} = c \delta \text{ tg} \alpha (\frac{1}{\text{cos} \alpha} + \frac{\text{sin} \alpha}{f}) \text{ м}$ $c \approx 0,25$	—
			скользящее		$K'_{\text{нск}} = \frac{c \delta_n}{\text{cos} \beta} (\frac{1}{\text{cos} \alpha} + \frac{\text{sin} \alpha \cdot \text{cos} \beta}{f}) \text{ м}$ $K'_{\text{нск}} \approx \frac{K'_{\text{нл}}}{\text{cos} \beta} \cdot a \text{ м}$ $a = 0,75 \div 0,5$ при $K_c = 2 \div \infty$	—
			—		$K_{\text{нр}} = K_n (1 - 0,5 \frac{L_{\text{зат}}}{L_{\text{зат} \text{н}}}) \text{ м}$ $L_{\text{з}} = 1,83 \delta$ для $\delta_n > 0,1 \delta$ $L_{\text{з}} = 1,28 + L_{\text{зат}}$ для $\delta_n < 0,1 \delta$	—
			—		$K_{\text{нр}} = K_n (1 - 0,5 \frac{L_{\text{зат}}}{L_{\text{зат} \text{н}}}) \text{ м}$ $L_{\text{з}} = 1,83 \delta$ для $\delta_n > 0,1 \delta$ $L_{\text{з}} = 1,28 + L_{\text{зат}}$ для $\delta_n < 0,1 \delta$	—
	б о л ь ш е о д н о г о	$\delta_n \neq \text{const}$	стесненное	в пределах заточки	лобовое	$K_{\text{нр}} = \frac{E_n f}{\omega_n} \text{ м}^{-1}$ $K_{\text{нстл}} = \frac{E_{\text{зат}}}{\delta} \text{ tg} \alpha (0,5 + \frac{0,25 \text{ tg} \alpha}{K_n f}) \text{ м}$
					скользящее	$K_{\text{нстск}} \approx \frac{K_{\text{нстл}}}{\text{cos} \beta} \cdot a \text{ м}$ $a = 0,7 \div 0,7$ при $K_c = 2 \div \infty$
					лобовое	$K'_{\text{нстл}} = \frac{\delta_n (L_{\text{зат}} \text{ tg} \alpha) (\frac{1}{\text{cos} \alpha} + \frac{0,25 \delta_n}{K_n f \text{ tg} \alpha})}{\delta} \text{ м}$ $K'_{\text{нстл}} \approx \frac{\delta_n (L_{\text{зат}} \text{ tg} \alpha)}{\delta} \text{ м}$
					скользящее	$K_{\text{нстск}} = \frac{K'_{\text{нстл}}}{\text{cos} \beta} \cdot a \text{ м}$ $a = 0,75 \div 0,5$ при $K_c = 2 \div \infty$
—	$\delta_n = \text{const}$	—	за пределами заточки	лобовое, скользящее	$K_n = \frac{(z-1)K_{\text{нстл}} + K_{\text{нстск}}}{z} \text{ м}$ $K_{\text{нстпр}} = K_{\text{нстл}} + K'_{\text{нстл}} \text{ м}$	

Учитывая, что данные выражения  $K_n$  получены при упрощающих предположениях и определяют величину  $K_n$  лишь принципиально, имеет смысл применение упрощенных формул (табл.3), для определения комплекса процесса и ножа  $K_n$ , которые могут быть использованы в технических расчетах и при анализе совершенства конструкции машины и способа резания.

Таблица 3

Способы резания	$K_n$	
	Лобовое	Скользящее
Свободное $\delta_n < 0,5 \text{ мм}$	$1,5 \delta_n$	$1,5 \delta_n K_c$
Свободное $\delta_n > 0,1 \delta$	$0,15 \delta$	$0,1 \delta K_c$
Стесненное	$\frac{L \delta_n}{\delta}$	$0,7 \frac{L \delta_n K_c}{\delta}$

Экспериментальная проверка табличных значений  $K_n$  показала удовлетворительное их совпадение с фактами.

Экспериментом установлено, что угол заточки ножа  $\alpha$  должен быть при свободном резании меньше 20°, если стремятся получить стружку без изломов, в противном случае следует принимать угол заточки  $\alpha$  больше 30°. При стесненном резании угол заточки необходимо принимать возможно меньше (нормально  $\alpha = 12^\circ$ ).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ О СТАЛЬ

Вне зависимости от понимания природы трения, при расчетах машин принято пользоваться наиболее обобщенной характеристикой коэффициентом трения (представляющим собой отношение тангенциальной силы к нормальной при относительном перемещении двух поверхностей). Практическое удобство этого способа сделало его общепринятым в инженерных расчетах.

Таким образом, для понимания всех процессов, происходящих при резании овощей, а также для расчета этих ма-

шин, необходимы достоверные сведения о коэффициенте трения различных плодов и овощей по стальным поверхностям машин, учитывая, что основным материалом, из которого изготавливаются ножи резательных машин и поверхности, по которым перемещается сырье, является сталь.

