



УДК 631.361.94

О. Рахматов, К.К. Нуриев, Б.Э. Холбаев, У.Т. Рахманов  
O. Rakhmatov, K.K. Nuriyev, B.E. Kholbayev, U.T. Rakhmanov

## ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГРЕБНЕОТДЕЛИТЕЛЯ СУШЕНОГО ВИНОГРАДА ВЕРТИКАЛЬНО-ДИСМЕМБРАТОРНОГО ТИПА

### GRAPH-ANALYTIC CALCULATION OF DESTEMMER OF VERTICAL DISMEMBRATOR TYPE FOR DRIED GRAPES

**Ключевые слова:** виноград, грозди, гребнеотделитель, дисмембратор, штифт, удар, импульс, трение, скорость, эксперимент, дробление.

Процесс дробления и очистки сушеного винограда является одним из основных этапов при производстве кишмиша. Этот процесс в достаточной степени хорошо изучен, но всегда модернизируется и совершенствуется. В этом плане предложена конструкция гребнеотделителя вертикально-дисмембраторного типа, принцип действия которого основан на ударном воздействии обрабатываемого продукта с вращающимися штифтами. При определении некоторых параметрических характеристик гребнеотделителя обосновывали свои суждения на знании известных принципов динамики и кинематики. По аналогии с неупругим ударом рассматривается работа деформации отдельных ягод сушеного винограда, при которой они не повреждаются и сохраняют свою форму. Обосновано, что работа деформации возрастает пропорционально квадрату окружной скорости штифта. Для обеспечения щадящего режима обработки сушеного винограда критический импульс силы при соударении должен происходить при скоростях вращения штифта меньше  $n < n_{кр}$ . При этом ягоды не повреждаются. Для проверки адекватности этих теоретических суждений необходимо произвести эксперименты по определению рационального числа вращения штифтов. Это достигается изменением числа оборотов подвижного диска дисмембратора. Теоретически обоснована абсолютная скорость материальной частицы после соударения со штифтом. По мере продвижения частицы от верхней части штифта до диска дисмембратора был определен характер её движения, описывающийся параболической зависимостью. Гроздь сушеного винограда, поступая в пространство между кольцевыми зазорами, образованными установленными по окружности неподвижными и подвижными штифтами, перетирается до отдельных ягод и гребней. Экспериментально было доказано, что степень очистки винограда от гребней зависит от дальности расположения штифтов друг от друга и их общего количества. В экспериментальной установке штифты выполнены в форме конусообразной насадки с торовыми элементами высотой 80-120 мм. Их количество: в первом

кругу – 6 шт., на втором – 12, на третьем – 18 шт., число оборотов вращения подвижных штифтов  $n = 280 - 320 \text{ мин.}^{-1}$ . Предельная линейная скорость частиц сушеного винограда  $g_{кр} = 0,35 \text{ м/с}$  при влажности обрабатываемого продукта  $W = 18 - 21\%$ .

**Keywords:** grapes, bunch of grapes, destemmer, dismembrator, pin, impact, impulse, friction, speed, experiment, crushing.

The process of crushing and cleaning dried grapes is one of the main stages of sultana (sultana raisins) production. This process has been studied enough and is upgraded and improved. We propose the design of destemmer of vertical dismembrator type which principle is based on the impact interaction of the processed product with rotating pins. The definition of some parametric characteristics of the destemmer is based on the known principles of dynamics and kinematics. By analogy with inelastic impact, the work of deforming separate dried grape berries is considered; the berries are not damaged and retain their shape. It is proved that the work of deformation increases proportionately with the squared pin peripheral velocity. To ensure a gentle mode of dried grapes processing, the critical impulse of the force at the collision should occur at the pin rotational velocity less than  $n < n_{кр}$ . In this case the berries are not damaged. To verify the theoretical assumptions, the rational rotation number of pins should be experimentally determined. This is achieved by changing the number of rotations of the dismembrator movable disk. The absolute velocity of a material particle after the collision with a pin is theoretically substantiated. The pattern of a particle movement from the pin top to the dismembrator disk has been determined and described by parabolic relation. A bunch of dried grapes enters the space between the annular clearance formed by circumferentially mounted fixed and movable pins and is ground to separate berries and stems. It has been experimentally proved that the degree of destemming depends on the distance between the pins and their total number. In the experimental destemmer the pins are cone-shaped attachments with toroid elements 80...120 mm high. Their number is as fol-

lowing: 6 pcs. in the first circle, 12 pcs. in the second circle, and 18 pcs. in the third circle; the number of rotations of the movable pins makes  $n = 280...320 \text{ min}^{-1}$ . The limiting linear velocity of

the particles of dried grapes makes  $g_{kp} = 0,35 \text{ m s}$  at the processed product moisture content of  $W = 18-21\%$ .

