

ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ПЛОДОВОГО И
ОВОЩНОГО СЫРЬЯ НА СОК

Elena Gorbenko, Alexander Cheban

Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine

Krylova Street 17, Mykolayiv 54040, Ukraine

e-mail: chebanaleksandr@rambler.ru

Аннотация. В статье приведена классификационная схема машин для измельчения и протирки плодовоовощного и ягодного сырья составленная на основе проведенного анализа литературных источников и патентных материалов. Описано конструктивное решение лабораторной установки для исследования технологического процесса получения сока с мякотью. Определены критерии оптимизации технологического процесса и факторы, которые влияют на его выполнение.

Ключевые слова: технологическое оборудование; технологическая линия; переработка; кинематические параметры; экспериментальные исследования; измельчитель-протирщик; бичи; шнек.

ВСТУПЛЕНИЕ

Развитие отрасли переработки с.г. продукции требует создания отечественного технологического оборудования, которое будет удовлетворять самым современным требованиям и тенденциям развития производства высококачественной конкурентоспособной продукции.

С каждым годом спрос на продукцию переработки плодовоовощного и ягодного сырья увеличивается. Это также касается выпуска соков. Увеличение потребительского спроса создает необходимость разработки и внедрения в производство машин и оборудования технологических линий, которые максимально сберегают биологическую ценность плодов и ягод, предотвращают создание опасных экологических ситуаций, предупреждают экологическое загрязнение окружающей среды. Использование современного технологического оборудования сделает возможным снижение энерго- и ресурсоемкости, повышение производительности технологических линий.

Создание современного отечественного оборудования требует глубокого анализа патентно-информационных источников, теоретических исследований технологического процесса, изучения конструктивных особенностей машин и их кинематических параметров, осуществления экспериментальных исследований механико-технологических свойств объекта переработки.

Актуальной проблемой отрасли с.х. производства является отсутствие современных разработок машин и оборудования для переработки плодоовощного и ягодного сырья, что возможно использовать в хозяйствах с небольшим объемом производства.

Исследование закономерностей, которые определяют влияние конструктивно-технологических параметров машин для измельчения и протирки сырья на показатели технологического процесса получения сока, делает возможным осуществление оптимизации производственного процесса.

АНАЛІЗ ПОСЛЕДНІХ ІСЛІДОВАНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Систематизации информации о конструктивных и кинематических характеристиках измельчающих машин, выполнена на базе анализа литературных источников и патентных материалов дала возможность разработать классификационную схему машин для измельчения и протирки сырья (рис.1). В соответствии со схемой машины такого типа можно разделить на три основных группы: дробилки, мельницы и резательные машины.