Попытка получить необходимые данные путем систематизации опубликованных материалов в этой области оказалась несостоятельной. В большинстве случаев значения коэффициентов даны без указания условий эксперимента, при которых они получены. Кроме того эти значения по данным различных авторов, резко расходятся. Так, например, по Вышелескому А.И. коэффициент трения картофеля по стали  $f = 0,75-0,85$ , Предтеченский Н.А. в расчетах принимает коэффициент трения картофеля по стали  $f = 0,36$ , Морозов Н.В. рекомендует коэффициент трения картофеля по стали от 0,42 до 0,05.

В связи с изложенным, возникла необходимость в выполнении самостоятельного экспериментального исследования с целью получения систематизированных достоверных значений коэффициентов трения пар-овощи-сталь, которые могли бы быть использованы при расчете овощерезательных машин.

Для определения коэффициента трения покоя была изготовлена экспериментальная установка изображенная схематично на рис.1. Величина силы трения измерялась упругим

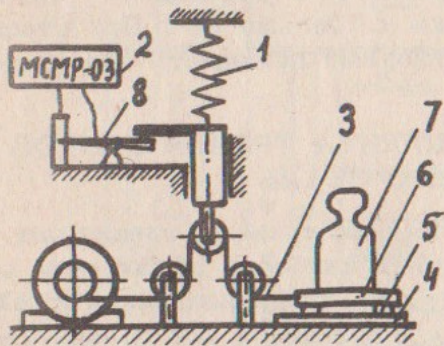


Рис.1. Схема установки для определения коэффициента трения покоя плодов и овощей, 1 - упругий элемент, 2 - мост уравновешенный автоматический самопишущий, 3 - нить, 4 - сменные стальные пластины с различной шероховатостью поверхности, 5 - образец исследуемого продукта, 6 - держатель образцов, 7 - тарированные грузы, 8 - датчик омического сопротивления реохордного типа.

рехордного типа, 8 - датчик омического сопротивления реохордного типа.

элементом и фиксировалась на ленте уравновешенного самопишущего моста. Показания моста предварительно градуировались путем подвешивания к нити тарированных грузов. Масштаб записи на ленте позволял отмечать значения силы трения с точностью до  $\pm (0,5 + 3,5) \%$ .

Коэффициент трения движения определяли на специально приспособленной для этой цели машине трения (рис.2) при скорости скольжения 2,0 м/сек, 4,5 м/сек, 6,9 м/сек и 12,2 м/сек.

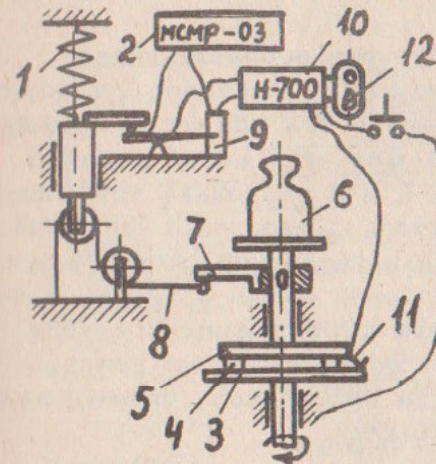


Рис.2. Схема установки для определения коэффициента трения движения плодов и овощей.

1 - упругий элемент, 2 - мост уравновешенный автоматический самопишущий, 3 - сменные вращающиеся стальные диски с различной шероховатостью поверхности, 4 - образец исследуемого продукта, 5 - держатель образцов, 6 - тарированные грузы, 7 - рычаг, 8 - нить, 9 - датчик омического сопротивления реохордного типа, 10 - осциллограф, 11 - контакт, 12 - кулачок.

Сила трения деформировала упругий элемент и фиксировалась на ленте моста или фотобумаге осциллографа. Для экономии фотобумаги, которая перемещалась со скоростью 40 мм в сек, к державке был прикреплен контакт, который при соприкосновении со сменным диском включал протяжной механизм фотобумаги раньше на несколько десятых секунды, чем образцы соприкоснутся с диском. Кулачок, одетый на рукоятку протяжного механизма через 6-7 секунд после начала эксперимента автоматически отключал протяжной механизм осциллографа.

Тарировка и масштаб записи были такими же, как и для прибора рис.1.

Расчетный коэффициент трения определяли по Амонтону:  $f = \frac{P_c}{P_n}$ , где  $P_c$  - сила трения,  $P_n$  - нормальная сила действующая на образец. После предварительного установления нормального закона распределения значений коэффициента трения по большой выборке, установлена десятикратная повторность опыта для одинаковых условий.

Обработка, полученных результатов методами математической статистики, позволила установить наличие зависимости коэффициентов трения от удельного давления, чистоты поверхности и скорости, и получить аналитические зависимости их от этих факторов.

Однако, вследствие большого разнообразия плодов и овощей и наличия зависимости сложного характера, следует считать нецелесообразным применение тех или иных формул для практического использования. Для этих целей рекомендуются сводные таблицы 4, 5, 6, 7 и 8 значений коэффициента трения плодов и овощей о сталь с различной чистотой поверхности, при разном давлении и различной скорости, приводимые ниже. Для исследования брали овощи и плоды, качество которых отвечало техническим требованиям Республиканских технических условий или государственных стандартов на сырье, перерабатываемом на консервных, овощесушильных и пищекоцентрадных предприятиях.

