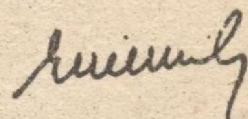


Авторефер.  
Е 60

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

На правах рукописи

ЕМЕЛЬЯНОВ Владимир Дмитриевич



НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА  
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДРОЕЛЕНИЯ-ГРЕБНЕОТДЕЛЕНИЯ  
ВИНОГРАДА

05.18.12 - процессы, машины и агрегаты пищевой  
промышленности

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

Одесса 1992

СМ



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Технологические процессы производства виноградных соков и вина начинаются с разрушения ягод путем раздавливания, разбивания или протирания гроздей по перфорированной поверхности. Эта операция, условно называемая "дроблением" винограда, имеет целью разрыв кожицы и разрушение клеточной структуры ягод для интенсификации процесса последующего извлечения из них сока. Ей в подавляющем большинстве случаев сопутствует другая, не менее важная операция, — гребнеотделение. Производственный опыт и выводы многих научно-исследовательских работ, выполненных как в нашей стране, так и за ее пределами, свидетельствуют о том, что условия, способы и режимы дробления-гребнеотделения определяют ход дальнейших физико-химических превращений в сосле и оказывают существенное влияние на качество и себестоимость выпускаемой продукции. Кроме того, дробление и гребнеотделение, реализуемые в устройствах с использованием, как правило, высоких скоростных режимов рабочих органов, являются одними из наиболее энергоемких операций в виноградоперерабатывающем производстве.

Вопросы технологии, механики и энергетики процессов дробления и гребнеотделения винограда, несмотря на их безусловную важность, до настоящего времени не получили необходимого научного развития. Кроме того, серийно выпускаемые в нашей стране

VO17007

~~с. в. 17007~~

БИБЛИОТЕКА

дробилки-гребнеотделители, входящие в состав поточных линий переработки винограда, перестали соответствовать современному техническому уровню и возросшим требованиям производства. Не удовлетворяет этим требованиям и номенклатура выпускаемого оборудования. Так, в соответствии с новым нормативным документом ("Система оборудования винодельческой промышленности на 1991-2000 гг." - Ялта, 1990) в период до 1995 г. необходимо разработать и внедрить в промышленность пять новых моделей дробильно-гребнеотделяющих машин. Таким образом, возникла острая необходимость в коренном усовершенствовании и модернизации всего отечественного дробильно-гребнеотделяющего оборудования, расширении его номенклатуры, создании нового поколения машин с показателями, соответствующими уровню лучших мировых образцов.

Цель исследования. Значительно поднять технический уровень выпускаемого оборудования невозможно без глубокого проникновения в сущность протекающих в нем процессов, исследования проявляющихся закономерностей, поиска соотношений, связывающих технологические и технико-экономические характеристики оборудования с его параметрами. Исходя из этого, целью работы являлось решение важной народнохозяйственной проблемы, заключающейся в создании экспериментальных и теоретических основ проектирования дробильно-гребнеотделяющего оборудования для переработки винограда на мезгу, изыскании новых технических решений и оптимальных параметров рабочих органов устройств для дробления винограда и отделения от него гребней, разработке методов расчета дробильно-гребнеотделяющего оборудования, отвечающего требованиям прогрессивной технологии, а также в создании и внедрении в промышленность новых образцов этого оборудования для поточных линий в соответствии с принятыми параметрическими рядами.

Объекты исследований. Для решения поставленных задач при-

менялись специально спроектированные экспериментальные стендовые установки, конструкции которых обеспечивали возможность варьирования исследуемых параметров. Изучение технологических, механических и энергетических закономерностей процессов дробления и гребнеотделения проводилось на стендовых установках, моделирующих элементы рабочих органов (бичи, валки, отражательные поверхности и др.), а также на полупроизводственных, экспериментальных и опытно-промышленных образцах разрабатываемого оборудования.

Методы исследований. Основой проведенных теоретических и экспериментальных исследований являлось математическое и физическое моделирование. В процессе выполнения работы применялись: методы аналитической химии; механико-математические методы; методы физико-химической механики дисперсных структур; высокоскоростная кино съемка; тензометрирование; методы теории подобия и моделирования; метод анализа размерностей; метод ранговой корреляции (психологический эксперимент).

Опыты проводились в лабораторных, полупроизводственных и производственных условиях. Полученные данные обрабатывались на ЭМ с использованием метода наименьших квадратов; дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов и проверкой статистических гипотез. Существенность установленных различий параметров проверяли по критериям Стьюдента и Фишера. Проверку гипотезы о согласии выборочного распределения с теоретическим осуществляли по критерию Пирсона.

Научная новизна. На основе изучения технологико-механических закономерностей, проявляющихся в процессах дробления и гребнеотделения винограда, впервые определены показатели структурно-механических и технологических свойств винограда и мезги основных промышленных сортов применительно к указанным процессам; установлен

характер зависимостей показателей качества получаемого сусла от геометрических, конструктивных и кинематических параметров рабочих органов; осуществлен выбор величин параметров, оказывающих на перерабатываемый виноград технологически оптимальное воздействие; предложены научно обоснованные методики технологических испытаний, расчета и проектирования дробилок-гребнеотделителей; обоснованы требования к современному дробильно-гребнеотделяющему оборудованию и определены пути его развития. По теме диссертации предложены технические решения, защищенные 6 а.с. СССР на изобретения.

Практическая значимость. Полученные аналитические описания процессов, экспериментальные и теоретические зависимости, соотношения и расчетные формулы позволяют осуществлять выбор параметров рабочих органов и решать конкретные инженерные задачи проектирования нового и модернизации эксплуатируемого дробильно-гребнеотделяющего оборудования с высокими технологическими показателями. По данным проведенных исследований разработаны технологические требования к дробилкам и дробилкам-гребнеотделителям для винограда, которые отражены в отраслевых нормативных документах. При участии диссертанта разработаны исходные требования, технические задания на проектирование, конструкторская документация и освоено серийное производство валковых дробилок-гребнеотделителей Т1-ВЦГ-10 и Т1-ВЦГ-20, центробежной дробилки-гребнеотделителя ЦЦГ-20М, начато серийное производство центробежных дробилок-гребнеотделителей Б2-ЦЦГ-20 и Б2-ЦЦГ-30. В упомянутых моделях реализованы предложенные в соавторстве технические решения по а.с. СССР 216581, а.с. СССР 66СГ70 и а.с. СССР 1462939.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены

и получали положительную оценку на заседаниях секции Ученого совета ВНИИВиП "Магарач" по виноделию (Ялта, 1968-1972 гг., 1985-1990 гг.), на заседании Научно-технического совета Тбилисского ГСХЗгродема (Тбилиси, 1985 г.) и на расширенном заседании Ученого совета ВНИИВиП "Магарач" (Ялта, 1991 г.).

Публикации. Материалы диссертации изложены в 2 книгах, 1 брошюре, 31 статье в научно-технических журналах и сборниках центральных и республиканских издательств, 4 депонированных рукописях и в 6 описаниях изобретений.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 265 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы, 35 рисунков и 29 приложений. Библиографический список включает 337 наименований, в том числе 317 на русском языке.

На защиту выносятся экспериментальные и теоретические основы проектирования дробильно-гребнеотделяющего оборудования для переработки винограда, в том числе:

методология испытаний и комплексной технологической оценки дробильных и гребнеотделяющих устройств;

методы изучения и количественные характеристики структурно-механических и технологических свойств винограда и мезги применительно к процессам дробления и гребнеотделения;

теоретико-экспериментальный анализ технологической эффективности рабочих органов в центробежных дробилках-гребнеотделителях;

результаты исследования эффективности удара груза о неподвижную преграду как способа дробления-гребнеотделения;

прогрессивные технические решения, оптимальные параметры и режимы рабочих органов дробильных и гребнеотделяющих устройств;

расчетные формулы для определения основных конструктивных

параметров, производительности и мощности привода дробильных и гребнеотделяющих устройств.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В современных дробилках-гребнеотделителях раздавливание винограда осуществляется с помощью дробильных валков, а отделение гребней — с помощью бичевого или лопастного гребнеотделяющих устройств. Установлено, что развитие конструкций дробилок-гребнеотделителей идет по пути усовершенствования их рабочих органов и использования рациональных режимов, обеспечивающих повышение качества вырабатываемого сула. При этом принципиальные технические решения бичевого и лопастного гребнеотделяющих устройств практически не изменяются. Машины, применяемые в мировой практике для переработки винограда на мезгу, различаются только техническим мастерством воплощения основополагающей конструктивной идеи, технологичностью изготовления, технико-экономическими и эксплуатационными показателями, совершенством эстетического оформления.

### I. Совершенствование методики испытаний и технологической оценки дробилок-гребнеотделителей

Одна из наиболее важных задач при изучении процессов, протекающих в дробилках-гребнеотделителях для винограда, — разработка научно обоснованной методики технологической оценки этих машин при приемочных испытаниях, а также в процессе проведения исследований с целью установления оптимальных параметров и режимов работы оборудования. Разрабатываемая методика должна предусматривать необходимость изучения совокупности показателей как технологической эффективности входящих в конструкцию устройств (рабочих органов), так и влияния работы этих устройств на каче-

ство получаемого сусла.

Предложена совокупность технологических показателей для оценки работы дробильно-гребнеотделяющих машин по интенсивности разрушения винограда и качеству получаемого сусла-самотека. Для характеристики измельчающего воздействия рабочих органов дробилки на виноград рекомендуется использовать два показателя: объемный расход сусла-самотека, отделяемого из прсы мезги на эталонном стекателе за 10 мин (скорость суслоотделения), и массовую концентрацию в сусле-самотеке взвешенных веществ. Совершенство работы дробилки-гребнеотделителя как технологической машины, входящей в состав поточной линии переработки винограда, предложено характеризовать такими показателями как массовые концентрации в отделяемом на эталонном стекателе сусле-самотеке взвесей, фенольных веществ, экстракта и железа.

Оценку технологической эффективности процессов дробления и гребнеотделения ранее производили по данным механических анализов мезги и гребневых отходов, определяя в мезге массовые доли нераздавленных ягод и обрывков гребней, а в гребневых отходах — массовые доли нераздавленных ягод и обрывков кожицы, а также объем сусла, смачивающего гребни. Однако для точной количественной оценки эффективности работы машины по дроблению-гребнеотделению перечисленных показателей недостаточно. Для того, чтобы выявить действительную картину распределения гребней и на ее основе объективно охарактеризовать технологическую эффективность гребнеотделяющего устройства, вышеуказанная совокупность показателей должна быть дополнена данными материального баланса гребней, содержащихся в винограде, мезге, а также в гребневых отходах, удаляемых из машины. Затем результаты механических анализов представляются в виде соответствующих коэффициентов ( $K_1, K_2, K_3$ ) и обобщенных показателей ( $\Pi_1, \Pi_2, \Xi$ ) технологической эффективности.

Показатели для оценки работы дробильно-гребнеотделяющих машин по технологической эффективности. Методы определения и расчета показателей

Показатели и их обозначения	Единицы измерения	Методы определения или расчета
Массовая доля обрывков гребней в мезге	%	Механическим анализом пробы мезги (5 дм <sup>3</sup> ) и пробы исходного винограда на содержание гребней
Массовая доля ягод и обрывков кожицы в гребневых отходах	%	Механическим анализом пробы гребней (1 кг) и пробы исходного винограда на содержание ягод и обрывков кожицы
Объемная доля остатков сусла в гребневых отходах	%	Вмачиванием пробы гребней (1 кг) в 10000 мл <sup>3</sup> воды с последующим определением массовой концентрации сахаров в промывных водах и пересчетом на сусло
Показатель эффективности раздавливания ягод, $\Pi_1$	-	$\Pi_1 = 1 - \frac{НЯМ-НЯГ}{НЯВ}$ ; (1)
Коэффициент полноты отделения гребней, $K_1$	-	$K_1 = \frac{ГГ}{Г}$ ; (2)
Коэффициент качества отделения гребней, $K_2$	-	$K_2 = \frac{ГГ}{РГ}$ ; (3)
Коэффициент эффективности отделения ягод от гребней, $K_3$	-	$K_3 = 1 - \frac{РГ - ГГ}{Ря}$ ; (4)
Показатель эффективности гребнеотделения, $\Pi_2$	-	$\Pi_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ ; (5)
Показатель технологической эффективности работы дробилки-гребнеотделителя, $\mathcal{E}$	-	$\mathcal{E} = \Pi_1 \cdot \Pi_2$ . (6)

В формулах для их расчета, приведенных в таблице I, приняты следующие обозначения:  $НЯВ$  — массовая доля нераздавленных ягод в винограде, поступающем непосредственно из питателя-дозатора в загрузочный бункер дробилки;  $НЯМ$  — массовая доля нераздавленных ягод в мезге;  $НЯГ$  — массовая доля нераздавленных ягод в

гребневых отходах, выведенных из машины.  $\Gamma$  — масса гребней в партии винограда, поступающего на переработку;  $\Gamma_{г}$  — масса гребневых отходов, т.е. гребней вместе с остатками в них суслу, кожицы и ягод;  $\Gamma_{г}$  — масса собственно гребней в гребневых отходах;  $P_{я}$  — масса ягод, оставшихся на гребнях к моменту загрузки винограда в дробилку.