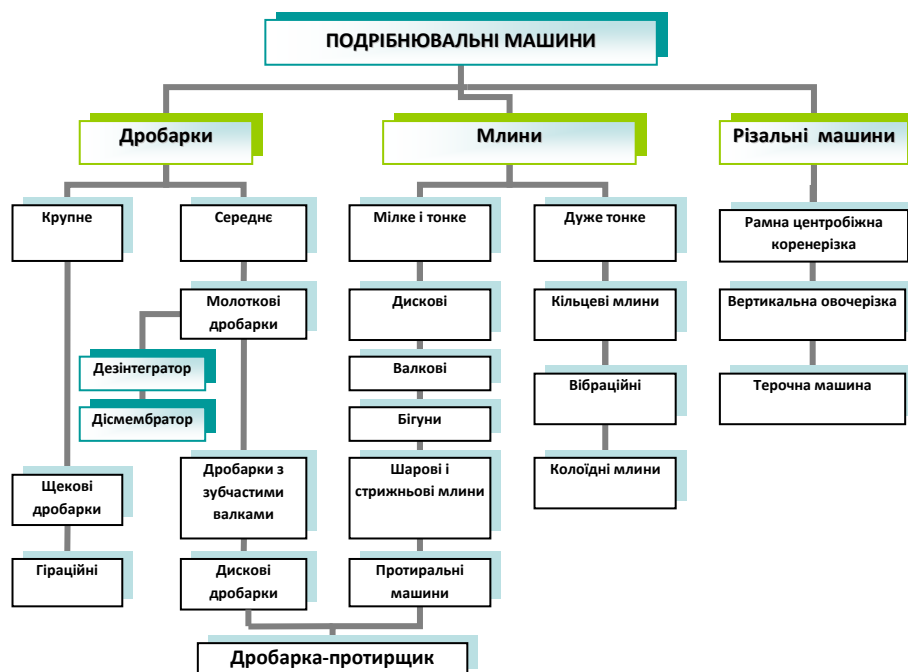


Рис. 1. Классификационная схема дробильных машин.

Fig. 1. Classification chart of crush machines

Общими требованиями к конструкциям можно считать следующие:

- конструкция машины должна обеспечивать возможность быстрой и легкой замены всех частей, которые срабатываются, в особенности рабочих органов и их элементов;
- измельчение продукта должно осуществляться до кусочков одинакового размера, а конструкция дробильной машины — допускать, по возможности, быстрое и легкое изменение степени измельчения;
- во время измельчения сухих материалов пылеобразование должно быть минимальным;
- возможность быстрого удаления измельченного материала из рабочей зоны для предотвращения избыточного его измельчения, а следовательно, и лишних затрат энергии;
- машины для достижения минимальной металлоемкости должны иметь как можно меньшую массу;
- наличие предохранительных конструктивных элементов, какие бы в случае необходимости осуществляли обесточивание машины.

Процесс измельчения по характеру влияния на сырье является измельчение с помощью удара, раздавливания, раскалывания, стирания, разрыва [1,2]. На практике часто комбинируют разные способы измельчения, например, сжатие и удар, удар и стирание. Выбор того или другого способа зависит от механических свойств материалов, которые измельчаются и требуемого размера кусков измельченного сырья. Условно степень измельчения можно разделить на: измельчение крупное, среднее, мелкое и тонкое, а также коллоидный помол [3,4].

Изучение конструкций дробильных машин и возможного их применения дает возможность сделать вывод о том, что наиболее пригодными для использования при отделении сока из плодовоовощного и ягодного сырья есть дисковая дробильная машина скомбинированная с центрифугой.

Процесс разделения растительного сырья на сок с мякотью и отходы выполняют протирачные машины и финишеры. Эти машины должны обеспечивать высокие качества разделения (сепарации) массы, минимальное количество отходов, однородность протертого полуфабриката (сока с мякотью). На качество работы протирачной машины имеет большое влияние стабильность подачи массы сырья внутрь протирачного барабана.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРЕШЕННЫХ ПРОБЛЕМ

Известный комплекс технологического оборудования линий по переработке плодовоовощной и ягодной продукции имеет большую металлоемкость, энергоемкость и внедрение таких производств в условиях сельскохозяйственных предприятий является достаточно сложным.

Создание машин и оборудования, которые могут быть применены для переработки собственного сырья фермерскими хозяйствами и хозяйств с небольшими объемами сырьевой базы является актуальным. Тематикой научно-исследовательской работы, в специализированной лаборатории Механизации переработки и хранения с.х. продукции НГАУ, является разработка энергоэффективной техники для переработки плодоовощного и ягодного сырья. В рамках научно-исследовательской работы, результаты которой представлены в данной статье, выполнена конструктивная разработка машины для первичной переработки сырья в сок [5,6]. Позитивным в конструкции является то что возможно сочетания двух операций технологического процесса – измельчения и протирания.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исследование влияния рабочих органов на сырье во время выполнения технологического процесса проводилось на лабораторной установке для измельчения с последующим изучением компонентов измельченной массы (рис.2).