Таблица 4

№№ п.п.	Продукт	Коэффициент трения покоя по стали в доверительном интервале 95% вероятности при давлении $10^5$ н/м <sup>2</sup>		
		Класс чистоты поверхности		
		9	7	3
1.	Айва свежая	0,48±0,51	0,54±0,57	0,73±0,78
2.	Груши свежие	0,25±0,29	0,27±0,30	0,60±0,66
3.	Яблоко свежее	0,23±0,26	0,28±0,32	0,61±0,64
4.	Огурец свежий	0,10±0,12	0,15±0,18	0,58±0,61
5.	Тыква свежая	0,41±0,47	0,44±0,45	0,58±0,62
6.	Кабачки свежие	0,24±0,32	0,31±0,34	0,61±0,62
7.	Баклажаны свежие	0,25±0,30	0,23±0,27	0,45±0,53
8.	Перец сладкий свежий	0,28±0,33	0,34±0,38	0,41±0,45

Продолжение таблицы 4

№№ п.п.	Продукт	9	7	3
9.	Капуста белокочанная свежая	0,34±0,38	0,35±0,38	0,52±0,60
10.	Лук репчатый свежий	0,22±0,25	0,25±0,28	0,40±0,41
11.	Петрушка свежая	0,32±0,36	0,34±0,38	0,51±0,60
12.	Свекла столовая свежая	0,35±0,38	0,35±0,38	0,70±0,73
13.	Морковь столовая свежая	0,38±0,41	0,39±0,41	0,69±0,74
14.	Картофель свежий	0,19±0,26	0,24±0,32	-

Таблица 5

№№ п.п.	Продукт	Коэффициент трения покоя в доверительном интервале 95% вероятности по стали				
		Давление в $10^5$ н/м <sup>2</sup>				
		0,27	0,5	1,0	1,5	2,0
1	2	3	4	5	6	7
1.	Айва свежая	0,56±0,60	0,58±0,65	0,54±0,57	0,46±0,48	0,41±0,47
2.	Груши свежие	0,27±0,34	0,29±0,34	0,27±0,30	0,24±0,27	0,17±0,18
3.	Яблоко свежее	0,25±0,29	0,26±0,30	0,28±0,32	0,28±0,31	0,28±0,31
4.	Огурцы свежие	0,18±0,23	0,15±0,19	0,15±0,18	0,14±0,18	0,15±0,20
5.	Тыква свежая	0,35±0,42	0,40±0,44	0,44±0,45	0,38±0,39	0,31±0,33
6.	Кабачки свежие	0,32±0,36	0,31±0,36	0,31±0,34	0,27±0,30	0,32±0,36
7.	Баклажаны свежие	0,35±0,42	0,28±0,31	0,23±0,27	0,18±0,20	0,16±0,18
8.	Перец сладкий свежий	0,33±0,37	0,29±0,36	0,34±0,38	0,32±0,37	0,24±0,28
9.	Капуста белокочанная свежая	0,35±0,37	0,37±0,41	0,35±0,38	0,43±0,47	0,39±0,42
10.	Лук репчатый свежий	0,19±0,22	0,22±0,26	0,25±0,28	0,25±0,29	0,31±0,34

1	2	3	4	5	6	7
11. Петрушка свежая	0,33±0,37	0,33±0,37	0,34±0,38	0,37±0,41	0,35±0,37	
12. Свекла столовая свежая	0,39±0,41	0,39±0,41	0,35±0,38	0,33±0,36	0,35±0,37	
13. Морковь столовая свежая	0,44±0,52	0,43±0,50	0,39±0,41	0,37±0,42	0,37±0,40	
14. Картофель свежий для переработки	0,29±0,35	-	0,24±0,32	0,24±0,28	0,33±0,37	

Таблица 6

№№ п.п.	Продукт	Коэффициент трения движения о сталь в доверительном интервале 95% вероятности при давлении $1 \cdot 10^5$ н/м <sup>2</sup> и скорости 4,5 м/сек		
		Класс чистоты поверхности		
		9	7	5
1	2	3	4	5
1. Айва свежая		0,26±0,34	0,20±0,31	0,20±0,26
2. Груши свежие		0,10±0,17	0,12±0,16	0,09±0,13
3. Яблоко свежее		0,36±0,44	0,18±0,20	0,19±0,21
4. Огурцы свежие		0,06±0,10	0,03±0,05	0,03±0,07
5. Тыква свежая		0,36±0,45	0,30±0,39	0,24±0,27
6. Кабачки свежие		0,19±0,36	0,20±0,31	0,11±0,20
7. Баклажаны свежие		0,08±0,10	0,07±0,10	0,07±0,09
8. Перец сладкий свежий		0,10±0,17	0,07±0,13	0,14±0,16
9. Капуста белокочанная свежая		0,14±0,19	0,23±0,30	0,31±0,34
10. Лук репчатый свежий		0,14±0,17	0,13±0,18	0,18±0,23
11. Петрушка свежая		0,42±0,48	0,33±0,39	0,35±0,43
при скорости 2 м/сек				
12. Свекла столовая свежая		0,24±0,27	0,11±0,16	0,18±0,26
13. Морковь столовая свежая		0,17±0,34	0,25±0,36	0,36±0,42
14. Картофель свежий для переработки		0,14±0,24	0,18±0,24	0,20±0,25