Введенные в рассмотрение коэффициенты образуют трехмерную систему непрерывных случайных величин  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ , которыми оценивается результат опыта по определению эффективности работы гребнеотделяющего устройства. Коэффициенты могут принимать любые значения в интервале от 0 до 1 и на границах отражают экстремальные ситуации, которые могут возникнуть при работе гребнеотделяющего устройства. Установлено, что плотности распределения  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  подчиняются нормальному закону, а величины коэффициентов парных корреляций между ними близки к нулю. На основании того, что для случайных величин, распределенных по нормальному закону, некоррелированность равносильна независимости (Вентцель, Овчаров, 1969), в качестве исчерпывающих характеристик системы были приняты математические ожидания  $M[K_1]$ ,  $M[K_2]$  и  $M[K_3]$ , а для оценки технологической эффективности гребнеотделения — их произведение. Заменяя математические ожидания их статистическими оценками, получим окончательно выражение (5). Таким же образом может быть доказана справедливость выражения (6). Выражения (5) и (6) по своей структуре аналогичны выражению для вероятности одновременного появления трех независимых случайных величин в схеме событий.

2. Исследование показателей и сравнительная технологическая оценка дробильно-гребнеотделяющего оборудования

Сравнительная оценка валковых и центробежных дробилок-

гребнеотделителей на основе применения коэффициентов и обобщенных показателей технологической эффективности дает основания утверждать, что используемые на наших виноградоперерабатывающих предприятиях дробилки как одного, так и другого типа, являются несовершенными. При переработке винограда сортов Клерет белый и Ркацители показатели, характеризующие общую технологическую эффективность (Э) валковых дробилок-гребнеотделителей не превышают 0,6, а центробежных — 0,5. Низкая технологическая эффективность по дроблению-гребнеотделению определяется в основном неудовлетворительной работой гребнеотделяющих устройств. В зависимости от сорта и состояния зрелости перерабатываемого винограда, типа применяемых дробилок-гребнеотделителей в мезгу переходит до 40 % от массы гребней, содержащихся в исходном винограде. Объемная доля сусла, смачивающего гребни и удаляемого вместе с ними из машины, наибольшая у валковых дробилок (при переработке винограда сорта Клерет белый — 20,9 дм<sup>3</sup>/т, сорта Ркацители — 10,7 дм<sup>3</sup>/т). При переработке винограда на центробежных дробилках-гребнеотделителях объем сусла, смачивающего гребни, в три раза меньше.

Применение центробежных дробилок-гребнеотделителей увеличивает массовые концентрации взвесей в сусле-самотеке вдвое по сравнению с переработкой винограда на валковых дробилках-гребнеотделителях и втрое по сравнению с переработкой его только на валковых дробилках (Попов, Емельянов, 1970). Массовая концентрация общих фенольных веществ в сусле-самотеке после переработки винограда на центробежных дробилках-гребнеотделителях на 25... ..50 %, мономерных флаваноидов — на 40 % больше, чем на валковых. Активность монофенол-монооксигеназы в сусле, полученном в результате переработки винограда на центробежных дробилках также возрастает на 40 % (Датуншвили с сотр., 1974). Переработка

винограда на валковых дробилках-гребнеотделителях приводит также к повышению массовой концентрации азотистых веществ в среднем на  $10 \text{ мг/дм}^3$ , а на центробежных — на  $45 \text{ мг/дм}^3$ , по сравнению с содержанием их в исходном винограде, в основном за счет увеличения доли пептидного и белкового азота (Бажаев, 1988).

Интенсивно разрушая и измельчая твердые части грозди, центробежные дробилки в значительно большей степени, чем валковые вызывают переход из тканей виноградной ягоды и взвесей в сусло-самотек и обогащение его пектиновыми веществами (Монтедоро, Анжелини, 1973), водорастворимыми полисахаридами (Валушко и др., 1987), структурированными коллоидами (Нечаев, Гореньков, 1966).

Данные сравнительного изучения показателей химического состава и качества сусла-самотека, получаемого при переработке винограда на дробильно-гребнеотделяющих машинах различных типов, позволили четко разграничить и рекомендовать области их рационального технологического использования. В частности, применение валковых дробилок (без гребнеотделения) и валковых дробилок с бичевыми гребнеотделяющими устройствами обеспечивает получение сравнительно прозрачного малоокисленного сусла, приближающегося по химическому составу к суслу, полученному прессованием целых гроздей. Такие машины целесообразно применять при выработке натуральных соков, безалкогольных напитков, высококачественных белых столовых вин и шампанского (Рева, Лоза, 1970 и 1971; Рева и др., 1971; Рева, 1972; Монастырский, 1974).

### 3. Определение массовых расходов сусла, выделяющегося из дробилок-гребнеотделителей в виде аэрозольного

Производственными экспериментами установлено, что дробилки-гребнеотделители как валковые, так и центробежные, являются

источниками образования аэрозоля виноградного сусла, который удаляется из дробилки вместе с гребнями. Учет массового расхода аэрозоля позволяет, с одной стороны, уточнить уровень производственных потерь продукта, а с другой стороны, более точно оценить технологическую эффективность работы дробилки.

На основе использования некоторых положений метода анализа размерностей (Хантли, 1970) выведено обобщенное уравнение для расчета объемного расхода воздуха из центробежной дробилки-гребнеотделителя любого типоразмера. Уравнение имеет следующий вид:

$$Q = \frac{1}{(K\pi)^3} \left(\frac{h}{D}\right)^{2,1} n L^3 \quad \text{м/с}, \quad (7)$$

где  $D$  — диаметр ротора, м;  $L$  — длина ротора, м;  $n$  — частота его вращения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $h$  — ширина гребневых лопастей, м;

$K$  — отношение длины дуги проекции наружной кромки винтовой поверхности на горизонтальную плоскость к длине окружности ротора. Граничное отклонение выборочной средней от расчетного значения не превышает 10%. При подаче винограда в дробилку объемный расход воздуха через разгрузочную горловину для гребневых отходов изменяется. В соавторстве получено следующее уравнение регрессии, связывающее объемный расход воздуха из дробилки, подачу винограда и частоту вращения ротора:

$$Y = 0,01368X_1 \cdot X_2 - 0,007X_2^3 - 0,0688, \quad (8)$$

где  $Y$  — объемный расход воздуха из дробилки, м/с;  $X_1$  — частота вращения ротора дробилки,  $\text{с}^{-1}$ ,  $X_2$  — подача винограда, кг/с.

Взаимозависимость между массой сусла, выделяющегося в виде аэрозоля из дробилки-гребнеотделителя ЦШ-20А в течение 1 с, и основными факторами, участвующими в процессе, выражает следующее уравнение регрессии:

$$Y = (1,4434X_2 - 0,00175X_1^2X_2 - 0,0129X_3^2X_2 - 0,5682) \cdot 10^{-4}, \quad (9)$$

где  $Y$  — массовый расход суола из дробилки в виде аэрозоля, кг/с;  
 $X_1$  — массовая концентрация сахаров в исходном винограде, г/100 см<sup>3</sup>;  
 $X_2$  — частота вращения ротора дробилки, с<sup>-1</sup>;  $X_3$  — подача винограда, кг/с. Анализ выражения (9) и частных производных  $Y$  по  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  показал, что наибольшее влияние на образование аэрозоля суола оказывают частота вращения ротора дробилки ( $X_2$ ) и подача в нее винограда ( $X_3$ ). Влияние массовой концентрации сахаров в исходном винограде проявляется в значительно меньшей степени.

#### 4. Структурно-механические и технологические свойства винограда и мезги применительно к процессам дробления и гребнеотделения

Структурно-механические свойства винограда определяют способность его сопротивляться деформациям и разгужению под действием внешних сил. Знание количественных характеристик этих свойств и закономерностей их изменения в условиях при т.л. о. э. ростей деформаций позволяет найти правильные решения при разработке и модернизации дробильно-гребнеотделяющего оборудования.

##### 4.1. Показатели структурно-механических свойств винограда при одноосном сжатии

В соответствии с методами принятыми в физико-химической механике для изучения неразрушенных структур и получения полных реологических кривых (Михайлов, Ребиндер, 1955; Никслав, 1964), деформационное поведение и структурно-механические свойства винограда при раздавливании были изучены в условиях одноосного сжатия одиночных ягод и гроздей, а также слоя гроздей, как при статическом, так и при динамическом (циклическом) приложении силы. Величины показателей определяли по результатам анализа кривых кинетики развития относительных деформаций сжатия (рис.1), записанных в координатах "относительная деформация — время

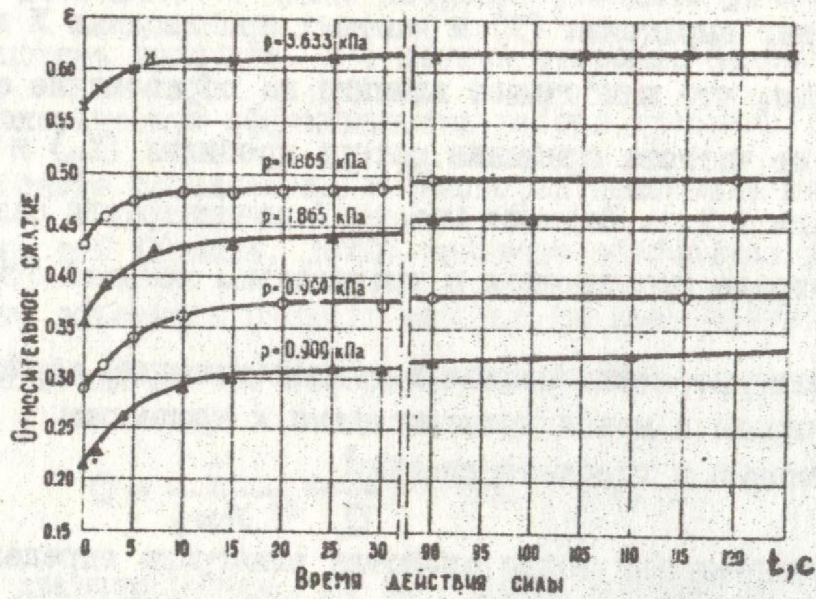


Рис. 1. Кривые кинетики развития деформаций при одноосном статическом сжатии винограда сортов: x – Мускат розовый; o – Саперави; Δ – Мускат белый.

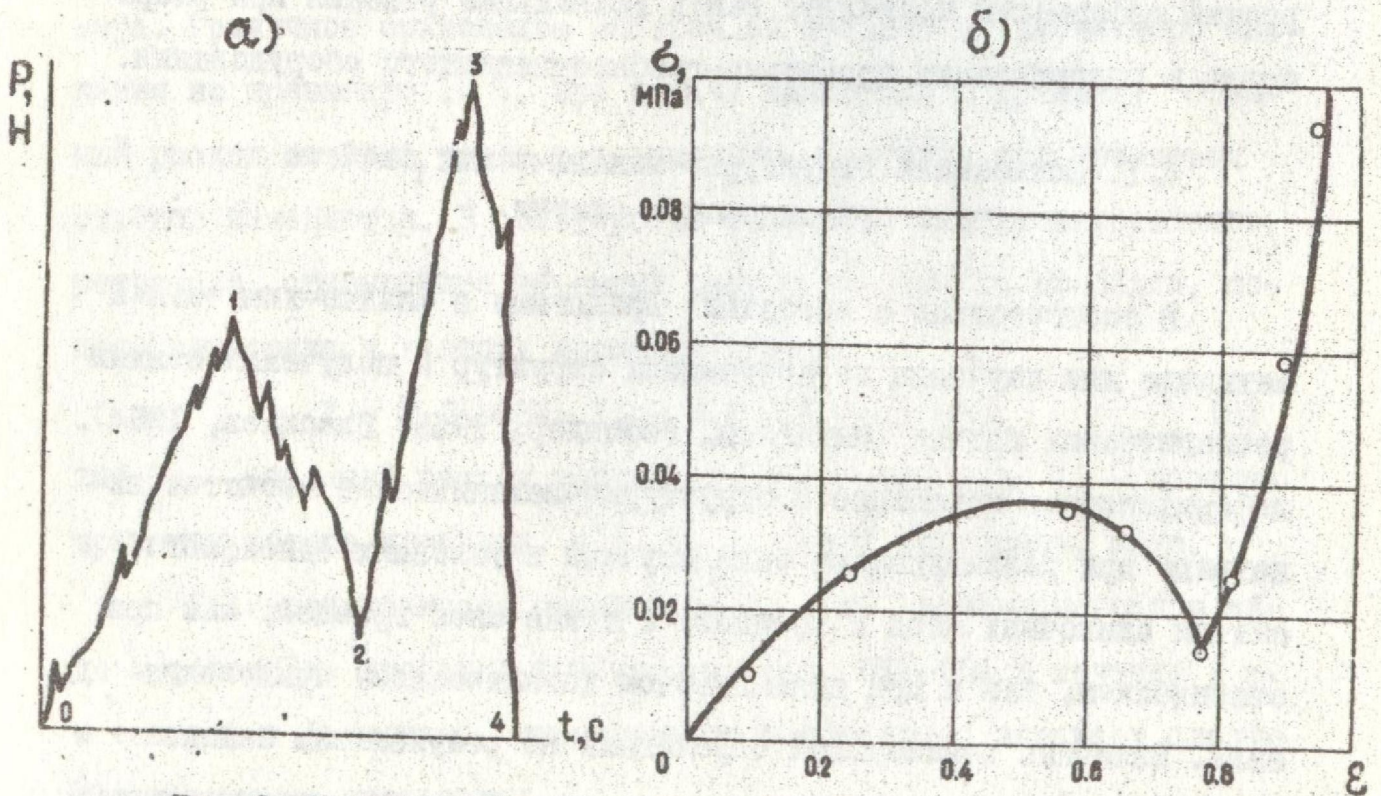


Рис. 2. Кривые деформационного поведения винограда при одноосном сжатии в циклическом режиме нагружения: а) осциллограмма "усилие-время ( $F-t$ )"; б) диаграмма "напряжение-относительное сжатие ( $\sigma-\varepsilon$ )".

$(\varepsilon - t)$ " на приборе типа пластометра-реконструированном пенетрометре МТИШа.