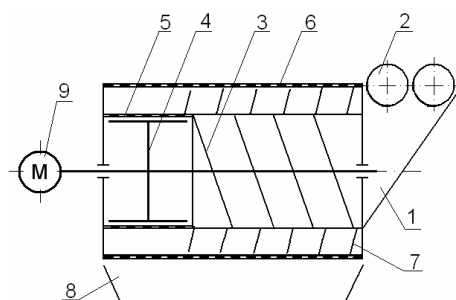


Рис. 2. Схема установки для измельчения и изучения компонентов измельченной массы.

Fig. 2. Chart of fluidizer growing and study of components of the ground up mass shallow.

Установка измельчителя-протирщика состоит из приемной горловины 1 с вальцами 2; витков шнека 3; размещенного в середине внутреннего барабана, которые служат для перемещения сырья к протирочным лопаткам, 4 которые осуществляют протирку измельченного сырья сквозь отверстия перфорированного барабана; система отжима сока и удаления отходов выполнена в виде внешнего шнека 7; внешнего перфорированного барабана 6; поддон 8 служит для сбора сока; работу установки обеспечивает электродвигатель 9.

Процесс происходит следующим образом. Сырье сквозь загрузочный бункер направляется на первичное измельчение давящими вальцами 2. Во время транспортировки к протирочной камере витками шнека 3 выполняется дополнительное измельчение, а подготовленная масса поступает в протирочную камеру где осуществляется протирка пульпы лопастями 4. Частицы шкурки (кожицы), семена из измельченной массы

удаляются лопастями 7. Сок проходит сквозь отверстия внешнего перфорированного барабана 6.

Витки шнека 7 могут быть выполнены коническими с уменьшением их диаметра в направлении движения жмыха, что обеспечивает увеличение зазора между перфорированной обечайкой и витками. Это предотвращает забивание и заклинивание шнека. Лопасти протирачной камеры могут быть закреплены под углом к его продольной оси, что облегчает процесс протирки и проход обрабатываемого материала, во внутреннюю полость.

Определение качественных показателей технологического процесса проведено за тремя критериями оптимизации:

- выход чистого сока (ЧС),
- энергоемкость (ЭЕ),
- производительность машины (ПМ).

Целью проведения экспериментальных исследований было:

1. Выявление факторов, которые в наибольшей степени влияют на качество выполнения технологического процесса и поддаются регулировке.
2. Исследование зависимости выхода сока (G), энергоемкости (P) и производительности установки (Q). Эксперименты проводились с использованием трехуровневых планов Бокса второго порядка [7].
3. По результатам оптимизации и выявления оптимального сочетания факторов осуществили разработку рекомендаций относительно совершенствования конструкции измельчителя-протирика.
4. Определение закономерностей протекания технологического процесса измельчения и протирки сырья.

В ходе проведения экспериментальных исследований анализировались следующие технологические параметры:

- распределение измельченной массы (пульпы) по длине решета протирачного барабана 5 в зависимости от линейной скорости движения витков шнека 7 (бичей), зазора бич — решето, числа бичей барабана, диаметра отверстий решета протирачного барабана 6,
- величина потерь пульпы в выходе шкурка (кожица) в зависимости от линейной скорости протирачных бичей и их числа, величина зазора бич — решето, диаметры отверстий решета,
- энергоемкость установки в зависимости от режимных параметров.

Проведение экспериментальных исследований делает необходимым определения всех факторов, которые влияют на процесс, а также границ их варьирования. На начальной стадии изучения любого объекта с использованием теории планирования эксперимента

проведено априорное ранжирование факторов методом экспертной оценки [8]. Ведущим специалистам и ученым предложено расположить факторы, которые влияют на объект, в порядке убывания величины значимости или влияния на определенные критерии оптимизации, то есть необходимо проранжировать потенциально возможные факторы, приписав им порядковые номера (ранги) 1, 2, 3...k. Это осуществлено для сокращения объема экспериментальной работы, поскольку несущественные факторы можно быстро исключить из последующего рассмотрения. Это облегчает последующие этапы решения экспериментальной задачи. Каждому специалисту предложено заполнить анкету, в которой указаны факторы, их размерность и предполагаемые интервалы их варьирования. Специалист назначал место каждого фактора, а также дополнял анкету другими, не включенными в рассмотрение факторами.