**Рахматов Орифжон**, к.т.н., доцент, каф. технологии переработки с.-х. продукции, Гулистанский государственный университет, Республика Узбекистан. E-mail: glsu\_info@edu.uz, olimjon82@bk.ru.

**Нуриев Карим Катибович**, д.т.н., проф., каф. технологии переработки с.-х. продукции, Гулистанский государственный университет, Республика Узбекистан. E-mail: glsu\_info@edu.uz, karimnuri55@mail.ru.

**Холбаев Бахром Эрнazarovich**, преп., каф. почвоведения и агрономии, Гулистанский государственный университет, Республика Узбекистан. E-mail: glsu\_info@edu.uz, karimnuri55@mail.ru.

**Рахманов Улугбек Турсункулович**, студент, Гулистанский государственный университет, Республика Узбекистан. E-mail: glsu\_info@edu.uz, karimnuri55@mail.ru.

**Rakhmatov Orifzhon**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Product Processing Technologies, Guliston State University, Republic of Uzbekistan. E-mail: glsu\_info@edu.uz, olimjon82@bk.ru.

**Nuriyev Karim Katibovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Agricultural Product Processing Technologies, Guliston State University, Republic of Uzbekistan. E-mail: glsu\_info@edu.uz, karimnuri55@mail.ru.

**Kholbayev Bakhrom Ernazarovich**, Asst., Chair of Soil Science and Agronomy, Guliston State University, Republic of Uzbekistan. E-mail: glsu\_info@edu.uz, karimnuri55@mail.ru.

**Rakhmanov Ulugbek Tursunkulovich**, student, Guliston State University, Republic of Uzbekistan. E-mail: glsu\_info@edu.uz, karimnuri55@mail.ru.

### Введение

При производстве сушеного винограда он подвергается механической обработке для отделения ягод от гребней и плодоножек. До настоящего времени во многих фермерских хозяйствах и частных подворьях Республики Узбекистан обработку высушенного винограда производят вручную или маломеханизированными техническими средствами [1, 2].

В связи с развитием малых и средних фермерских хозяйств остро стал вопрос механизации процесса очистки.

В этом плане на кафедре «Механизация и электрификация сельскохозяйственных процессов» ТИИМСХ (ТИИМ) были проведены ряд исследовательских работ [3, 4]. Разработанные технические средства оказались металлоемкими, технически сложными и не дали ожидаемого эффекта. Поэтому встала необходимость в дальнейшем совершенствовании и модернизации процесса обработки сушеного винограда.

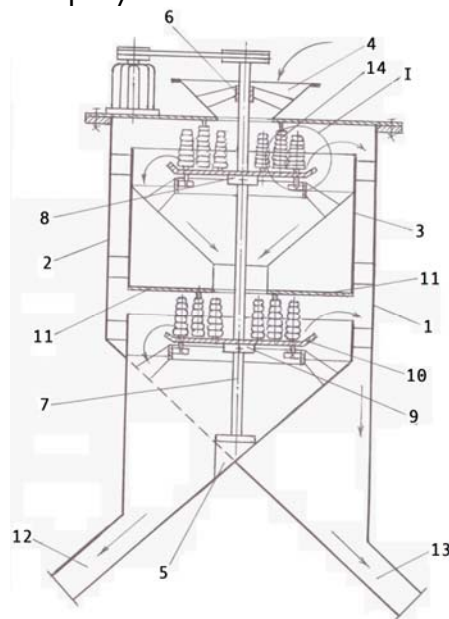
**Целью** исследований является создание мобильного малогабаритного гребнеотделителя, приемлемого для эксплуатации в домашних условиях. При этом в наши задачи входит рассмотрение процесса механического разрушения гроздей винограда, установление некоторых его режимных и конструктивных параметров, а также определение оптимальных условий проведения процесса очистки винограда.