Графо-аналитическая обработка кривых по принятой методике (Ребиндер, 1950; Ребиндер, Сегалова, 1951; Николаев, 1964) позволила получить численные значения следующих показателей (таблица 2): модуля условно-мгновенной упругости  $E_1$ , модуля эластичности  $E_2$ , равновесного модуля  $E$ , истинной (релаксационной) вязкости  $\eta_1$ , условной вязкости упругого последствия  $\eta_2$ , периода истинной упругой релаксации  $\theta_1$ , периода эластической релаксации  $\theta_2$ . Рассчитанная повторность опытов обеспечила возможность произвести статистическую обработку результатов и представить значения показателей в виде доверительных интервалов при уровне значимости 0,05.

Таблица 2

Показатели структурно-механических свойств винограда при одноосном сжатии под действием постоянной силы (метод  $\Gamma = \text{const}$ )

Показатели, их обозначения и размерности	Значения показателей для винограда сортов		
	Саперави	Мускат белый	Мускат розовый
Модуль условно-мгновенной упругости $E_1$ , кПа	4,8±0,5	7,0±0,3	5,2±0,7
Модуль эластичности $E_2$ , кПа	28,2±2,1	33,0±2,0	27,0±3,0
Равновесный модуль $E$ , кПа	4,0±0,4	5,3±1,0	4,1±0,3
Истинная (релаксационная) вязкость $\eta_1 \cdot 10^{-6}$ , Па·с	4,236±0,576	3,314±0,733	3,963±0,732
Условная вязкость упругого последствия $\eta_2 \cdot 10^{-6}$ , Па·с	0,060±0,002	0,034±0,004	0,073±0,004
Период истинной упругой релаксации $\theta_1$ , с	932±179	701±200	808±189
Период эластической релаксации $\theta_2$ , с	2,080±0,721	1,699±0,543	1,535±0,517

VO17007 С. В. 17007

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ

Из таблицы следует, что эластические свойства винограда оказывают на процесс его раздавливания при постоянной нагрузке пренебрежимо малое влияние и при расчете оборудования могут не учитываться. Для изученных сортов величина  $\theta_1$  является весьма значительной (12...16 мин). Это необходимо учитывать при разработке оборудования, в котором реализуется медленное приложение к винограду статических нагрузок (например, в ленточных или цепковых прессах). Для подобного оборудования показателями структурно-механических свойств винограда, которые следует принимать во внимание, являются  $E_T$ ,  $\gamma_1$  и  $\theta_1$ . В условиях же относительно высокой скорости раздавливания, которая отмечается, например, в валковых дробилках, достаточно характеризовать процесс только двумя показателями, отражающими соответственно упругое и вязкое сопротивление винограда в момент раздавливания.

Показатели структурно-механических свойств винограда при одноосном сжатии под действием динамических (циклических) сил изучали на специально спроектированной стендовой установке — испытательной машине, в которой осевое сжатие винограда достигалось путем плоско-параллельного сближения плит. Применение кулисного механизма в приводе подвижной плиты (деформатора) позволило обеспечить адекватность процесса раздавливания винограда в стендовой установке и на вальковой дробилке. Условие адекватности выражается следующим образом:

$$0,125n' = Dn \quad (10)$$

где  $0,125$  — радиус кривошипа (м) в стендовой установке, принятый из конструктивных соображений;  $n'$  — частота вращения ( $\text{мин}^{-1}$ ) кривошипа кулисного механизма стендовой установки;  $n$  — частота вращения ( $\text{мин}^{-1}$ ) и  $D$  — диаметр (м) валков проектируемой дробилки. Сопротивление винограда раздавливанию воспринималось силовой измерительным звеном — упругим элементом, на который были на-

клеены рабочий и компенсационный проводочные тензометрические преобразователи, соединенные полумостовой схемой через усилитель ВАНЧ-7М с магнитоэлектрическим осциллографом А-700. Запись во времени усилий, воздействующих на плиту-деформатор, производилась при различной скорости сближения плит и различных фиксированных значениях минимального расстояния (зазора) между ними, соответствующего нахождению кривошипа кулисного механизма в нижней мертвой точке. По данным обработки осциллограмм строились диаграммы зависимостей, связывающих напряжения и относительные деформации сжатия винограда ( $\sigma - \varepsilon$ ).

На типичной осциллограмме (рис. 2, а) отмечаются два максимума усилий. Первый максимум (точка 1) соответствует моменту окончания процесса уплотнения виноградной массы и началу лавинного разрушения ягод, которое сопровождается резким падением усилия на деформатор (точка 2) в результате появления и растекания в пространстве между плитами жидкой фазы. Напряжение, соответствующее первому максимуму давления, характеризует прочность структуры ягод винограда. Эту величину можно считать верхним пределом текучести системы, при превышении которого начинается течение структуры с высокими скоростями (Толстой, 1951). Второй максимум (точка 3) соответствует моменту наибольшего уплотнения раздавленной виноградной массы и образования монолита при перемещении плиты-деформатора в крайнее нижнее положение, определяемое величиной заданного зазора.

Из диаграммы "напряжение-относительное сжатие ( $\sigma - \varepsilon$ )", изображенной на рис. 2, б, следует, что упругие свойства винограда проявляются весьма слабо. Начальный прямолинейный отрезок кривой мал и трудноуловим. Это согласуется с данными проведенного ранее изучения относительных объемных деформаций винограда при ступенчатом одноосном сжатии в заданном объеме (Монастыр-

Опыты показали, что при раздавливании винограда происходит его уплотнение. При минимальном зазоре между сближающимися плитами, равном 5...10 мм, массовая плотность получаемой мезги в 2...3 раза превышает насыпную плотность исходного винограда. На этом основании допустимо рассматривать виноград как нелинейно деформируемый материал, подчиняющийся реологическому уравнению объемного состояния (Рейнер, 1962), в котором в качестве характеристик структурно-механических свойств принимаются объемный модуль деформации  $K$  и объемный модуль вязкости  $\eta'$ . Однако, в связи с тем, что продолжительность раздавливания винограда между валками составляет десятые-сотые доли секунды, вязкое сопротивление винограда пластическому деформированию следует оценивать величиной модуля объемной ударной вязкости  $a_v$ . Указанный модуль представляет собой отношение работы деформации, равной площади под диаграммой "б-в" к единице объема винограда, подвергнутого раздавливанию.

В соответствии с технологическими требованиями величина межвалкового зазора в дробилках для винограда регулируется в пределах 5...10 мм. Поскольку расчет дробилки необходимо производить, ориентируясь на наиболее тяжелые условия ее работы, в опытах номинальный зазор был принят равным 5 мм. По данным обработки осциллограмм и диаграмм "напряжение-относительное сжатие" для различных уровней варьирования скоростей сближения плит были рассчитаны модули объемной деформации  $K$  и объемной ударной вязкости  $a_v$ , величины которых приведены в таблице 3.

Для перехода от экспериментальных к расчетным условиям и определения для них модулей  $K$  и  $a_v$  следует пользоваться условием адекватности (10).

Показатели структурно-механических свойств винограда  
при одноосном сжатии под действием динамических  
(циклически...) сил

Показатели, их обозначения и размерности	Сорт винограда	Значения показателей при частоте вращения кривошипно-кулисного ме- ханизма испытательной машины - стенда, $n$ , $\text{мин}^{-1}$				
		40	80	120	160	200
Модуль объем- ной деформации $K$ , МПа	Ркацители	0,102	0,119	0,166	0,211	0,251
	Саперави	0,072	0,093	0,112	0,181	0,233
Модуль объем- ной ударной вяз- кости, $Q_v$ $\frac{\text{МН}\cdot\text{м}}{\text{м}^3}$ ( $\frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$ )	Ркацители	0,041	0,063	0,091	0,117	0,138
	Саперави	0,017	0,029	0,046	0,068	0,090

#### 4.2. Предельное напряжение сдвига виноградной мезги

Дисперсионная среда виноградной мезги, т.е. свободный сок, характеризуется низкой эффективной вязкостью, в среднем  $2,4 \cdot 10^{-3}$  Па.с (Горбатов и др., 1982). Это дает основания распространить на мезгу результаты ряда проведенных ранее исследований (Вола-рович, Лозовская, 1951; Воларович, 1954 и др.) и считать доста-точным в первом приближении для оценки ее структурно-механиче-ских свойств использовать только один показатель - предельное напряжение сдвига  $\tau_0$ .

Наличие гребней в мезге исключает возможность применения для изучения ее сдвиговых свойств приборов, широко используе-мых в реометрии пищевых масс, в частности ротационных вискози-метров. Нами для этой цели был применен метод пенетрационных ис-пытаний с помощью конического пластометра (Ребиндер, Семененко, 1949; Агранат, Воларович, 1957; Агранат, Широков, 1957 и др.). Величину  $\tau_0$  вычисляли по максимальному погружению конуса в мез-

ту под действием известной силы.

Предварительными отсеивающими экспериментами были установлены факторы, оказывающие на величину  $\tau_0$  пренебрежимо малое влияние. После их исключения было принято, что величина  $\tau_0$  является в основном функцией следующих факторов: сорта перерабатываемого винограда, межвалкового зазора, массовых долей гребней и свободного сусла в мезге, массовой концентрации сахара в свободном сусле.

Исследование было проведено на основе применения математического планирования эксперимента с использованием метода ортогонального планирования по схеме полного факторного эксперимента с опытами в центре (Налимов, 1976). При этом были приняты следующие обозначения:  $Y$  — предельное напряжение сдвига, Па;  $X_1$  — межвалковый зазор, мм;  $X_2$  — массовая доля гребней в мезге, %;  $X_3$  — массовая доля свободного сусла в мезге, %;  $X_4$  — массовая концентрация сахаров в свободном сусле, г/100 см<sup>3</sup>.

Результаты экспериментов были обработаны методом нелинейного пошагового регрессионного анализа на ЭВМ СМ-4 по стандартной программе *MNRK* из пакета прикладных программ "Статистика". Получены следующие уравнения регрессии. По результатам опытов на винограде сорта Бастардо магарачский:

$$Y = 0,2597X_1X_2 - 0,002248X_1X_2X_3 - 4,8849 \quad (I1)$$

(уровень значимости 0,001; коэффициент детерминации 0,942; стандартная ошибка оценки 1,9); по результатам опытов на винограде сорта Ркацители:

$$Y = 1,3497X_1 + 4,9453X_2 - 0,2417X_1X_2 - 0,03962X_2X_3 - 12,726 \quad (I2)$$

(уровень значимости 0,001; коэффициент детерминации 0,96; стандартная ошибка оценки 2,3).

В уравнения (I1) и (I2) не вошел фактор  $X_4$ . Нами были проверены коэффициенты его корреляции с  $Y$ . На винограде сортов Бас-

тардо магарачский и Ркацители оба коэффициента оказались незначимыми даже на уровне 0,2. Таким образом, фактор  $X_4$  не влияет на  $Y$  и может не приниматься во внимание. Условия применения уравнений: на винограде сорта Бастардо магарачский -  $X_1 = 5...10$  мм;  $X_2 = 11...19$  %;  $X_3 = 44...66$  %; на винограде сорта Ркацители -  $X_1 = 5...10$  мм;  $X_2 = 6...16$  %;  $X_3 = 34...56$  %.

#### 5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДРОБИЛОК-ГРЕБНЕОТДЕЛИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КИНОСЪЕМКИ

Быстротечность процессов дробления и гребнеотделения, не воспринимаемых органом зрения человека, не исключает возможности использования в проектах технических решений, предложенных на основе умозрительных, иногда ошибочных представлений. Для углубленного изучения процессов взаимодействия перерабатываемого винограда с рабочими органами дробильных и гребнеотделяющих устройств нами был применен метод высокоскоростной киносъемки. На основе анализа снятых материалов даны описания общих картин процессов в упомянутых устройствах. При этом, в частности, отмечены следующие важные особенности процессов, учет которых необходим при постановке последующих теоретических и экспериментальных исследований, разработке элементов теории и совершенствовании конструкций оборудования:

по скатной поверхности загрузочного бункера и внутри бичевого устройства центробежных дробилок-гребнеотделителей грозди перемещаются не в виде сплошного однородного потока, а изолированно, т.е. виноградную массу можно интерпретировать как дискретную материальную среду;

при раздавливании винограда между профильными лопастными гребнями скорость грозди относительно поверхности валков пренебрежимо мала, что дает основания рассматривать процесс как одноосное

сжатие винограда с возможностью бокового расширения;

в бичевом устройстве центробежных дробилок-гребнеотделителей виноградная гроздь испытывает только ударные воздействия, подвергаясь последовательно: удару о скатную поверхность загрузочного бункера; удару бича влет на входе в рабочую камеру, удару о стенку цилиндра после схода с лопасти бича, а затем при движении по внутренней поверхности цилиндра одному-двум догоняющим ударам конца бича. После удара бичом грозди приобретают столь значительные осевые скорости, что могут выйти из рабочей камеры, не подвергаясь ударам последующих бичей.

#### 6. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ ПРОДУКТА В БИЧЕВОМ УСТРОЙСТВЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ДРОБИЛОК-ГРЕБНЕОТДЕЛИТЕЛЕЙ

Работа являлась частью общего теоретико-экспериментального исследования процесса, протекающего в бичевом устройстве центробежной дробилки-гребнеотделителя, с целью оценки его технологической эффективности и последующего обоснования рациональной конструктивной схемы модернизируемых дробилок ЦДГ-20А и ЦДГ-30. На первом этапе были изучены кинематические характеристики перемещения продукта по неподвижным и вращающимся поверхностям бичевого устройства. При этом установленное с помощью высокоскоростной киносъемки перемещение потока продукта в виде дискретной материальной среды дало основания ограничиться изучением характеристик движения одиночной грозди как точечной массы, совпадающей с центром инерции грозди. Исследование осуществлялось путем разделения траектории перемещения грозди на отдельные участки, соответствующие рассмотренной выше упрощенной схеме процесса, и определения кинематических характеристик движения ее на каждом отдельном участке с использованием механико-математических методов,

в частности путем составления и численного решения на ЭВМ в пределах, представляющих практический интерес, дифференциальных уравнений динамики материальной точки. Выбор метода определялся также стремлением попутно рассмотреть две задачи прикладной механики, решения которых имеют общетехническое значение и могут быть использованы при расчетах оборудования для различных отраслей народного хозяйства.