Таблица 7

№№ п.п.	Продукт	Коэффициент трения движения в доверительном интервале 95% вероятности по стали с $\nabla 7$ при скорости 4,5 м/сек				
		Давление в $10^5$ н/м <sup>2</sup>				
		0,27	0,5	1,0	1,5	2,0
1. Айва свежая		-	0,22±0,30	0,20±0,31	0,21±0,24	0,17±0,20
2. Груши свежие		0,18±0,24	0,20±0,30	0,18±0,20	0,04±0,14	0,08±0,13
3. Яблоко свежее		0,18±0,24	0,20±0,27	0,12±0,16	0,09±0,13	0,08±0,10
4. Огурцы свежие		0,06±0,13	0,04±0,07	0,03±0,05	0,04±0,06	0,04±0,07
5. Кабачки свежие		0,19±0,22	0,18±0,27	0,20±0,31	0,20±0,26	0,13±0,17
6. Тыква свежая		-	0,27±0,33	0,30±0,39	0,19±0,26	0,22±0,25
7. Баклажаны свежие		0,22±0,25	0,11±0,16	0,07±0,10	0,08±0,11	0,08±0,09
8. Лук репчатый свежий		-	0,12±0,17	0,13±0,18	0,06±0,09	0,04±0,08
9. Петрушка свежая		-	-	0,33±0,39	0,21±0,25	0,22±0,28
10						при скорости 2,0 м/сек
10. Свекла столовая свежая		0,17±0,25	0,14±0,17	0,11±0,16	0,20±0,22	0,17±0,23
11. Морковь столовая свежая		0,07±0,13	0,14±0,32	0,25±0,36	0,16±0,24	0,11±0,15
12. Картофель свежий для переработки		0,21±0,26	0,20±0,24	0,18±0,24	0,13±0,17	0,12±0,13

Таблица 8

№№ п.п.	Продукт	Коэффициент трения движения в доверительном интервале 95% вероятности по стали $\nabla 7$			
		скорость в м/сек			
		2,0	4,5	6,9	12,2
		При давлении $1,0 \cdot 10^5$ н/м <sup>2</sup>			
1. Картофель свежий для переработки		0,18±0,24	-	0,18±0,22	0,14±0,20
2. Тыква свежая		-	0,30±0,39	0,20±0,23	0,17±0,27
3. Яблоко свежее		-	0,18±0,20	0,14±0,15	0,12±0,15
		При давлении $2,0 \cdot 10^5$ н/м <sup>2</sup>			
4. Лук репчатый свежий		-	0,04±0,07	0,06±0,13	0,12±0,16

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЮ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

При энергетическом расчете овощережательных машин пользуются значениями удельного сопротивления резанию  $w_n$  на метр длины лезвия, или удельной работы резания  $A_{yy}$  нм на  $m^2$  вновь образованной поверхности.

Очевидно, что если внедрение ножа происходит по нормали к линии лезвия, то величина  $w_0$  равна двум  $A_{yy}$ , так как при каждом проходе ножа по разные его стороны образуются две равные поверхности. Наличие в литературе характеристик продукта  $w_0$  или  $A_{yy}$  позволяет произвести необходимые расчеты. Однако сопоставление данных характеристик, приведенных в различных работах дает значительные расхождения.

В связи с изложенным возникла необходимость в выполнении самостоятельных экспериментальных исследований процесса резания для установления понятия удельного сопротивления резанию или удельной работы резания и их достоверных значений.

Рассматривая под микроскопом внедрение в плод ножа толщиной 0,1 мм заточенного под углом  $\alpha = 90^\circ$ , можно отметить пластическое течение продукта под лезвием и вдоль плоскости ножа против относительной скорости.

Таким образом, сопротивление внедрению такого ножа  $W$  представляет собой сумму произведения предельного контактного напряжения  $\sigma_{вк}$  на площадь контакта  $F_k$  и усилия, затрачиваемого на создание потока продукта  $W_{н.пр}$ .

$$W = \sigma_{вк} F_k + W_{н.пр},$$

где  $F_k = \delta_n \cdot b$ ,  $m^2$ ;  $\delta_n$  — толщина ножа, м;  $b$  — ширина контакта, м.

Удельное лобовое сопротивление резанию, которым принято характеризовать продукт

$$w_0 = \frac{W}{b} = \sigma_{вк} \delta_n + \frac{W_{н.пр}}{b}$$

Очевидно, что если предельное контактное напряжение есть характеристика материала, то удельное лобовое сопротивление резанию должно меняться с изменением толщины лезвия по линейному закону, что для тонких ножей подтверждается экспериментально. Тем не менее не следует отказываться от об-

щепотребительной и весьма удобной характеристики удельного сопротивления лобового резания  $w_0$ . Наименьшее значение удельного лобового усилия резания

$$w_{0min} = \frac{W_{н.пр}}{b} \text{ н/м}$$

соответствует нулевой толщине ножа, а удельная работа образования новой поверхности должна определяться как

$$A_{yy} = 0,5 w_{0min} \text{ нм/м}^2$$

Следует однако иметь в виду, что эта величина не может быть установлена прямым экспериментом. Как показывают расчеты по нашим данным и данным Г.И.Новикова, величина этого сопротивления составляет 25-30% экспериментально определяемого сопротивления для ножей с углом заточки  $\alpha = 90^\circ$  толщиной 100 мкм и лишь немного менее лобового сопротивления резанию для ножа заточенного под углом  $\alpha = 90^\circ$  при  $\delta_n = 25$  мкм, что является средним значением толщины режущей кромки лезвия производственных ножей (17-35 мкм). Такую же толщину режущей кромки лезвий имеют инструменты большинства режательных машин как пищевых продуктов (сухарных плит), так и органических материалов как дерева, соломы, табака и т.д. Так, например, толщина режущей кромки лезвия рубанка и фуганка, заправленная оселком имеет 15-35 мкм, у ножей жаток 19-35 мкм.