### Объекты исследования и методика

Объектом исследования является разработанная нами новая конструкция гребнеотделителя дисмембраторного типа с вертикальным исполнением рабочего вала [5, 6]. В качестве испытуемого продукта был использован высушенный виноград кишмишных и изюмных сортов. Методика исследований ос-

нована на знании принципов динамики и кинематики и обосновывается математическими выкладками.

Разработанный гребнеотделитель представлен на рисунке 1.



**Рис. 1. Гребнеотделитель для сушеного винограда**

Гребнеотделитель содержит корпус 1 в виде отстоящих друг от друга наружной 2 и внутренней 3 обечаек, образующих кольцевой зазор, загрузочную воронку 4, установленный на подшипниковых опорах 5 и 6, вертикальный рабочий вал 7. На валу смонтированы верхний 8 и под ним идентичный ему нижний 9 дисмембраторы с подвижным 10 и неподвижным 11 дисками. В нижней части корпуса размещены патрубки 12 и 13 для отдельного выхода сбора ягод и гребней. На дисках 10 и 11 установлены штифты 14, образующие вместе концентрические ряды,

периферийные из которых составляют штифты подвижных дисков. Каждый штифт выполнен из разновеликих торообразных элементов 15, насаженных на ось таким образом, что образуют фигуру в виде усеченного конуса. Элементы 15 штифтов на подвижном диске 10 установлены с возможностью вращения на подшипнике 17, который имеет фрикционный ролик 18, взаимодействующий с кольцевым бандажом 19, закрепленным на внутренней обечайке 3. Оси 16 закреплены жестко к потолочному диску 11.

Торообразные элементы 15 выполнены из упруго-деформируемого материала, например, резины. Высушенный виноград с гребнями подают через загрузочную воронку 4 в устройство, в котором, попадая на верхний подвижный диск 10 дисмембратора 8, центробежными силами отбрасывается от центра диска к периферии. При этом продукт попадает в зазор, образованный между штифтами 14 подвижного диска 10 дисмембратора 8 и неподвижными пальцами, закрепленными на диске 11. Гребни винограда с плодами подвергаются интенсивной механической обработке. В результате вращения периферийных штифтов кисти сушеного винограда постепенно забираются (засасываются) в зазор, образованный между рабочими поверхностями штифтов и подвергаются интенсивной механической обработке, в результате чего часть плодов обрываются от плодоножек и гребней и за счет центробежной силы отбрасываются к периферии. При этом ягоды, имеющие большую по сравнению с гребнями и плодоножками удельную плотность, согласно законам физики, отбрасываются через край диска 10 и летят значительно дальше, поступая в кольцевой зазор, образованный между наружной 2 и внутренней 3 обечайками. Гребни и часть кистей винограда, не разрушившихся в процессе прохождения через кольцевые лабиринты штифтов 14, сходят с диска 10 дисмембратора 8 в коническую полость, ограниченную внутренней обечайкой 3. Поступая таким образом на подвижный диск 10 нижнего дисмембратора 9, недообработанный продукт подвергается повторной переработке, аналогично процессу на дисмембраторе 8. На втором уровне остатки гребней с ягодами винограда контактируют со штифтами 14 второго нижнего дисмембратора 9 и полностью подвергаются механическому разрушению и отделению. Ягоды и гребни из-за разных удельных плотностей и аэродинамической парусности отводятся отдельно по разным патрубкам 12 и 13.

### Теоретическая часть

В основу работы гребнеотделителя заложен принцип взаимодействия гроздей с конусообразными подвижными и неподвижными штифтами (рис. 2). Рассмотрим принцип это-

го физического явления. По мере опускания вниз между торообразными элементами грозди подвергаются работе деформации, по аналогии с неупругим ударом [7].

В этом случае работа деформации определяется выражением:

$$A_d = 0,5[m(\vartheta - \vartheta_o)^2 + M\vartheta_o^2], \quad (1)$$

где  $A_d$  – работа деформации;

$m$  – масса гроздей сушеного винограда;

$M$  – масса штифтов;

$\vartheta, \vartheta_o$  – скорость гроздей сушеного винограда после и до взаимодействия с торообразными элементами соответственно.