Одна из упомянутых задач связана с оптимизацией формы скатной поверхности в загрузочном бункере центробежной дробилки-гребнеотделителя ЦДГ-20А. В этой связи впервые рассмотрен наиболее общий случай движения тела, имеющего цилиндрическую или сферическую форму, по криволинейной скатной поверхности, состоящей из начального крутого и последующего пологого участков, с учетом силы трения (скольжения или качения в зависимости от крутизны участка) и сопротивления внешней среды (силы тяги воздушного потока). Задача заключалась в необходимости определить такую форму скатной поверхности, при которой горизонтальная составляющая вектора скорости центра масс грозди в момент схода со скатной поверхности имела бы максимальную величину. В результате составления дифференциальных уравнений движения тела по скатной поверхности и их преобразований получено одно линейное дифференциальное уравнение, интегрирование которого позволило получить окончательное выражение (функционал), подлежащее максимизации по углу между осью абсцисс и касательной к траектории движения тела. Численное решение задачи осуществлено с помощью специального функционального аргумента путем многократного вычисления его на ЭВМ при всевозможных наборах числовых значений параметров, лежащих в заданных интервалах их возможного изменения. Это позволило определить форму и параметры скатной поверхности, удовлетворяющие заданным условиям подачи продукта в ма-

шину. Оптимальная форма скатной поверхности в загрузочном бункере дробилки ЦДГ-20А описывается уравнением пятой степени. Рассчитано, что только за счет оптимизации формы скатной поверхности величина горизонтальной составляющей скорости грозди в точке схода возрастает на 31 %.

Решение второй задачи связано с необходимостью изучения закономерностей перемещения центра инерции грозди по плоскости бича, закрепленного на вертикальном валу, после удара, вызванного встречей бича с гроздью. Задача может быть сформулирована следующим образом: определить кинематические характеристики движения изолированной материальной частицы по наклонной плоскости, вращающегося вокруг вертикальной оси. В результате пресектирования дифференциального уравнения относительного движения частицы в векторной форме на оси подвижной системы координат, замены тригонометрической функции кинематическими характеристиками движения и различных математических преобразований получено одно дифференциальное уравнение третьего порядка. Решив его с помощью ЭВМ в функции времени, определили величину и направление вектора относительной скорости частицы.

Численное решение дифференциальных уравнений в пределах изменения параметров, представляющих практический интерес, производилось на ЭВМ БЭСМ-4М методом Рунге-Кутты. В соответствии с составленной программой были вычислены: координаты движения частицы по поверхности бича через определенный интервал времени ( $t = 0,002c$ ), составляющие вектора скорости частицы по координатным осям, относительная  $V_r$  и абсолютная  $V_a$  скорости движения частицы в момент схода ее с поверхности бича. Для этого конечного момента были определены также величины углов между вектором абсолютной скорости частицы и осями координат. Результаты исследования в виде графиков зависимостей  $V_r$  и  $V_a$  соот-

ветственно от угла наклона  $\lambda$  и ширины  $h$  бича, а также коэффициента трения  $f$  частицы по бичу представлены на рис.3. Характер выявленных зависимостей определяется соотношением сил, действующих на частицу и вызывающих изменение силы трения частицы по бичу как тормозящего фактора при изменении величин регулируемых параметров. Наибольшее влияние на величину скорости и направление движения частицы оказывают частота вращения бича и угол наклона его относительно горизонтальной плоскости.

Полученные результаты позволяют производить расчеты кинематических характеристик движения частиц по любым рабочим органам, основным элементом которых являются вращающиеся наклонные плоскости (лопатки, бичи), в зависимости от конкретной технологической задачи.

Анализ литературных источников показал, что в наиболее общем виде (с учетом всех сил, действующих на частицу) и с доведением до численных результатов решение этой задачи получено также впервые.

Изучение кинематических характеристик движения центра масс грозди, сошедшей с плоскости бича, позволило определить координаты точки контакта грозди с поверхностью цилиндра при их соударении, величину и направление вектора  $\vec{V}$  скорости удара, а затем нормальную  $\vec{V}_n$ , трансверсальную  $\vec{V}_x$  и осевую  $\vec{V}_z$  составляющие этого вектора. Нормальная составляющая  $\vec{V}_n$  является потерянной для дальнейшего движения, а соответствующая ей кинетическая энергия полностью расходуется на получение технологического эффекта. Величины остальных параметров могут рассматриваться как начальные условия для кинематического анализа движения грозди на следующем участке: по стенке цилиндра. Показано, что траекторией перемещения грозди в последнем случае является параболическая

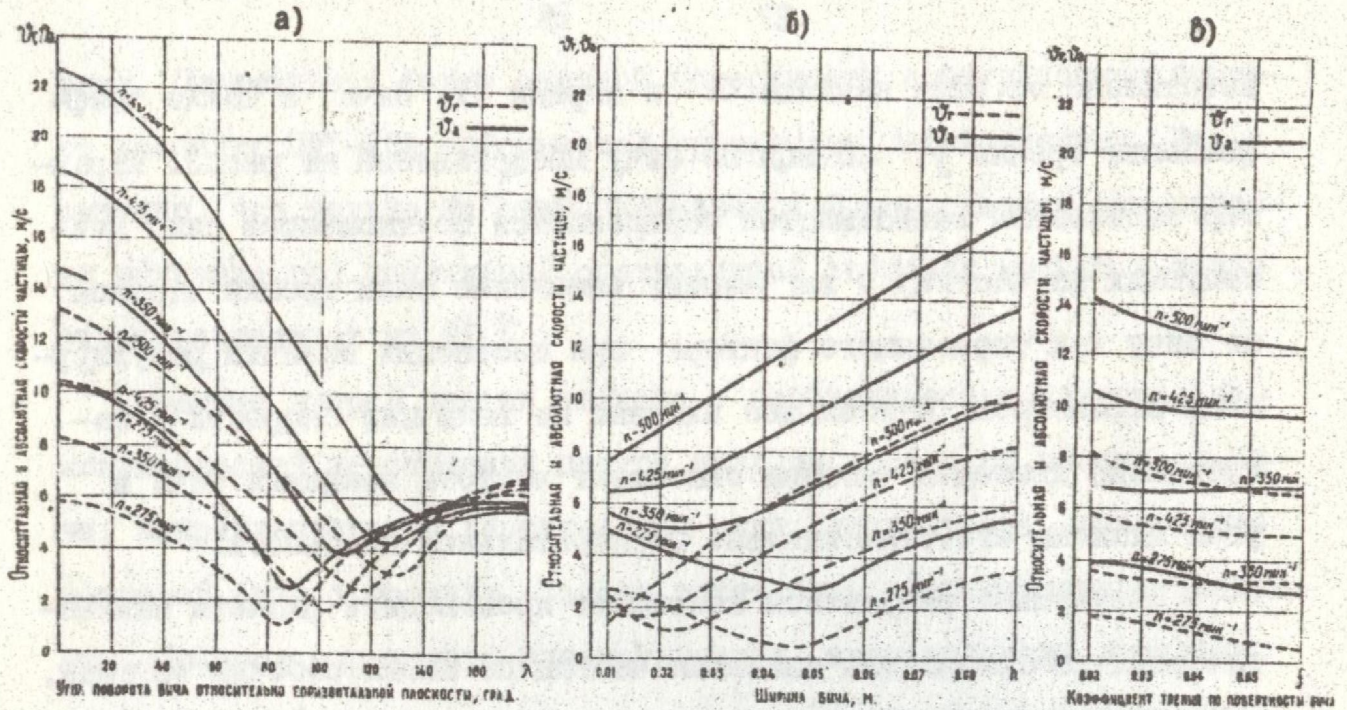


Рис.3. Графики зависимостей относительной  $\dot{V}_r$  и абсолютной  $\dot{V}_a$  скоростей движения грозди в момент схода с бича от следующих факторов: а) угла наклона  $\lambda$  бича; б) ширины  $h$  бича; в) коэффициента трения  $f$  грозди по бичу.

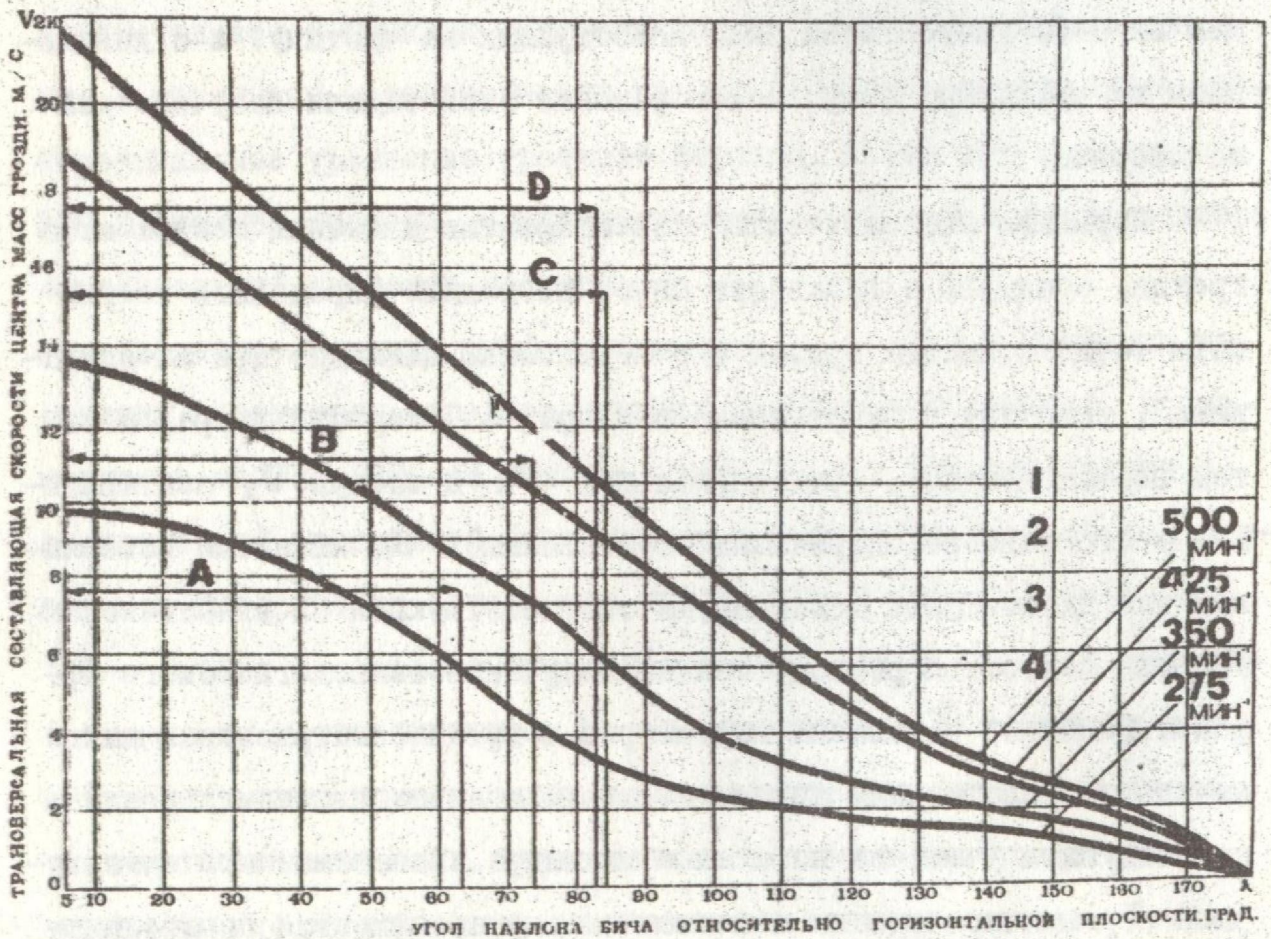


Рис.4. График зависимости трансверсальной составляющей скорости центра масс грозди при ударе её о стенку цилиндра от угла наклона  $\lambda$  бича относительно горизонтальной плоскости.

ский винт. На рис. 4 представлены графики зависимости трансверсальной составляющей  $v_k$  скорости центра масс грозди в точке встречи от угла наклона  $\lambda$  бича при различной частоте вращения ротора. Анализ этих зависимостей показывает, что при определенных углах трансверсальная составляющая скорости грозди после удара о стенку цилиндра превышает величину окружной скорости внешней кромки бича. На графиках участки А, В, С и Д, где отмечается это превышение, ограничены точками пересечения кривых с горизонталями 1, 2, 3 и 4, которым соответствуют окружные скорости внешней кромки бича при частотах вращения 275, 350, 425 и 500 мин<sup>-1</sup>.

По грозди, перемещающейся по внутренней поверхности цилиндра, может быть нанесен удар каким-либо из бичей, расположенным ниже первого, если трансверсальная составляющая скорости центра инерции грозди не превышает величины окружной скорости внешней кромки бича. Это возможно только при углах  $\lambda$  наклона бича к горизонтальной плоскости, величины которых при принятых частотах вращения ротора дробилки лежат за пределами соответствующих этим частотам участков А, В, С и Д. Эффективность удара в таком случае определяется разностью скоростей внешней кромки бича и центра масс грозди (скоростью соударения). Пользуясь кривыми, изображенными на рис. 4, нетрудно определить указанную разность для любого варианта, представляющего практический интерес.