Характерно, что даже при первоначальной заточке лезвия до толщины режущей кромки 2-5 мкм при работе 1-2 часа толщина лезвия режущей кромки быстро достигает 15-20 мкм и после 4-5 часов работы достигая толщины 22-35 мкм.

Принятый способ определения  $w_0$  и  $A_{yy}$  при резании ножом толщиной 100 мкм диктуется тем, что при резании овощей ножами меньшей толщины невозможно достигнуть перерезания толстых образцов вследствие потери устойчивости и разрушения тонких ножей большой ширины. При малой же величине заглубления истинная величина  $w_0$  искажается, что подтверждается экспериментом.

На основании вышеизложенного величину удельного сопротивления резанию  $w_0$  и удельную работу резания  $A_{yy}$  определяли при резании ножами заточенными под углом  $\alpha = 90^\circ$  толщиной 100 мкм на специально спроектированной и изготовленной установке, схематично изображенной на рис.3. При

недрении ножа в образец с поперечным сечением 20x20 мм последний воздействовал на упругий элемент, который в свою очередь перемещал реохорду датчика омического сопротивления. Сигнал разбаланса поступал на мост где и записывался на ленте.

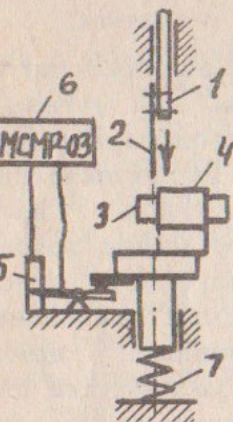


Рис.3. Схема установки для определения нормативных значений удельного сопротивления резанию плодов и овощей. 1 - ползун, 2 - нож, 3 - образец исследуемого продукта, 4 - держатель образца, 5 - датчик омического сопротивления реохордного типа, 6 - мост уравнивающий автоматический самопишущий, 7 - упругий элемент.

Планиметром определялась площадь диаграмм, записанных в результате произведенных экспериментов на ленте моста. Измеренная площадь диаграмм умножалась на коэффициент перевода и определялась полная работа. Из этой работы вычиталась работа, затрачиваемая на деформацию упругих элементов и определялась фактическая работа.

Удельную работу определяли путем деления фактической работы на двойную площадь поперечного сечения образца разрезанного ножом. Подобным образом обрабатывались все 10 диаграмм для одной серии эксперимента, а затем определялось среднее арифметическое значение удельной работы, дисперсия, среднее квадратичное отклонение и доверительный интервал 95% вероятности.

В табл.9 приведены значения  $\omega_0$  и  $A_{0,95}$  для различных плодов и овощей, полученные экспериментально в доверительном интервале 95% вероятности. Для исследования брали овощи и плоды, качество которых отвечает техническим требованиям республиканских технических условий или государственных стандартов на сырье, перерабатываемое на консервных, овощесульных и пищевых концентратных предприятиях.

№№ п.п.	Продукт	$\omega_0$ н/м	$A_{0,95}$ нм/м <sup>2</sup>
1.	Яблоко свежее	30 ± 37	15,0 ± 18,5
2.	Груши свежие	35 ± 40	17,5 ± 20
3.	Айва свежая	180 ± 215	80 ± 107,5
4.	Тыква свежая	115 ± 140	57,5 ± 70
5.	Капуста белокочанная свежая	120 ± 150	80 ± 75
6.	Баклажаны свежие	180 ± 205	80 ± 102,5
7.	Перец сладкий свежий	240 ± 265	120 ± 132,5
8.	Лук репчатый свежий	90 ± 115	45 ± 57,6
9.	Морковь столовая свежая	210 ± 270	105 ± 135
10.	Свекла столовая свежая	140 ± 170	70 ± 85
11.	Картофель свежий для переработки	80 ± 85	30 ± 32,5
12.	Сельдирей свежий	145 ± 235	72,5 ± 117,5
13.	Петрушка свежая	145 ± 195	72,5 ± 97,5
14.	Редька черная свежая	245 ± 280	122,5 ± 140
15.	Редис свежий	90,5 ± 105,0	45,0 ± 52,5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

Понятно, что сами по себе упругие свойства плодов и овощей не представляют практического интереса. Это не строительный материал, знание упругих свойств которого необходимо на практике. И только энергетическая оценка процесса резания, как было показано выше, нуждается в данных о прочности материала при резании и о его сопротивляемости при сжатии, которое оценивается модулем упругости  $E$ .

Данные об упругих свойствах плодов и овощей полученные различными авторами показывают, что предел прочности для каждого из исследуемых овощей весьма устойчив, что же касается модуля упругости, то здесь нельзя не считаться с зависимостью этой характеристики, и от способа нагружения, и от величины нагружения, и от величины действия нагрузки. Это, весьма наглядно, видно из табл.10, полученной в результате

В.О. 11780

Одесский технологический институт пищевой промышленности

проведенных экспериментов. Эксперименты проводились при одноосном сжатии на специально сконструированных и изготовленных приборах, рис.4 и рис.5.