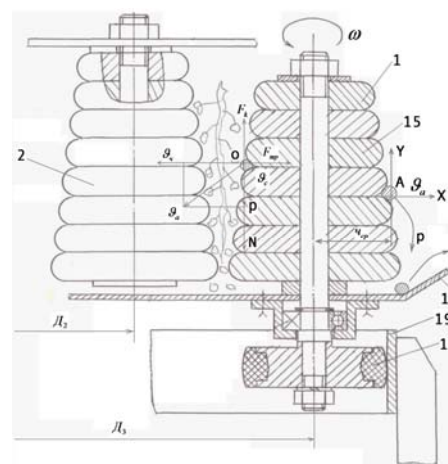


Рис. 2. Рабочий процесс, происходящий в дисмембраторе:

1 – вращающиеся штифты;

2 – неподвижные штифты;

$$F_u = mr\omega^2 \text{ – центробежная сила;}$$

$F_m = 2f m \omega \vartheta_r$  – сила трения;  $f$  – коэффициент трения;  $P = mg$  – сила тяжести;  $N$  – нормальная сила;  $F_k = 2m\omega\vartheta$  – кориолисова сила;

$\vartheta_r$  – относительная скорость движения гроздей винограда по штифту;

$\vartheta_c$  – скорость переносного движения;

$\vartheta_a$  – абсолютная скорость движения гроздей;

$r_{cp}$  – усредненное расстояние частицы

от оси вращения штифта

Из равенства (1) следует, что работа деформации возрастает пропорционально квадрату окружной скорости штифта и чрезмерное увеличение её приводит к механическому повреждению ягод винограда и разлету за пределы подвижного диска дисмембратора. Поэтому импульс силы в момент соударения гроздей со штифтами должен быть  $S < S_{кр}$ .

В точке О штифт имеет скорость

$$\vartheta = \omega r_{cp}, \quad (2)$$

а импульс силы в этом случае равен

$$S = m\vartheta = m\omega r_{cp}, \quad (3)$$

где  $m$  – масса гроздей сушеного винограда, или ягоды в отдельности.

Критический импульс силы, при котором ягоды винограда повреждаются

$$S_{kp} = m \mathcal{G}_{kp} = m \omega_{kp} r_{cp}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{G}_{kp}$  – критическая скорость штифта при соударении с гроздьями, которую выдержат ягоды винограда.

Тогда из условия  $S < S_{kp}$  получим

$$m \omega r_{cp} < m \mathcal{G}_{kp} = m \omega_{kp} r_{cp}. \quad (5)$$

Если учесть, что  $\omega = \frac{\pi n}{30}$ , то получим

$$n < \frac{30}{\pi} \cdot \frac{\mathcal{G}_{kp}}{r_{cp}}. \quad (6)$$

Отсюда экспериментальным путем можно определить  $\mathcal{G}_{kp}$ , при которой устанавливается рациональное число вращения штифтов ( $n$ ), установленных на подвижном диске дисмембратора, скорость вращения которого можно отрегулировать изменением передаточного числа клиноременной передачи.

В момент отрыва частицы со штифта в точке  $O$  абсолютная ее скорость  $\mathcal{G}_a$  равна сумме переносной скорости  $\mathcal{G}_r$  и относительной скорости  $\mathcal{G}_c$ , т.е.  $\mathcal{G}_a = \mathcal{G}_r + \mathcal{G}_c$ . Так как штифты расположены по концентрической окружности, то абсолютная скорость равна

$$\mathcal{G}_a = \sqrt{\mathcal{G}_r^2 + \mathcal{G}_c^2}. \quad (7)$$

Если учесть сопротивление воздушной среды в гребнеотделителе, то при поступенчатом переходе гребней (ягод) от верхнего торообразного элемента до нижнего, частицы двигаются по параболической зависимости

$$x = \mathcal{G} \tau; \quad y = 0,5 g \tau^2. \quad (8)$$

При падении на частицу действуют сила тяжести  $P = mg$  и сопротивление воздуха  $R = mK \mathcal{G}_a^2$ , где  $K$  – коэффициент сопротивления (опытный). Как видно, гроздь сушеного винограда в момент контакта в точке  $O$  вылетает по горизонтальной траектории до встречи с неподвижным штифтом. Этот процесс повторяется с частицами грозди до тех пор, пока они полностью не разделятся до отдельных плодов. Если предположить, что частицы двигаются в горизонтальной плоскости по параболической зависимости, то определить дальность их полета или вероятность частоты столкновения с неподвижными и вращающимися штифтами можно, решив второе уравнение (8) относительно  $\tau$  и под-