#### 7. УДАР О НЕПОДВИЖНУЮ ПРЕГРАДУ КАК СПОСОБ ДРОБЛЕНИЯ И ГРЕБНЕОТДЕЛЕНИЯ ВИНОГРАДА

Для оценки степени влияния действующих факторов на эффективность дробления-гребнеотделения этим способом грозди винограда эталонных сортов — Ркацители и Алиготе, достигшие состояния технической зрелости ягод, сбрасывали с различной высоты на гл джук неподвижную преграду с регулируемым углом наклона по отношению к

горизонтальной плоскости. Высота сбрасывания, принятая в опытах, изменялась в пределах 1,0...5,0 м, что соответствует скоростям встречи с преградой, равным 4,4...9,9 м/с. Угол наклона преграды относительно горизонтальной плоскости, равный углу  $\varphi$  между направлением вектора скорости центра масс грозди и нормалью к поверхности преграды, изменялся в пределах 0...75° через каждые 15°. Опыты носили массовый характер; каждый опыт проводился не менее, чем в 20-кратной повторности. В соответствии с изложенной выше методикой для каждой грозди подсчитывали показатель эффективности раздавливания ягод  $\Pi_1$  и показатель эффективности отделения ягод от гребней  $\Pi_2$ . Они определялись соответственно как отношение массы раздавленных и массы отделенных от гребней ягод к массе грозди до удара о преграду.

Данные экспериментов были аппроксимированы методом наименьших квадратов с помощью стандартных программ на ЭВМ ЕС-1020. Установлено, что наилучшим образом экспериментальные данные аппроксимируют следующие прямолинейные зависимости:

$$\Pi_1 = 0,0236v - 0,1146\varphi - 0,0002; \quad (13)$$

$$\Pi_2 = 0,0571v - 0,0405\varphi - 0,092, \quad (14)$$

в которых  $v$  выражена в м/с, а  $\varphi$  - в радианах. При  $\varphi = 0$  и  $v = v_n$  уравнения (13) и (14) преобразуются для расчета технологической эффективности удара грозди о стенку цилиндра бичевого устройства в центробежной дробилке-гребнеотделителе.

Технологическая эффективность дробления-гребнеотделения при ударе грозди о стенку цилиндра оценивалась путем расчетов на ЭВМ БЭСМ-4М показателей  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\mathcal{E}$  для одиночной грозди, центр инерции которой в начальном положении находился на верхней кромке бича на расстоянии 0,15 м от оси цилиндра. Показатели были вычислены для каждого из следующих значений регулируемых параметров: частоты вращения ротора бичевого устройства - в пределах

275...500 мин<sup>-1</sup> через каждые 75 мин<sup>-1</sup>; угла наклона бича относительно горизонтальной плоскости - в пределах 0°...180° через каждые 5°. Установлено, что в соответствии с характером зависимостей  $v_r$  и  $v_a$  от  $\lambda$  (рис.3,а) максимальные величины показателей  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\mathcal{E}$  отмечаются на границах исследованного участка при  $\lambda = 5^\circ$  и  $\lambda = 175^\circ$  (при  $\lambda = 0^\circ$  и  $\lambda = 180^\circ$  относительное перемещение центра масс грозди по плоскости бича отсутствует). При  $\lambda = 85...115^\circ$  показатели технологической эффективности удара на соответствующих уровнях частоты вращения ротора имеют минимальные значения. При тех значениях угла  $\lambda$ , когда удар близок к прямому, технологическая эффективность при частотах 425 ... 500 мин<sup>-1</sup> является довольно значительной. Например, при  $\lambda = 5^\circ$  и частоте вращения ротора 500 мин<sup>-1</sup>  $\Pi_1 = 0,344$ ,  $\Pi_2 = 0,741$  и  $\mathcal{E} = 0,255$ .

## 8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ, ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ-ГРЕБНЕОТДЕЛЕНИЯ ВИНОГРАДА

### 8.1. Исследование и выбор оптимальных параметров и режимов работы дробильных валков

В дробилках для винограда отечественного производства используются унифицированные восьмиллопастные валки, рабочая поверхность которых образована полуокружностями. На основе учета замечательных свойств циклоиды нами предложена дробилка для винограда (а.с. СССР № 660177), у которой лопасти валков имеют полный циклоидный профиль, образованный эпициклоидой (выступ) и гипоциклоидой (впадина). Учитывая, что в дробилках величина межвалкового зазора пренебрежимо мала по сравнению с диаметром валков, допустимо условно рассматривать работу сопряженных профилей как зацепление. Тогда, основываясь на положениях теории зацепления, нетрудно до-

казать, что при циклоидной форме кривых, очерчивающих лопасти валков, и при всех остальных одинаковых условиях отсутствует относительное скольжение профилей. Это должно благоприятно отражаться на качестве получаемого сусла-самотека.

Сравнительная технологическая оценка дробилок с валками, выполненными в двух вариантах, т.е. с лопастями, очерченными соответственно полуокружностями и циклоидными кривыми, была осуществлена путем их испытаний на полупроизводственной стендовой установке (рис. 5) в одинаковых условиях постановки и проведения экспериментов по данным механических и химико-технологических анализов отобранных проб мезги. Опыты проводились на винограде сорта Кокур, достигшем состояния технической зрелости ягод. Виноград перерабатывался на восьмилопастных валках с диаметрами начальных окружностей 240 мм и частотами вращения  $75 \text{ мин}^{-1}$  при фактических значениях межвалковых зазоров 7 мм. При этом подача винограда на переработку составляла 1,2 кг/с.

Влияние профилей на показатели эффективности дробления и качество получаемого сусла-самотека устанавливали по средним арифметическим всех полученных независимо друг от друга результатов (серий опытов). Существенность различия двух средних арифметических по каждому показателю оценивали с помощью  $t$ -критерия Стьюдента при доверительной вероятности  $P=0,95$ . Средние арифметические значения скоростей отделения сусла-самотека на эталонном стекателе при этом составили: при раздавливании винограда на валках с циклоидным профилем лопастей  $2177 \text{ мл/5 дм}^3$ , а на валках с профилем лопастей, образованным полуокружностями, —  $2100 \text{ мл/5 дм}^3$ . Массовая доля нераздавленных ягод в мезге составила в первом случае 1,4 кг/т, а во втором — 1,7 кг/т. Соответственно средние арифметические массовых концентраций взвесей были равны  $42 \text{ г/дм}^3$  и  $46 \text{ г/дм}^3$ . Для упомянутых показателей вычисленные значения  $t$ -

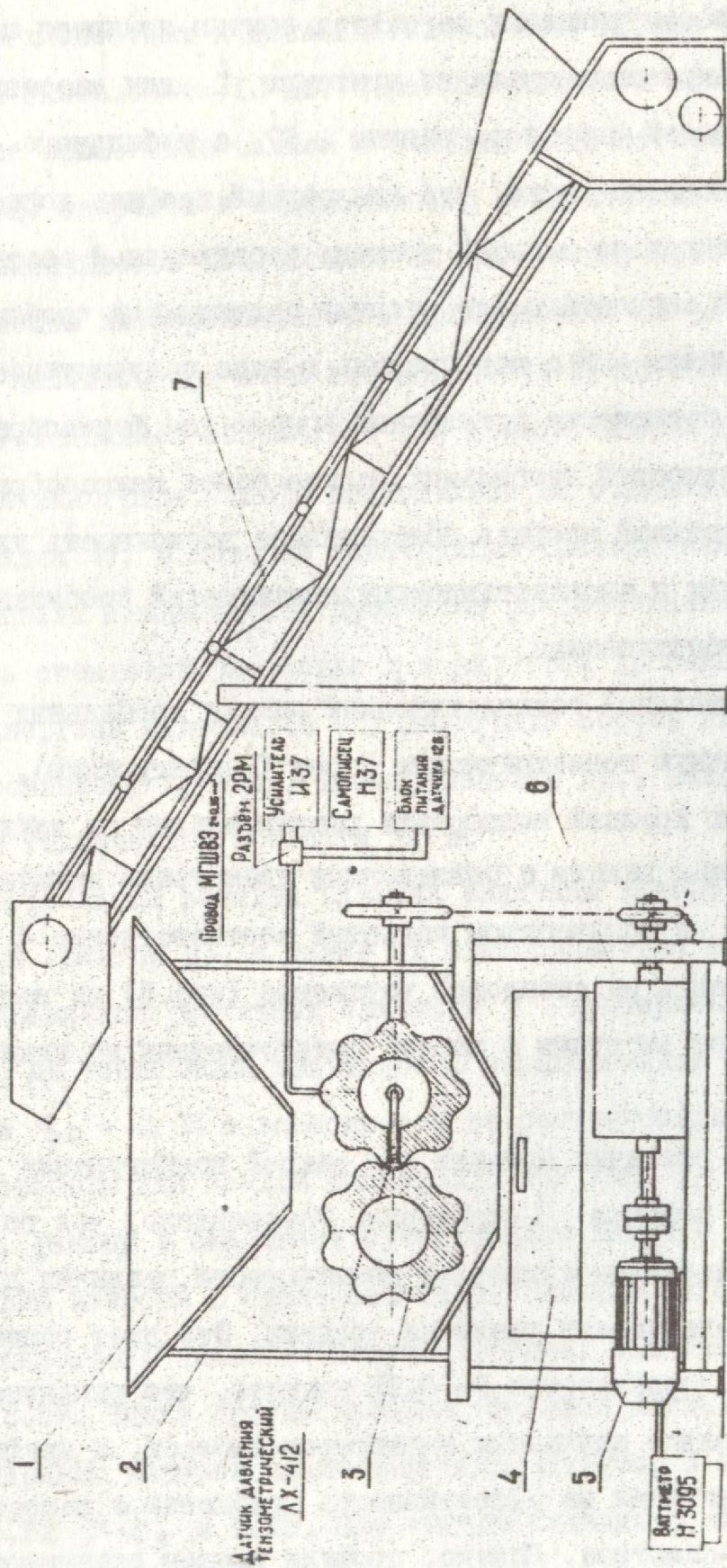


Рис.5. Схема стендовой установки со сменными валками для изучения процесса дробления винограда. 1 - бункер загрузочный; 2 - станина; 3 - валки дробильные; 4 - сборник мезги; 5 - электродвигатель; 6 - вариатор; 7 - конвейер ленточный.

критерия оказались больше табличных, поэтому различия между средними в рассматриваемых вариантах опытов являются значимыми. Например, вычисленное значение критерия  $t$  для массовых концентраций взвесей оказалось равным 2,67, а табличного -  $t_{0,95} = 2,23$ . Установлено также, что циклоидный профиль лопастей обеспечивает значительно меньший уровень вертикальной составляющей колебательной скорости возле опорных подшипников пробильных валков, чем сравниваемый с ним профиль в виде полуокружностей. Таким образом, применение циклоидных кривых для формообразования рабочих поверхностей дробильных валков более целесообразно. Переход на циклоидный профиль обеспечивает возможность улучшения технологических и эксплуатационных показателей дробильно-гребнеотделяющего оборудования.

Для сравнительной технологической оценки дробильных валков, имеющих различную геометрическую форму (конфигурацию), навески неповрежденных гроздей подвергали раздавливанию на каждой из трех пар оменных валков с одинаковыми диаметрами начальных окружностей 192 мм и количеством лопастей соответственно 4, 8 и 12. Опыты проводились на стендовой установке (рис. 5) на валках, у которых контуры выступов и впадин были очерчены по циклоидным кривым.

Значимость различия средних для каждой конфигурации валков оценивалась с помощью  $t$ -критерия. Установлено, что по всем показателям справедливы и гипотеза незначимости различия дисперсий, и гипотеза незначимости различия средних. Это дает основания с доверительной вероятностью  $P = 0,95$  считать, что различие средних обусловлено только случайным характером выборок, и профиль валка не оказывает влияния на эффективность дробления и качество получаемого сусла-самотека. Однако, профили валков оказывают влияние на плавность работы дробилки. Увеличение количества лопастей на

валке приводит к снижению интенсивности вибраций. При переходе от четырехлопастных к двенадцатилопастным валкам уровень вибростороности снизился на 10 дБ. В рассматриваемом аспекте предпочтительнее применение валков с большим количеством лопастей.

Влияние скорости и интенсивности раздавливания винограда в общей изменчивости показателей качества получаемого сусла оценили с помощью дисперсионного, корреляционного и регрессионного методов анализа. При этом интенсивность раздавливания характеризовалась величиной абсолютной или относительной деформации сжатия слоя винограда. Опыты проводились на стендовой установке (см. раздел 4), в которой конструкция привода плиты-деформатора обеспечивала адекватность процессов раздавливания виноградной массы на стендовой установке и в валковой дробилке. Раздавливанию подвергали навески (5 кг) винограда сортов Ркацители, Каберне-Совиньон, Мурведр, Мускат белый и др., находящегося в состоянии технической зрелости ягод.

Существование эффекта влияния величины зазора (фактор А) и скорости (фактор В), а также их взаимодействия устанавливали путем сравнения расчетных значений  $F$ -критериев Фишера  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  с их табличными значениями, определенными для уровня значимости  $q_0 = 0,05$  в зависимости от соответствующего числа степеней свободы для каждой дисперсии. Так как  $F_1 = 4,12 > F_T = 1,98$ , фактор А оказывает существенное влияние на массовую концентрацию взвесей в сусле-самотеке. Влияние же фактора В на этот показатель является несущественным, так как  $F_2 = 3,94 < F_T = 8,57$ . Также несущественным является влияние на массовую концентрацию взвесей взаимодействия факторов А и В, так как  $F_T = 5,82 > F_3 = 1,39$ . При оценке влияния факторов А и В на массовую концентрацию в сусле фенольных веществ установлено,

что расчетные значения  $F$ -критериев  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  в этом случае меньше соответствующих теоретических, т.е. различия между дисперсиями являются случайными и влияние исследуемых факторов на содержание в сусле фенольных веществ является несущественным. Полученные экспериментальные данные обрабатывали также методом нелинейного множественного пошагового регрессионного анализа. В результате расчетов на ЭВМ "СМ-4" по стандартной программе **MNN R** из пакета прикладных программ "Статистика" получены соответствующие нелинейные уравнения регрессии. Для оценки существования и тесноты связей между переменными рассчитывали уровни значимости  $\alpha$  по  $F$ -критерию и коэффициенты детерминации  $D$ . Сравнение полученных данных позволило сделать вывод о том, что достоверность влияния величины зазора на массовые концентрации взвесей в сусле-самотеке почти в 40, а фенольных веществ почти в 200 раз больше, чем достоверность влияния на них скорости сближения плит.