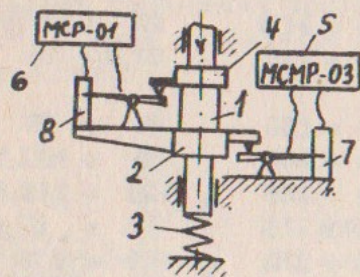
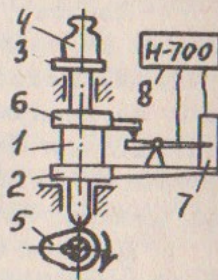


Рис.4. Схема установки для определения модуля упругости при постепенном сжатии плодов и овощей до разрушения. 1 - образец исследуемого продукта, 2 - столик, 3 - упругий элемент, 4 - давило, 5 и 6 - автоматические самопишущие мосты, 7 и 8 - датчики омического сопротивления реохордного типа.

При определении модуля упругости при постепенном сжатии до разрушения, на приборе рис.4, брали образец продукта с площадью  $1 \text{ см}^2$  высотой 10 мм и сжимали его со скоростью  $0,00047 \text{ м/сек}$ . Одновременно при помощи двух датчиков омического сопротивления реохордного типа записывали на одном мосте напряжение сжатия, а на другом соответствующую деформацию образца. Эксперимент для каждого исследуемого продукта повторялся десятикратно.

Рис.5. Схема установки для определения модуля упругости плодов и овощей мгновенным сжатием при  $\dot{\epsilon} = \text{const}$ .

1 - образец исследуемого продукта, 2 - столик, 3 чашка, 4 - тарированные грузы, 5 - вал с кулачком, 6 - давило, 7 - датчик омического сопротивления реохордного типа, 8 - осциллограф.



При определении модуля упругости при мгновенном сжатии, на приборе рис.5, брали такой же образец, как и для предыдущего опыта и сжимали его при напряжении от  $1 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$  до  $10 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ .

Изменение деформации во времени фиксировалось на фотоленте осциллографа при выдержке под нагрузкой от 1 до

60 сек и после снятия нагрузки от 1 до 30 сек. По замерам величины деформаций, возникающих под действием напряжений и после разгрузки, строили графики кинетики относительной деформации во времени  $\epsilon = \varphi(t)$  при  $\dot{\epsilon} = \text{const}$  и определяли модуль упругости  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ . Или строили графики кинетики деформации во времени  $\epsilon = \varphi(t)$  при возрастающем  $\dot{\epsilon}$  до разрушения образца. Данные обработанные методами математической статистики приведены в табл.10.

Таблица 10

№ п.п.	Продукт	$E \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ при постепенном сжатии	$E \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ при мгновенном сжатии								
			$\dot{\epsilon} = 1 \cdot 10^5 \text{ м/н}^2$			$\dot{\epsilon} = 4 \cdot 10^5 \text{ м/н}^2$			$\dot{\epsilon} = (7 \text{ и } 10^6) \text{ м/н}^2$		
		t - мгновение при котором произведен замер									
		размер в сек									
		1	30	60	1	30	60	1	30	60	

1. Картофель свежий для переработки	38	20	20	20	24	23	22	31	29	28
2. Морковь столовая свежая	65	25	26	26	48	42	43	49 <sup>x</sup>	42 <sup>x</sup>	41 <sup>x</sup>
3. Свекла столовая свежая	58	16	15	14	31	28	28	47	43	43
4. Тыква свежая	47	13	12	11	20	18	17,4	23 <sup>x</sup>	21 <sup>x</sup>	20,5 <sup>x</sup>

Даже беглое рассмотрение табл.10 ясно показывает, что  $E$  определяемое в эксперименте зависит от способа нагружения. При этом, постепенное нагружение дает значение модуля упругости в 1,5-2,5 раза больше, чем при мгновенном нагружении и постоянном значении нагрузки. Ясно видно также, что если при постепенном нагружении  $E$  не зависит от  $\dot{\epsilon}$ , то при мгновенном нагружении эта зависимость весьма значительна. При увеличении от  $1 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$  до  $10 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$   $E$  возрастает в 1,5-2,0 раза. Наконец, отмечается течение материала со временем, что и приводит к условному снижению  $E$  на 10-15% в течении одной минуты.

Таким образом ясно, что для наших целей непригодны значения модуля упругости полученные вышеописанными способами из-за большой длительности нагружения, в то время,

как в режущих машинах нагрузка осуществляется в доли секунды.

Вместе с тем появление остаточной деформации уже в течение первой секунды позволяет предположить, что при постоянном значении деформации величина нагрузки, должна с течением времени уменьшиться, что имеет существенное значение именно для изучаемого нами процесса резания. Если это справедливо, то при сжатии слоя на некоторую величину необходимое усилие будет больше того, которое в состоянии будет впоследствии создать сжатый слой на деформировавшийся эго предмет. Это означает, что при оценке затрат энергии на деформацию продукта в процессе резания, модуль упругости будет иным (более высоким), чем модуль упругости которым будет оцениваться давление создаваемое деформированным продуктом на нож, в результате чего возникают затраты энергии на трение на поверхности раздела продукт-нож.