ставив в первое. Приняв  $y = h$ , получим расстояние между штифтами

$$x = l_x = \mathcal{G}_o \sqrt{2h/g}. \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что чем меньше расстояние между штифтами, тем короче дальность полета. Это означает, что частота столкновения частиц сушеного винограда увеличивается, значит, приводит к интенсивному дроблению. При переходе от штифта к штифту происходит многократное соударение и грозди разделяются до мелких подкисточек и отдельных ягод. Недообрушенные подкисточечки поступают на второй (нижний) дисмембратор и цикл обработки повторяется до полного отделения ягод от гребней.

Полнота дробления гроздей зависит от реологических и физико-механических свойств гребней, плотности засыпки, влажности и плотности винограда, а также количества неподвижных и вращающихся штифтов. Влияние этих параметров на полноту дробления гроздей теоретически определить не представляется возможным. Поэтому эти значения определяются опытно-экспериментальным путем.

#### Экспериментальная часть

Для достоверности своих теоретических суждений нами был изготовлен опытный экземпляр гребнеотделителя с разным шагом расположения штифтов как на подвижных дисках дисмембратора, так и на неподвижных (потолочных) дисках. При этом штифты на подвижных дисках контактируют с кольцевым бандажом 19. Диаметр дисков составлял  $D = 520$  мм. Производительность дозаторного устройства, питающего гребнеотделитель, оставалась постоянной. Скорость вращения штифтов регулировалась изменением напряжения на электродвигатель рабочего вала дисмембратора и заменой диаметра ведомого шкива, т.е. изменением передаточного числа клиноременной передачи. Во всех случаях использовался сушеный виноград сорта Кара Кишмиш при влажности  $W = 18 - 21\%$ . Высоту конусообразной насадки штифтов меняли в пределах  $h = 80 - 120$  мм путем разных наборов торообразных элементов. Количество штифтов: на внутреннем кругу –  $z_1 = 6$  шт.; на втором –  $z_2 = 12$ ; на третьем –  $z_3 = 18$  шт. Частоту вращения рабочего вала изменяли в пределах  $n_g = 180 - 320$  мин.<sup>-1</sup>.

Изучение динамики дробления гроздей сушеного винограда проводили по методике молотильных аппаратов [6]. Расчетная предельная линейная скорость подвижных штифтов, которые выдерживают ягоды кишмиша без их повреждения, составляет  $\mathcal{G} = 0,28$  м/с



и соответствует частоте вращения  $n_{ум} = 284 \text{ мин.}^{-1}$ . Экспериментальные кривые зависимости дробления гроздей сушеного винограда ( $\varphi_0$ ) от частоты вращения штифтов ( $n_{ум}$ ) и их количества показаны на рисунке 3.

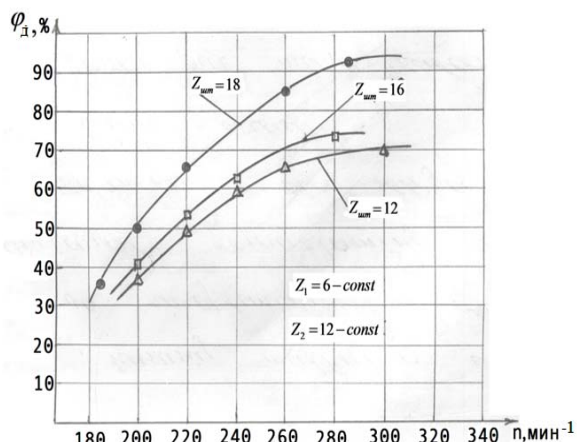


Рис. 3. Кривые зависимости дробления гроздей сушеного винограда ( $\varphi_0$ ) от частоты вращения штифтов ( $n_{ум}$ ) и их количества

Проведенные экспериментальные опыты показали, что рациональными параметрами гребнеотделителя сушеного винограда вертикально-дисмембраторного типа являются  $n_{ум} = 260 - 300 \text{ мин.}^{-1}$  при  $z_{ум} = 18$  и постоянном количестве штифтов на внутреннем  $z_1 = 6 \text{ шт.}$  и на втором круге  $z_2 = 12 \text{ шт.}$  При этих параметрах обеспечивается степень дробления  $\varphi_0 = 85 - 92\%$ . Дальнейшее увеличение числа оборотов штифтов приводит к увеличению повреждаемости ягод винограда, а увеличение подвижных штифтов к образованию «клубней» из гребней и закупориванию аппарата.