Результаты проведенного исследования открывают перспективу применения без ущерба для качества получаемой продукции наиболее рациональных режимов работы валков. При конструировании дробилок следует идти по пути уменьшения диаметра валков при одновременном сообщении им повышенной частоты вращения (50...100 мин<sup>-1</sup>). Применение малогабаритных облегченных валков позволит улучшить технико-экономические и эксплуатационные показатели дробилок.

#### 8.2. Сравнительная оценка технологической эффективности рабочих органов в центробежных дробилках-гребнеотделителях

Совершенствование конструкций центробежных дробилок-гребнеотделителей сдерживалось отсутствием научно обоснованных пред-

ставлений о вкладе бичевого и лопастного устройств в общую технологическую эффективность работы дробилки.

По отношению к бичевому устройству показатель технологической эффективности работы  $\mathcal{E}$  является целевой функцией, зависящей от большого количества разнообразных факторов. Предварительным анализом установлено, что на эффективность работы бичевого устройства могут оказывать влияние шестнадцать факторов, из которых четырнадцать являются его конструктивными и кинематическими параметрами. Поиск методом физического моделирования значений этих факторов, максимизирующих целевую функцию, представляет собой весьма сложную и трудоемкую задачу, даже при применении современных методов планирования многофакторного эксперимента. Нами был принят метод теоретического исследования с экспериментальной проверкой полученных данных. Установленные в результате механико-математического анализа значения нормальной составляющей скорости центра инерции грозди  $v_n$  использовались как исходные данные для расчета по уравнениям (I3) и (I4) технологической эффективности удара на каждом из выделенных участков траектории перемещения грозди. Путем вычислений на ЭВМ БЭСМ-4М по специально написанной программе производилась оценка влияния всех параметров бичевого устройства на общую эффективность его работы. При этом уровни параметров варьировались в пределах их возможного изменения в конструкции дробилки ЦП-20А. Установлено, что основными (сильнодействующими) факторами, влияющими на технологическую эффективность бичевого устройства, являются частота вращения бича и угол наклона его относительно горизонтальной плоскости, так как изменчивость остальных факторов заметно не отражается на скорости  $v_n$ , а следовательно, и на величинах показателей технологической эффективности. Как показала экспериментальная проверка с использованием для оценки полученных данных  $t$ -критерия Стье-

дента, на средние значения упомянутых показателей существенного влияния не оказывает также наличие "лунок" (шаровых сегментов), выдавленных на внутренней поверхности цилиндра для повышения сопротивления грозди.

Учитывая вышесказанное и пренебрегая влиянием взаимодействия гроздей между собой, эффективность работы бичевого устройства можно выразить следующим образом:

$$\mathcal{E}_2 = \sum_{i=1}^n \Pi_{3i} \cdot \sum_{i=1}^n \Pi_{4i}, \quad (15)$$

где  $\mathcal{E}_2$  - обобщенный показатель эффективности работы бичевого устройства;  $\Pi_3$  и  $\Pi_4$  - соответственно показатель эффективности раздавливания ягод и показатель эффективности гребнеотделения при  $i$ -том ударе по грозди;  $n$  - количество ударов, нанесенных по грозди. Выражение (15) можно рассматривать как математическую модель технологической эффективности бичевого устройства. Модель обеспечивает возможность расчета эффективности в зависимости от частоты вращения ротора дробилки и угла наклона бича относительно горизонтальной плоскости. При применении модели расчет эффективности дробления-гребнеотделения в результате удара грозди о скатную поверхность загрузочного бункера и после нанесения по ней ударов бичом рассчитывается по формулам (13) и (14). Показатели эффективности удара грозди о стенку цилиндра были вычислены для 143-х вариантов значений регулируемых параметров, представляющих практический интерес. С учетом допущений, принятых при формировании математической модели, произведен расчет технологической эффективности бичевого устройства дробилки-гребнеотделителя ЦП-20А нарастающим итогом от последовательного нанесения по грозди всех ударов, которые отмечаются в рабочем процессе, при  $\lambda = 85^\circ$  и четырех уровнях частоты вращения ротора: 275, 350, 425 и 500 мин<sup>-1</sup>. Установлено, что эффективность процесса

достаточно полно описывает математическая модель, включающая суммарную эффективность только первых четырех ударов. Следовательно, математическая модель эффективности бичевого устройства в окончательном и наиболее общем виде может быть представлена выражением (15), в котором  $n = 4$ .

Результаты расчетов по выражению (15) обобщенного показателя  $\mathcal{E}_2$  технологической эффективности бичевого устройства дробилки-гребнеотделителя ЦДГ-20А для указанных выше значений регулируемых параметров представлены в таблице 4.

Адекватность математической модели оценивали по экспериментальным данным, полученным в результате изучения эффективности бичевого устройства в производственном образце ЦДГ-20А. Опыты были проведены на винограде трех распространенных технических сортов: Ркацители, Клерет белый и Траминер розовый. На основе результатов анализов проб продукта, полученного после пропуска винограда через бичевое устройство, определяли исходные данные для подсчета значений показателей  $\Pi_3$  и  $\Pi_4$ , характеризующих соответственно эффективность работы бичевого устройства по разрушению ягод и отделению их от гребней. Установлено, что в интервале регулирования частоты вращения бичевого ротора от 275 до 500  $\text{мин}^{-1}$  величина  $\mathcal{E}_2$  изменялась в следующих пределах соответственно для винограда сортов: Клерет белый - 0,058...0,143; Ркацители - 0,041...0,205; Траминер розовый - 0,038...0,213. Обобщенные значения  $\mathcal{E}_2$ , представляющие собой средние арифметические значения полученных результатов на четырех уровнях частоты вращения (275, 350, 425 и 500  $\text{мин}^{-1}$ ) при  $\lambda = 85^\circ$ , приведены в следующей таблице.

Как следует из таблицы 4, предложенная математическая модель (15) адекватно отражает технологическую эффективность работы бичевого устройства вертикальных центробежных дробилок-греб-

Сравнение экспериментальных значений показателей эффективности этой работы бичевого устройства  $\mathcal{E}_2$  с расчетными данными

Способ получения данных	Величины $\mathcal{E}_2$ при $\lambda = 85^\circ$ и частотах вращения ротора, мин <sup>-1</sup>			
	275	350	425	500
По результатам производственных испытаний бичевого устройства (экспериментальные данные)	0,049	0,074	0,124	0,187
На основе использования математической модели (23) (расчетные данные)	0,045	0,069	0,117	0,170
Отклонения (по отношению к экспериментальным данным)	+0,004 (8,2 %)	+0,005 (6,7 %)	+0,007 (5,6 %)	+0,017 (9,1 %)

неотделителей типа ЦДГ в зависимости от его основных регулируемых параметров. Отклонения расчетных показателей от показателей, установленных на основе проведения производственных экспериментов, не превышают 10 %, что следует признать, учитывая характер работы, вполне удовлетворительным результатом. Адекватность модели подтверждает правильность общих методических подходов к решению поставленной задачи.

Полученные результаты опровергают сложившееся представление об основном вкладе бичевого устройства в общую технологическую эффективность работы дробильно-гребнеотделяющей машины. Доказано, что бичевое устройство характеризуется низкой технологической эффективностью. Показатель  $\mathcal{E}_2$ , оценивающий общую эффективность работы бичевого устройства по дроблению-гребнеотделению, при максимальной частоте вращения ротора находится на уровне 0,1...0,2. Следовательно, процессы разрушения ягод и отделения их от гребней осуществляются в наибольшей степени в лопастном устройстве, а бичевое устройство играет в реализации указанных про-

цессов незначительную роль. Сравнительный анализ полученных данных показал также, что технологическая эффективность бичевого устройства определяется в основном первичным ударом бича по грозди и ударом грозди после схода ее с плоскости бича о стенку цилиндра. Все остальные удары, наносимые по грозди, являются малоэффективными.

Проведенное исследование позволило предложить на основе а.с. СССР № 1482939 эффективные направления модернизации центробежных дробилок-гребнеотделителей: исключение из конструкции машины бичевого устройства; использование в приводе вместо коробки скоростей двухскоростного электродвигателя; введению в конструкцию машины специального устройства для механизированной безразборной мойки ее рабочих органов.

#### 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДРОБИЛЬНЫХ И ГРЕБНЕОТДЕЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРИВОДА

Основными параметрами являются диаметр и длина рабочего органа (рабочей камеры) дробильного или гребнеотделяющего устройства. В практике проектирования обычно осуществляют выбор основных параметров на заданную производительность устройства. Для этого необходимо иметь полученные на основе аналитического или экспериментального исследования расчетные уравнения связи. С достаточной для практики точностью раскрыть закономерности изучаемых процессов позволяют экспериментальные исследования, основанные на использовании методов теории подобия, моделирования и анализа размерностей.

##### 9.1. Моделирование процесса раздавливания винограда в условиях одноосного сжатия в незамкнутом объеме

Экспериментальные данные, полученные в результате одноос-

ного плоско-параллельного сжатия винограда сортов Саперави, Мускат белый и Мускат розовый, обрабатывали в безразмерном виде. В первом случае критерии подобия были получены из уравнения движения элемента вязкоупругого стержня (призмы), закрепленного одним концом, к другому концу которого приложена сила (Ишлинский, 1986), а во втором — на основе использования метода анализа размерностей и с учетом уравнения обобщенной линейной среды (Ржавицын, 1949). Установлено, что в обоих случаях функциональная зависимость между критериями, описывающими процесс, может быть представлена следующим образом:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = 0 \quad (16)$$

$$\text{или} \quad f\left(\frac{Ft^2}{\gamma S l^2}, \frac{\eta}{Kt}, \frac{u}{l}\right) = 0, \quad (17)$$

где  $F$  — сила, действующая на слой виноградной массы, Н;  $t$  — время действия силы, с;  $\gamma$  — насыпная плотность виноградной массы, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  — площадь, занимаемая слоем виноградной массы, м<sup>2</sup>;  $l$  — исходная толщина слоя виноградной массы, м;  $\eta$  — динамическая вязкость виноградной массы, Па·с;  $K$  — модуль деформации, Па;  $u$  — абсолютная деформация слоя виноградной массы за время действия силы, м.

В опытах устанавливали взаимосвязь между критериями, варьируя переменные, входящие в них, на трех уровнях. Время действия силы регистрировали от практически мгновенного до 240 с через различные интервалы (5...15 с).

В результате расчетов на ЭВМ СМ-4 с использованием метода нелинейного пошагового регрессионного анализа по стандартной программе **MNNR** из пакета прикладных программ "Статистика" получено следующее обобщенное уравнение связи между критериями:

$$\pi_1 = 32,3 \pi_2^{2,9} \pi_3^{1,3} \quad (18)$$

Адекватность полученного уравнения экспериментальным данным подтверждена высокими уровнями значимости (1,0) и коэффици-

ента детерминации (0,989), а также относительно низким значением стандартной ошибки оценки (0,264).

Для технологических и силовых расчетов оборудования, в котором реализуется одноосное плоско-параллельное сжатие винограда, наиболее важное значение имеет определение величины силы, возникающей на рабочем органе. В результате преобразований уравнения (18) эмпирическая зависимость, связывающая величину упомянутой силы с параметрами процесса раздавливания винограда, представлена нами в следующем окончательном виде:

$$P = 32,3 \gamma \delta \ell^2 \varepsilon^{1,94} \omega^{-3,2} \left( \frac{2 \cdot 10^6}{K} \right)^{1,2}, \text{ Н}, \quad (19)$$

где  $\varepsilon = \frac{\Delta}{\ell}$  — относительная деформация слоя виноградной массы.

### 9.2. Моделирование процесса раздавливания винограда в валковых дробилках

Функциональные зависимости между параметрами, характеризующими процесс раздавливания винограда на валковой дробилке, с помощью метода нулевых размерностей были представлены в виде следующих критериальных зависимостей:

$$\frac{q}{\gamma \omega^{0,5} D^{2,5}} = f\left(\frac{\ell}{D}, \frac{\Delta}{D}, \frac{n^2 D}{g}, \frac{\bar{d}}{D}, \frac{K}{\gamma D}, \frac{a_v}{\gamma D}, z\right) \quad (20)$$

$$\text{и} \quad \frac{N}{D^2 n^2 q} = \varphi\left(\frac{\ell}{D}, \frac{\Delta}{D}, \frac{n^2 D}{g}, \frac{\bar{d}}{D}, \frac{q}{\gamma n D}, \frac{K D}{n q}, \frac{a_v D}{n q}, z\right). \quad (21)$$

В выражениях (20) и (21) были приняты следующие обозначения и размерности:  $q$  — производительность, кг/с;  $N$  — потребляемая мощность на раздавливание винограда (технологическая мощность), кВт;  $D$  — диаметр вала (его начальной окружности), м;  $\ell$  — длина вала, м;  $z$  — число выступов или впадин на профиле вала;  $n$  — частота вращения валков, с<sup>-1</sup>;  $\bar{d}$  — характерный линейный размер грозди (условный средний диаметр), м;  $\gamma$  — насыпная плотность винограда, кг/м<sup>3</sup>;  $K$  — модуль деформации винограда, Па;  $a_v$  — модуль объемной ударной вязкости, Н/м<sup>2</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>.