В связи с этим представлялось целесообразным ввести понятие модифицированного модуля упругости  $E_M$  понимаемого как отношение  $(\frac{\sigma}{\epsilon})$  напряжения к относительной деформации для момента времени последующего после деформации и коэффициента модификации  $K_M = \frac{E_M}{E}$ , где  $E$  - мгновенный модуль упругости при нагружении,  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ , где  $\epsilon_0$  - мгновенная упругая деформация при нагружении.

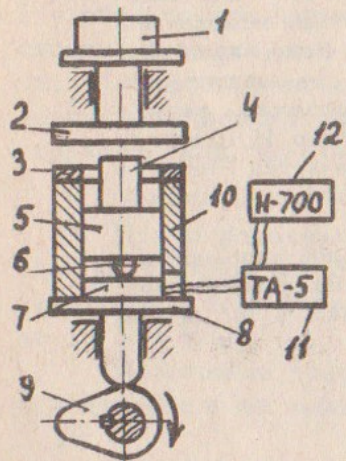


Рис.6. Схема установки для определения модуля упругости мгновенным сжатием плодов и овощей при постоянной деформации. 1 - тарированный груз, 2 - давило, 3 - дистанционное кольцо, 4 - образец, 5 - поршень, 6 - шарик, 7 - проволоочный тензOMETрический датчик, 8 - столик, 9 - кулачок, 10 - цилиндр, 11 - тензOMETрический усилитель, 12 - осциллограф.

Для проверки выдвинутого предположения на специальной установке рис.6 был проведен эксперимент по следующей методике. Образец исследуемого продукта такой же по размерам, как и для предыдущих экспериментов, клали на поршень, который опирался шариком на мембрану проволоочного тензOMETрического датчика. На чашку давила клали тарированные грузы, вес которых мог бы сжать образец продукта до  $\epsilon = (30+35)\%$ . Затем кулачок поднимал столик вверх и сжимал образец. Необходимую величину деформации получали при помощи дистанционных колец, установленных в верхней части цилиндра. Динамика изменения давления в образце при постоянной деформации записывалась с использованием проволоочного тензOMETрического датчика сопротивления, тензOMETрического усилителя ТА-5 и осциллографа марки Н-700. Запись производилась на фотоленту с масштабом времени 1 сек - 40 мм. Для каждого исследуемого продукта проводили четыре серии экспериментов, с десятикратной повторностью, при относительной деформации сжатия  $\epsilon = 10\%, 15\%, 20\%$  и  $25\%$ . Эксперимент подтвердил наше предположение, что давление с течением времени уменьшается при постоянном значении деформации (смотри рис.7).

Обработка осциллограмм для каждой серии экспериментов проводилась следующим образом. Замерялась ордината пика кривой и через 0,1 сек. Ордината пика соответствует мгновенному давлению возникающему в момент сжатия, а ордината через 0,1 сек отражает давление, создаваемое после деформации сжатия в плоде или овоще. По полученным данным составили табл.11 значений мгновенного модуля упругости  $E$  и коэффициента модификации  $K_M$  для исследованных продуктов, качество которых отвечает техническим требованиям республиканских технических условий или государственных стандартов на сырье перерабатываемом на консервных, овощесушильных и пищевых концентратных предприятиях.

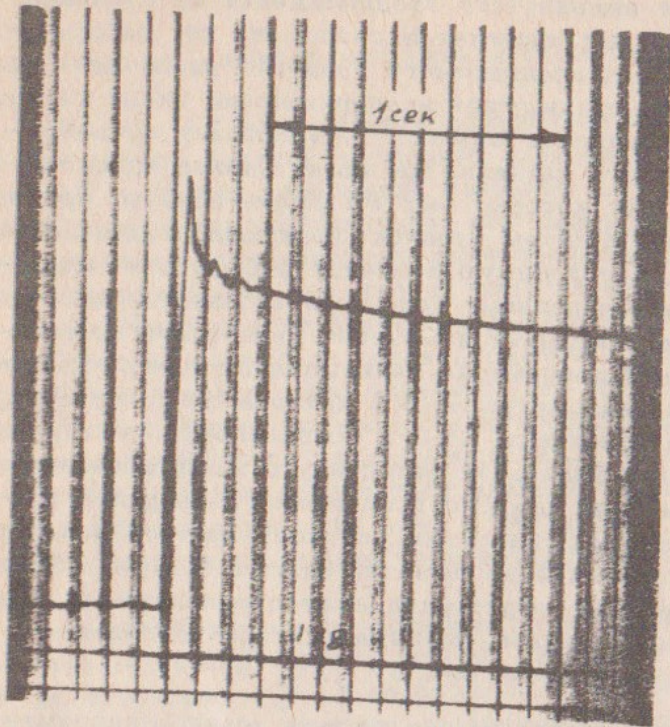


Рис.7. Осциллограмма изменения давления в образце картофеля при постоянной величине относительной деформации  $\epsilon = 20\%$ , масштаб скорости фотолен-ты 1сек - 40 мм.