#### Выводы

1. Проведенные исследования дают возможность теоретически обосновать некоторые режимные параметры гребнеотделителя.
2. Экспериментально установлено, что рациональными параметрами гребнеотделителя сушеного винограда вертикально-дисмембраторного типа являются  $n_{ум} = 260 - 300 \text{ мин.}^{-1}$  при  $z_{ум} = 18$  и постоянном количестве штифтов на внутреннем  $z_1 = 6 \text{ шт.}$ , на втором круге -  $z_2 = 12 \text{ шт.}$
3. Определены оптимальные режимы работы аппарата и количество штифтов, обеспечивающие полноту и степень очистки гроздей в пределах  $\varphi_0 = 85...92\%$ .
4. Компактность и малые металлогабаритные размеры обеспечивают его мобильность и транспортабельность, что удобно для малых фермерских хозяйств.

#### Библиографический список

1. Мирзаев М.М. и др. Технология возделывания и сушки винограда. – Ташкент: Фан, 1983. – 430 с.
2. Комплексная программа по разработке усовершенствованных технологий сушки винограда, плодов и овощей: отчет о НИР, Сред. Азиатский отдел Всесоюз. НИИ консер. и овощеперераб. пром. № ГР01880068456. – М., 1988.
3. Рахматов О., Жаникулов Ш. Механизация процессов очистки подвяленного винограда // Труды ТИИМСХ. – Ташкент, 1990. – С. 49-53.
4. Рахматов О., Байдюк П.В., Жаникулов Ш. Механизированная очистка кишмиша // Сельское хозяйство Узбекистана. – 1992. – № 1. – С. 42-43.
5. Johnson R.L., Chandler B.V. Debitting and de-acidification of fruit juices // Food Technology in Australia. – 1986. – Vol. 38 (7). – P. 294-297.
6. Пат. № FAR 20130147 (UZ). Устройство для отделения ягод винограда от гребней / Рахматов О., Нуриев К.К., Юсупов А.М.; опубл. в Б.И. – № И. – 2014.
7. Рахматов О. Реализация и эксплуатация гибких производственных систем комплексной безотходной переработки продуктов виноградарства. – Ташкент: Фан, 2015. – 112 с.

#### References

1. Mirzaev M.M. i dr. Tekhnologiya vozdeyvaniya i sushki vinograda. – Tashkent: Fan, 1983. – 430 s.
2. Kompleksnaya programma po razrabotke usovershenstvovannykh tekhnologii sushki vinograda, plodov i ovoshchei: Otchet o NIR, Sred. Aziatskii otdel Vsesoyuz. Nil konser. i ovoshcheperarab. prom. № GR01880068456. – M., 1988.
3. Rakhmatov O., Zhanikulov Sh. Mekhanizatsiya protsessov ochildki podvyalennogo vinograda // Trudy TIIMSKh. – Tashkent, 1990. – S. 49-53.
4. Rakhmatov O., Baidyuk P.V., Zhanikulov Sh. Mekhanizirovannaya ochildka kishmisha // Sel'skoe khozyaistvo Uzbekistana. – 1992. – № 1. – S. 42-43.
5. Johnson R.L., Chandler B.V. Debitting and de-acidification of fruit juices // Food Technology in Australia. – 1986. – Vol. 38 (7). – P. 294-297.
6. Patent № FAR 20130147 (UZ). Ustroistvo dlya otdeleniya yagod vinograda ot grebnei / Rakhmatov O., Nuriev K.K., Yusupov A.M. Opubl. v B.I. – 2014.
7. Rakhmatov O. Realizatsiya i ekspluatatsiya gibkikh proizvodstvennykh sistem kompleksnoi bezotkhodnoi pererabotki produktov vinogradarstva. – Tashkent: Fan, 2015. – 112 s.