Вывод уравнений связи между критериями осуществлялся по

данным опытов, проведенных на стендовой установке (рис.5) со сменными галками различного профиля. С целью получения достоверных данных о влиянии сортовых особенностей перерабатываемого сырья на основные показатели работы дробилки опыты были проведены на винограде широко распространенных промышленных сортов: Ркашители, Рислинг, Кокур белый, Саперави, Каберне, Мерло, Моллер-Тургау, Пабаш.

Для аппроксимации экспериментальных данных в виде степенных одночленов производились расчеты на ЭВМ СМ-4 с использованием метода нелинейного пошагового регрессионного анализа по упомянутой выше стандартной программе. В результате проведенных расчетов получены следующие обобщенные уравнения связи. Для расчета производительности двухвалковой дробилки:

$$q = 0,357 \psi \delta \tilde{d}^{0,17} D^{0,9} \ell^{1,4} \Delta^{0,3} n^{0,56}, \text{ кг/с}, \quad (22)$$

где  $\psi$  — коэффициент площади профиля, равный отношению площади поперечного сечения  $F_n$  выступа или впадины вала, очерченных по кривой какого-либо профиля, к площади поперечного сечения  $F_{nc}$  выступа или впадины вала, очерченных по циклоидной кривой.

Для расчета потребляемой мощности (без учета мощности холостого хода):

$$N = 101 \tilde{d}^{0,44} a_v^{0,63} q^{0,4} D^{1,6} \ell^{0,56} \Delta^{0,25} n^{0,4}, \text{ кВт}. \quad (23)$$

Результаты расчетов по уравнениям (22) и (23) отличаются от опытных данных в пределах  $\pm 10\%$ . Область применения уравнений — геометрически подобные профильные 4-х, 8-ми и 12-тилопастные валки с наименьшим диаметром начальной окружности  $D = 0,144$  м.

### 9.3. Моделирование процессов в гребнеотделяющих устройствах

Функциональная зависимость производительности, например, бичевого гребнеотделяющего устройства от действующих факторов на основе анализа проведенных нами исследований и полученной информации может быть представлена следующим образом:

$$q = \varphi_1(D, L, H, b, \delta, k, \psi, f_1, f_2, n, g, \gamma, \tau_0). \quad (24)$$

В выражении (24) приняты следующие обозначения и размерности:  $q$  - производительность (секундная подача), кг/с;  $D$  - диаметр (внутренний) гребнеотделительного цилиндра, м;  $L$  - длина гребнеотделительного цилиндра, м;  $H$  - межбичевое расстояние, м;  $b$  - ширина лопасти бича, м;  $\delta$  - зазор между торцем бича и цилиндром, м;  $k$  - количество бичей на длине шага витка ротора;  $\psi$  - относительное живое сечение стверстий на перфорированной поверхности гребнеотделительного цилиндра;  $f_1$  - коэффициент трения грозди по бичу;  $f_2$  - коэффициент трения грозди по перфорированной поверхности;  $n$  - частота вращения бичевого ротора, с<sup>-1</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\gamma$  - насыпная плотность винограда, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau_0$  - предельное напряжение сдвига мезги с гребнями, Па.

Для выявления основных величин с независимыми размерностями на ЭВМ "СМ-4" были вычислены определители третьего порядка размерной матрицы этих величин. В результате вычислений в качестве базисных переменных были приняты факторы  $D$ ,  $g$  и  $\gamma$ , так как определитель их матрицы отличен от нуля. Применяя  $\pi$  - теорему и метод нулевых размерностей, установили количество и вид критериев подобия. В результате выражение (24) может быть преобразовано к следующему виду:

$$\frac{q}{\gamma g^{0,5} D^{2,5}} = \varphi_2\left(\frac{L}{D}, \frac{H}{D}, \frac{b}{D}, \frac{\delta}{D}, k, \psi, f_1, f_2, \frac{n^2 D}{g}, \frac{\tau_0}{\gamma g D}\right). \quad (25)$$

Установленные безразмерные комплексы, а также симплексы геометрического подобия учитывают практически все факторы, влияющие на процесс гребнеотделения. Однако в числе принятых факторов имеются несущественные, а также факторы, оптимальные величины которых были установлены на основе данных предварительно проведенных исследований. Такие факторы могут быть исключены или за-

фиксированы на определенных уровнях. С учетом вышесказанного выражение (25) может быть значительно упрощено. Основываясь на принципах теории подобия, после преобразований с учетом того, что  $\gamma_m = \gamma_n$  и  $g_n = g_m$ , получили систему следующих выражений, позволяющих установить основные параметры натурального образца по известным параметрам модели:

$$\begin{aligned}
 D_n &= D_m \left( \frac{q_n}{q_m} \right)^{0,4}; & v_n &= v_m \left( \frac{D_n}{D_m} \right)^{0,5}; \\
 L_n &= L_m \frac{D_n}{D_m}; & L_n &= L_m \frac{q_n v_m D_m}{q_m v_n D_n}; \\
 N_n &= N_m \left( \frac{D_n}{D_m} \right)^{3,5}; & N_n &= \frac{v_n^3 D_n L_n}{v_m^3 D_m L_m}; \\
 N_n &= N_m \frac{q_n L_n}{q_m L_m}; & N_n &= N_m \frac{q_n v_n^2}{q_m v_m^2}.
 \end{aligned} \tag{26}$$

В выражениях (26): "м" — индекс, относящийся к параметрам образца, который принимается за полномаштабную модель (это можно сделать только после того, как будут выбраны оптимальные параметры и режимы, доказана работоспособность образца и соответствие его показателей технологическим требованиям и другим условиям проектирования); "н" — индекс, относящийся к параметрам натурального, т.е. вновь разрабатываемого образца (типоразмера) приблизительно подобной серии дробилок.

Выведенные соотношения могут быть использованы для расчетов диаметра и длины гребнеотделительного цилиндра, а также мощности, потребляемой гребнеотделяющим устройством, на заданную производительность машины. Однако принятые нами упрощающие условия обеспечивают только приближенное подобие модели и натуральных образ-

цов. Поэтому расчеты с помощью выведенных соотношений являются ориентировочными (отклонения расчетных значений от фактических достигают 20 %), и установленные по расчету значения параметров должны, как правило, подвергаться корректировке по результатам производственных испытаний разрабатываемых машин. Предложенный методический подход может быть применен при разработке приблизительно подобной серии дробилок-гребнеотделителей с гребнеотделяющими устройствами любой конструкции.

#### 10. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ДРОБИЛЬНО-ГРЕБНЕОТДЕЛЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ВИНЗАВОДАХ

На базе проведенных исследований впервые в практике отечественного пищевого машиностроения разработаны промышленные образцы валковых и центробежных дробильно-гребнеотделяющих машин, обеспечивающих возможность переработки винограда на любые типы и марки вин и натуральные соки. В 1968-1989 гг. производился крупносерийный выпуск валковых дробилок-гребнеотделителей Т1-ВДГ-10 и Т1-ВДГ-20; в 1989 г. осуществлен переход на серийное производство дробилки Б2-ВДГ-20, в конструкции которой используется бичевое гребнеотделяющее устройство дробилки Т1-ВДГ-20. Выпущена серия центробежных дробилок-гребнеотделителей ЦДГ-20М. Начато серийное производство центробежных дробилок-гребнеотделителей Б2-ЦДГ-20 и Б2-ЦДГ-30.

Обобщенные данные о внедрении перечисленных выше образцов дробильно-гребнеотделяющего оборудования в промышленность и полученном <sup>в</sup> результате этого экономическом эффекте приведены в следующей таблице.

Правильность научных положений, выводов и рекомендаций, сделанных по результатам проведенных исследований, подтверждена

Результаты внедрения разработанного дробильно-гребнеотделяющего оборудования в промышленность

Марка машины	№ а.с. СССР	Фактическое внедрение до 1991 г., шт.	Планируемый выпуск после 1991 г., шт.	Общий экономический эффект, руб.
ТИ-ВДГ-10	272246	794	-	722540
ТИ-ВДГ-20	272246	1910	Запланирован выпуск Б2-ВДГ-20	1711360
ЦДГ-20М	216581	86	-	86427
Б2-ЦДГ-20	1482939	1	350	281050
Б2-ЦДГ-30	1482939	1	20	13700

данными изучения технологических показателей, испытаний экспериментальных, опытно-промышленных и серийных образцов дробильно-гребнеотделяющего оборудования, перечисленных в таблице 5, а также данными его многолетней эксплуатации во всех винодельческих регионах страны.

Выявленные теоретические и экспериментальные закономерности позволили приступить к созданию на уровне изобретений нового поколения валковых и центробежных дробильно-гребнеотделяющих машин с высокими технологическими показателями, обеспечивающими возможность выхода нашей страны в этой разновидности технологического оборудования на мировой уровень.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В процессе решения важной народнохозяйственной проблемы, выражающейся в необходимости создания и внедрения в промышленность современного высокоэффективного дробильно-гребнеотделяющего оборудования, выполнен комплекс исследований, включающий разработку теоретических и экспериментальных основ проектирования устройств для дробления и гребнеотделения винограда, изыскание новых про-

грессивных технических решений и оптимальных параметров этих устройств, а также разработку методов расчета и проектирования оборудования на заданную производительность.

1. Совокупность химико-технологических показателей, определяемых в процессе проведения испытаний дробильно-гребнеотделяющих машин, должна быть дополнена результатами материального баланса гребней, содержащихся в исходном винограде, мезге и гребневых отходах. Полученные при этом данные, объединенные в ряд обобщенных показателей, по структуре аналогичных выражениям для вероятности одновременного появления независимых случайных величин, являются критериями для объективной количественной оценки технологической эффективности процессов дробления и гребнеотделения.

2. На основе использования методов физико-химической механики дисперсных систем изучены реологические свойства виноградной массы, одиночных гроздей и их структурных элементов применительно к процессам дробления и гребнеотделения. Экспериментально определены величины силовых и энергетических показателей указанных свойств (пределы прочности, модули деформации, усилия и работа отрыва ягод от гребней и др.) в зависимости от сортовых особенностей винограда и режимов деформирования в условиях как статического, так и динамического приложения силы.

Для оценки сопротивляемости винограда раздавливанию в условиях одноосного сжатия предложено принимать модуль объемной деформации  $K$  и модуль объемной ударной вязкости  $\alpha_v$ . Определены значения указанных модулей в диапазонах скоростей раздавливания и зазоров, представляющих практический интерес, и предельные отклонения этих значений в сортовом аспекте.

3. Получено выражение (функционал) для расчета параметров скатной поверхности, при которых горизонтальная составляющая скорости схода тела с поверхности при заданных начальных и граничных условиях имеет максимальную величину. Применение результатов исследования к решению задачи по оптимизации формы скатной поверхности в загрузочном бункере дробилки ЦДГ-20А позволило установить, что только за счет перехода от прямолинейной к криволинейной форме поверхности величина горизонтальной составляющей скорости грозди возрастает на 31%. При этом улучшаются условия загрузки дробилки продуктом. Алгоритм решения задачи может быть использован при проектировании загрузочных устройств для любых отраслей народного хозяйства.

4. В результате проведенных исследований получила дальнейшее развитие теория движения изслированной материальной частицы по наклонной плоскости, вращающейся вокруг вертикальной оси. Закономерности движения исследованы в наиболее общем случае: при условии учета всех активных и инерционных сил, действующих на частицу. Установлено, что наибольшее влияние на величину скорости и направление движения центра инерции грозди оказывают частота вращения бича и угол наклона его относительно горизонтальной плоскости. Полученные данные позволяют производить выбор параметров любых рабочих органов, основным элементом которых являются наклонные плоскости (бичи, лопатки), в зависимости от конкретной технологической задачи.

5. Проведено теоретико-экспериментальное исследование динамики непрямого удара грозди о преграду, включающее определение величины контактной силы; вывод соотношения, устанавливающего кинематическую границу скорости пластической деформации грозди при ударе; экспериментальное изучение технологической эффективности удара как способа гребнеотделения и вывод эмпирических формул, связывающих показатели эффективности дробления-гребнеотделения при ударе с основными факторами, участвующими в процессе.

6. Впервые выявлена степень влияния скорости и интенсивности раздавливания винограда на показатели качества получаемого сусла. При этом для количественной характеристики интенсивности раздавливания была принята минимальная величина расстояния между сближающимися поверхностями (зазор). На основе применения статистических методов достоверно установлена существенность эффекта влияния величины зазора на массовую концентрацию взвесей в получаемом сусле. Технологически обоснована целесообразность применения циклоидных кривых для формирования рабочих поверхностей дробильных валков. Предложены рекомендации по выбору геометрической формы параметров и режимов валков при проектировании.

7. Дана сравнительная количественная оценка вкладов бичевого и лопастного устройств центробежной дробилки-гребнеотделителя в общую технологическую эффективность работы машины, а также влияния их на показатели качества получаемого сусла-самотека. Установлено, что бичевое устройство характеризуется низкой технологической эффективностью; исключение его из конструкции не изменяет эффективности работы машины и не ухудшает качества сусла. На основе полученного

результата обосновано перспективное направление развития конструкций центробежных дробилок-гребнеотделителей; предложено новое техническое решение, позволяющее значительно повысить технико-технологические, экономические и эксплуатационные показатели выпускаемого оборудования; устранить его травмоопасность.

8. В результате решения ряда прикладных задач область применения методов теории подобия и анализа размерностей распространена на моделирование рабочих органов дробильно-гребнеотделяющих машин. Получены критериальные уравнения для расчета с учетом структурно-механических свойств сырья силы на рабочем органе при раздавливании винограда в условиях одноосного сжатия в незамкнутом объеме, производительности и энергоемкости валковых дробилок. Выявлены условия приближенного подобия моделей и натуральных образцов гребнеотделяющих устройств.