Таблица 11

№№ п.п.	Продукт	$E \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$			$K_m$
		$\epsilon = 10\%$	$\epsilon = 15\%$	$\epsilon = 20\%$	
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.	Баклажаны свежие	10	10	10	0,60±0,70
2.	Огурцы свежие	13	15	15,5	0,85±0,75
3.	Кабачки свежие	17	17	17	0,70
4.	Груши свежие	-	26	21,5	0,50
5.	Лук репчатый свежий	-	30	30	0,75±0,62
6.	Яблоко свежее	29	29	29	0,90±0,50
7.	Свекла столовая свежая	22	34	40	0,70±0,80
8.	Петрушка свежая	53	53	53	0,85
9.	Капуста белокочанная свежая	66	51,5	44	0,70±0,80
10.	Картофель свежий для переработки	33	33	33	0,75

	1	2	3	4	5	6
11. Перец сладкий свежий	70	53	45	0,60±0,70		
12. Морковь столовая свежая	63	63	63	0,65		

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Резание плодов и овощей представляет собой пластическое течение материала под действием предельных контактных напряжений на поверхности контакта продукта с режущей кромкой ножа.

2. Затраты энергии на резание, в современных резательных машинах при существующих способах резания, определяются в основном трением продукта о нож. И оценка резательных машин, с этой точки зрения, должна производиться по расчетному или фактическому к.п.д. ножа  $\eta_n$ , при котором в качестве используемой полезной энергии принимается энергия на образование новой поверхности при условии лобового резания ножами заточенными под углом  $\alpha = 90^\circ$  условной толщиной 25 мкм.

В работе установлены нормативные значения этого удельного расхода энергии для различных плодов и овощей, которые рекомендуются при энергетической оценке резательных машин и их расчете (табл.9).

3. Рекомендуется для расчета значения энергетического к.п.д. ножа резательных машин формула  $\eta_n = \frac{f}{1 + K_{np} K_n}$ :

где  $K_{np} = \frac{E_m f}{2\omega_0}$ ;  $K_n = \varphi(\delta_n, \delta, \alpha, K_c, \varphi)$ ;

$E_m$  - модифицированный модуль упругости, значения которого можно высчитать по формуле  $E_m = K_m E$ , значения  $K_m$  и  $E$  для различных плодов и овощей установлены (табл.11);  $f$  - коэффициент трения плодов и овощей о поверхность ножа; значения которых установлены (табл.4,5,6,7 и 8);  $\delta_n$  - толщина ножа, м;  $\alpha$  - угол заточки ножа;  $K_c$  - коэффициент скольжения;  $\varphi$  - обобщенная характеристика способа резания (тип ножа, количество параллельных ножей и т.д.);  $\omega_0$  - удельное сопротивление резанию;  $\delta$  - размер отрезаемого кусочка продукта.

В работе даны значения функции  $K_H$  для условий резания в овощерезательных машинах (табл.2 или 3).

4. Основные рекомендации для проектирования резательных машин следующие:

а) поверхность ножей включая и поверхность заточки должна характеризоваться чистотой поверхности 7-8 класса, к которой соответствуют низкие значения коэффициентов трения;

б) толщина режущей кромки лезвия ножа не должна превышать 20-25 микрон. Притупление ножа за эти пределы должно служить основанием к заточке;

в) скользящее резание должно применяться только для плодов и овощей особой структуры: баклажаны, кабачок, огурец, морковь и значения коэффициента скольжения в этом случае не следует принимать более двух;

г) во всех случаях, когда это возможно свободное резание предпочтительнее;

д) толщина ножей должна иметь минимальные значения, определяемые их прочностью и устойчивостью.

Следует учитывать, что устойчивость ножей при скользящем резании повышается, что позволяет в этом случае применять более тонкие ножи.

е) Угол заточки ножей должен быть не более  $10-15^\circ$ .

ж) С целью уменьшения энергозатрат при резании рекомендуются скорости резания до 4 м/сек.

з) При стесненном резании величина относительной деформации не должна превышать 25-30% толщины отрезаемого слоя, т.к. плоды и овощи теряют упругие свойства при сжатии на большую величину.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. К.т.н. Н.В.Морозов, асс. А.Д.Панин „Коэффициенты трения пар-овощи-сталь“. „Консервная и овощесушильная промышленность“, 1968, № 8.

2. К.т.н. Н.В.Морозов, асс. А.Д.Панин „Коэффициент трения плодов и овощей о стальные поверхности“. „Консервная и овощесушильная промышленность“, 1968, № 9.

3. К.т.н. Н.В.Морозов, асс. А.Д.Панин „Удельное сопротивление резанию плодов и овощей“. „Консервная и овощесушильная промышленность“, 1970, № 2.

4. Панин А.Д., Молдавский Г.Х., Глобин Н.К. „Машина для резки овощей и корнеплодов“. Авторское свидетельство № 166195, опубликовано 10.XI. 1964 г. Бюлетень № 21.

По теме диссертации сделаны доклад и сообщения

1. На научной конференции ОТИПХП, 1968 г.
2. На научной конференции ОТИПХП, 1969 г.
3. На научной конференции ОТИ имени М.В.Ломоносова, 1970 г.

ВР 03033 Подписано к печати 18.1.71 г. Объем 1,5 печ.л.  
Уч.-изд.л. 1,5 Заказ № 12 Тираж 200 экз. 1971 г.

Лаборатория фотомеханической печати ОТИПП  
имени М.В.Ломоносова, г.Одесса, ул.Свердлова,112