9. По данным проведенных экспериментальных и теоретических исследований на основе предложенных в соавторстве прогрессивных технических решений и выбора их параметров созданы промышленные образцы дробильно-гребнеотделяющего оборудования, выпускаемые серийно для комплектования поточных линий переработки винограда. Полученные научные результаты позволяют осуществлять в дальнейшем систематическую планомерную работу по замене всей номенклатуры дробильно-гребнеотделяющего оборудования новым высокоэффективным поколением машин.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА ПО МАТЕРИАЛАМ  
ДИССЕРТАЦИИ

Отдельные издания

1. Емельянов В.Д. Современное дробильно-гребнеотделяющее оборудование винзаводов / ЦИНТИпищепром. - М., 1968. - 56 с.
2. Емельянов В.Д. Дробильно-гребнеотделяющее оборудование. - В кн.: Оборудование предприятий для производства виноградных вин и соков. - М.: Пищевая промышленность, 1974. - С. 11-19.
3. Емельянов В.Д. Дробилки-гребнеотделители. Механизированная приемка сырья. - В кн.: Охрана труда и пожарная безопасность в винодельческой промышленности. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1964. - С. 133-134, 137-139.

Статьи в периодической печати и другие издания

4. Емельянов В.Д., Валуйко Г.Г., Саломатин Н.Ф., Белков Л.И. Сравнительная технологическая оценка валковых и ударноцентробежных дробилок-гребнеотделителей // Виноделие и виноградарство СССР. - 1966. - № 6. - С. 49-52.
5. Емельянов В.Д., Жданович Г.А., Еремин П.В. Об ударной прочности ягод винограда / Известия высших учебных заведений СССР. Пищевая технология. - 1966. - № 6. - С. 59-64.
6. Емельянов В.Д., Жданович Г.А., Еремин П.В. Определение энергоемкости гребнеотделения при переработке винограда // Научно-техническая информация (ЦИНТИпищепром). Винодельческая промышленность. - М., 1966. - Вып. 7. - С. 7-10.
7. Жданович Г.А., Емельянов В.Д., Гельгар Л.Л. К методике сравнительных испытаний винодельческих дробильно-гребнеотделяющих машин // Тр. ин-та / Всесоюз. н.-и. ин-т виноделия и виноградарства "Магарач". Т.ХУ. Виноделие. - М.: Пищевая промышленность. - 1967. - С. 13-20.
8. Емельянов В.Д., Жданович Г.А., Еремин П.В., Беляев В.Я. Влияние скорости вращения ротора на производительность и качественные показатели валковых дробилок-гребнеотделителей // Научно-техническая информация (ЦИНТИпищепром). Винодельческая промышленность. - М., 1967. - Вып. 1. - С. 10-14.
9. Емельянов В.Д., Жданович Г.А., Еремин П.В., Беляев В.Я. Определение оптимальной величины межбичевого расстояния на роторе валковых дробилок-гребнеотделителей // Научно-техническая информация (ЦИНТИпищепром). Винодельческая промышленность. - М., 1967. - Вып. 1. - С. 14-16.
10. Емельянов В.Д., Жданович Г.А., Еремин П.В., Беляев В.Я. Влияние интенсивности загрузки валковых дробильно-гребнеотделяющих машин на качественные показатели их работы // Научно-техническая информация (ЦИНТИпищепром). Винодельческая промышленность. - М., 1967. - Вып. 2. - С. 12-15.
11. Емельянов В.Д., Саломатин Н.Ф., Валуйко Г.Г., Тарасенко А.Т. Технологическая оценка дробильно-гребнеотделяющих машин // Виноделие и виноградарство СССР. - 1968. - № 6. - С. 49-52.
12. Емельянов В.Д. Изучение работы гребнеотделяющего устройства дробилок с помощью кино съемки // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. - 1969. - № 10. - С. 38-41.

13. Гельгар Л.Л., Жданович Г.А., Емельянов В.Д., Тихонов В.П. Поточная линия переработки винограда на высококачественные вина ВПЛ-ЮК // Виноделие и виноградарство СССР. - 1969. - № 5. - С. 38-42.

14. ГОСТ 15132-69. Дробилки-гребнеотделители для винограда / Сост. В.Д.Емельянов. - М.: Издательство стандартов, 1969. - 5 с.

15. Информационно-рекламный листок "Валковая дробильно-гребнеотделяющая машина ВПГ-10" / Управление по печати при Крымоблисполкоме (Сост. В.Д.Емельянов). - Симферополь, 1970. - 2 с.

16. Информационно-рекламный листок "Валковая дробильно-гребнеотделяющая машина ВПГ-20" / Управление по печати при Крымоблисполкоме (Сост. В.Д.Емельянов). - Симферополь, 1970. - 2 с.

17. Емельянов В.Д. Исследование бичевого гребнеотделяющего устройства винодельческих валковых дробилок-гребнеотделителей с целью их усовершенствования: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук / ОГИИ им. М.В. Ломоносова. - Одесса, 1972. - 26 с.

18. Жданович Г.А., Емельянов В.Д., Степанов В.Г. Оценка технологической эффективности винодельческих дробильно-гребнеотделяющих машин // Научно-технический реферативный сборник (ЦНИИТЭИпищепром). Серия 7: "Механизация и автоматизация в пищевой промышленности". - М., 1979. - Вып. I. - С. 1-5.

19. Жданович Г.А., Емельянов В.Д., Степанов В.Г. О дифференциальных уравнениях движения одиночной грозди по бичу центробежной дробилки-гребнеотделителя // Научно-технический реферативный сборник (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Оборудование для пищевой промышленности. - М., 1979. - Вып. 5. - С. 8-13.

20. Степанов В.Г., Емельянов В.Д., Неволина О.В. О влиянии некоторых конструктивных особенностей бичевого устройства дробилки ЦПГ-20А на эффективность его работы // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Оборудование для пищевой промышленности. - 1980. - Вып. 4. - С. 22-27.

21. Емельянов В.Д., Торочкин В.Г., Степанов В.Г. Исследование характеристик воздушного потока в дробилке-гребнеотделителе ЦПГ-20А // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Оборудование для пищевой промышленности. - М., 1981. - Вып. I. - С. 12-18.

22. Емельянов В.Д., Степанов В.Г., Надирадзе Ш.П. Исследование рабочих процессов дробилок-гребнеотделителей с помощью высокоскоростной киносъемки // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Оборудование для пищевой промышленности. - М., 1981. - Вып. 5. - С. 12-16.

23. Степанов В.Г., Емельянов В.Д. Численное исследование характеристик движения грозди в загрузочном бункере центробежной дробилки-гребнеотделителя // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Оборудование для пищевой промышленности. - М., 1981. - Вып. 6. - С. 9-15.

24. Слезингер И.Н., Дызов К.Г., Емельянов В.Д., Степанов В.Г. Исследование оптимальной формы скатной поверхности в загрузочном бункере вертикальной центробежной дробилки-гребнеотделителя // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Оборудование для пищевой промышленности. - М., 1982. - Вып. 4. - С. 9-14.

25. Емельянов В.Д., Степанов В.Г. Применение метода ранговой корреляции для обоснования режимов работы центробежных дробилок-гребнеотделителей // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИлегпищемаш). Обо-

рудование для продовольственных отраслей промышленности. - М., 1984. - Вып. 4. - С. 6-8.

26. Емельянов В.Д., Очаковский А.В. Травмоопасность оборудования заводов первичного виноделия // Экспресс-информация (ЦНИИТЭИ-легпищемаш). Оборудование для продовольственных отраслей промышленности. - М., 1985. - Вып. I. - С. 10-12.

27. Емельянов В.Д., Балховитина И.Л., Надирадзе Ш.П. Влияние скорости и интенсивности раздавливания винограда на качественные показатели суслу // Виноделие и виноградарство СССР. - 1986. - № 4. - С. 47-49.

28. Емельянов В.Д. Дробилка. - Энциклопедия виноградарства: в 3-х томах. - Кишинев: Гл. ред. Молд. Сов. энциклопедии, 1986. - Т. I. - С. 388-389.

29. Емельянов В.Д. Гребнеотделитель. - Энциклопедия виноградарства: в 3-х томах. - Кишинев: Гл. ред. Молд. Сов. Энциклопедии, 1986. - Т. I. - С. 333.

30. Емельянов В.Д., Морозов И.Ю. Структурно-механические свойства винограда и расчет дробилок // Пищевая промышленность / ВО "Агропромиздат". - 1991. - № 4. - С. 76-79.

31. Емельянов В.Д. О некоторых структурно-механических показателях ягод винограда // Виноградарство и виноделие СССР / Бюллетень отраслевого научного центра по производству и переработке винограда. - 1990. - Вып. 3. - С. 55-58.

32. Емельянов В.Д. Структурно-механические характеристики винограда при раздавливании // Виноградарство и виноделие СССР / Бюллетень отраслевого научного центра по производству и переработке винограда. - 1990. - Вып. 5. - С. 40-43.

33. Емельянов В.Д., Очаковский А.В., Морозов И.Ю. Новое техническое решение, устраняющее травмоопасность центробежных дробилок винограда. - В сб. "Пути улучшения охраны труда в пищевой промышленности" // Тр. ин-та / Всесоюз. н.-и. ин-т охраны труда. Гос. ком. СМ СССР по продовольствию и закупкам. - Орел, 1990. - С. 49-57.

34. Емельянов В.Д., Очаковский А.В. Безопасность систем аспирации и вентиляции дробильно-прессовых отделений заводов по переработке винограда. - В сб. "Пути улучшения охраны труда в пищевой промышленности" // Тр. ин-та / Всесоюз. н.-и. ин-т охраны труда Госком. СМ СССР по продовольствию и закупкам. - Орел, 1990. - С. 57-68.

#### Депонированные рукописи

35. Емельянов В.Д., Балховитина И.Л. Исследование факторов, влияющих на эффективность дробления-гребнеотделения винограда ударом / ВНИИВиП "Магарач". - Ялта, 1984. - 13 с. - Деп. в ЦНИИ-ТЭИпищепром 23.04.84, № 860 (Библиографическое описание рукописи опубликовано в Библиографическом указателе "Депонированные рукописи" (ВИНИТИ). - М., 1984, № 8. - С. 100).

36. Емельянов В.Д., Балховитина И.Л. Исследование факторов, влияющих на технологическую эффективность бичевого устройства дробилка-гребнеотделителя ЦПГ-20А и его математическая модель / ВНИИ-ВиП "Магарач". - Ялта, 1984. - 8 с. - Деп. в ЦНИИТЭИпищепром 27.06.84, № 329 (Библиографическое описание рукописи опубликовано в Библиографическом указателе "Депонированные рукописи" (ВИНИТИ). - М., 1984. - № 8. - С. 100).

37. Емельянов В.Д., Балховитина И.Л. Эффективность дробления-гребнеотделения при ударе гроздей с поверхность цилиндра в бичевом устройстве дробилки ЦПГ-20А / ВНИИВиП "Магарач". - Ялта, 1984. - II с. - Деп. в ЦНИИТЭИпищепром 06.09.84, № 962 пщ (Библ. описание рукописи опубли. в Библ.указателе "Депонированные рукописи" (ВИНИТИ). - М., 1984, № 12. - С. 167).

38. Емельянов В.Д. К обоснованию математической модели бичевого устройства дробилки-гребнеотделителя ЦПГ-20А / ВНИИВиП "Магарач". - Ялта, 1985. - 10 с. - Деп. в ЦНИИТЭИпищепром 29.07.85, № 1161 (Библ. описание рукописи опубли. в Библ.указателе "Депонированные научные работы" (ВИНИТИ). - М., 1985, № 12. - С. 140).

### Авторские свидетельства СССР на изобретения

#### Описания изобретений

39. А.с. 215181 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 12в, 6в, I/OI. Дробилка-гребнеотделитель для ягод / В.Д.Емельянов, Г.А.Аданович, П.В.Еремин (СССР). - № 1131125/28-13; Заявл. 07.II.67; Опубли. 03.04.68 в Б.И., 1968, № 13.

40. А.с. 216587 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 12G, 6с, I. Устройство для дробления винограда и отделения от него гребней / Г.А.Аданович, Л.Л.Гельгар, А.Н.Милошевич, Л.Б.Айвазов, В.Д.Емельянов, А.И.Середа (СССР) - 1143113/28-13; За.вл. 24.03.67; Опубли. 26.04.68 в Б.И. 1968, № 15.

41. А.с. 272246 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 12G, 6с, I. Устройство для дробления винограда и отделения от него гребней / В.Д.Емельянов, Г.А.Аданович, В.К.Кодзис, В.В.Киценко, В.Н.Козловский, Ш.С.Чигогидзе (СССР). - 1251002/28-13; Заявл. 25.04.68; Опубли. 03.06.70 в Б.И. 1970, № 19.

42. А.с. 600177 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 12G, I/O2, В 02С 4/08. Дробилка для винограда и ягод / Г.А.Аданович, В.Д.Емельянов, П.В.Еремин, В.Г.Степанов (СССР) - № 2425339/28-13; Заявл. 01.I2.76; Опубли. 30.03.78 в Б.И., 1978, № 12.

43. А.с. 1482939 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 12G, I/O2. Дробилка-гребнеотделитель для винограда / В.Д.Емельянов, А.В.Очаковский, И.Ю.Морозов, В.П.Тихонов, А.И.Лачавили (СССР) - № 4158734/28-13; Заявл. 08.I2.86; Опубли. 30.05.89 в Б.И., 1989, № 20.

44. Заявка № 4681085 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 12G, I/O2, А 23N I/OO. Дробилка-гребнеотделитель для винограда / В.Д.Емельянов, В.П.Тихонов, К.Ф.Додидзе, С.Б.Прусенский, З.А.Эбанойдзе, И.Ю.Морозов. - Приоритет от 18.04.89. - Пол. решение 24.I0.90.