На первом этапе статистической обработки результатов опроса вычислялся коэффициент конкордации W . Значение коэффициента конкордации изменяется в интервале от 0 до 1 и, чем больше его значение, тем большая согласованность мнений, у специалистов. Перечисление независимых факторов и диапазоны их варьирования приведены в табл.1.

Таблица 1. Основные факторы, которые влияют на качество выполнения технологического процесса измельчителя-протирщика (ЧС), (ЭЕ) и (ПМ), их условные обозначения и уровни варьирования

Table. 1. Basic factors which influence on quality of implementation of technological process of grinding-протирщика (CHS) down, (EE) and (PM), their conditional denotations and levels of varying

Обозначение	Название фактора	Уровень варьирования		
		(-1)	0	(+1)
X1	Уровень поступления измельченной массы	3,0	5,0	7,0
X2	Количество бичей, шт	2	4	5
X3	Материал решета барабана (коэффициент трения измельченной массы на решете)	2,0	6,0	1,0
X4	Диаметр отверстий решета, мм	3	4	5
X5	Влажность измельченной массы, %	75,0	85,0	95,0
X6	Размеры частиц, которые сепарируются, мм	3,0	5,0	7,0
X7	Площадь живого перереза барабана, м ²	0,2	0,4	0,6
X8	Длина барабана, мм	330	495	990
X9	Зазор бич-решето, мм	1,5	2	2,5
X10	Форма отверстий решетного барабана (круглая)			
X11	Линейная скорость вращения барабана, м/мин	3,56	10,7	21,4
X12	Скорость вращения барабана, м/мин	200	600	1200

После вычисления коэффициента конкордации определенно его значимость по критерию Пирсона (критерий - распределения) с числом степени свободы $f=k-1$. Расчетное значение распределения определяется по формуле:

$$\chi^2 = m \cdot W \cdot (k-1). \quad (1)$$

Поскольку расчетное значение критерия 2 - распределение для уровня значимости 0,99 и при числе степени свободы $f=11$ в нашем случае больше табличного ($2\text{расч}=65,25 > 2\text{табл}=24,725$), то коэффициент конкордации значимо отличается от нуля и можно утверждать, что согласованность исследователей не является случайной. По результатам построена диаграмма рангов факторов (рис. 3).

В исследуемом случае оценки факторов, которые влияют на технологический процесс, диаграмма имеет скачки. Для определения факторов, которые не влияют на технологический процесс использовались критерий Стьюдента (t-критерий) [8], который определялся по формуле:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{m} \cdot \sum_{i=1}^k (a_{i,\text{ср}} - \bar{a})}{\sqrt{S_y^2}}, \quad (2)$$

где: $a_{i,\text{ср}}$ - среднее значение ранга по каждому из факторов,

$\bar{a}$ - среднее значение фактора по всей области ранжирования,

S_y^2 - дисперсия ошибки оценки по всей области ранжирования.

Принимая в внимание расчетные значения критерии Стьюдента, можно сделать вывод об отсутствии влияния факторов X6; X3 и X5 на качества технологического процесса. При анализе проведенной экспертной оценки, когда гипотеза о значимости факторов не принимается, они исключаются из последующего рассмотрения [7;8].

Действительно, размеры частиц массы, которая поступает на протируку (X6) не зависят от конструкции устройства и регламентированы начальными требованиями к разработке. Материал решета (X3) и влажность протираемой массы, что протирается невозможно изменить в процессе экспериментальных исследований и эксплуатации технологического оборудования невозможно. Первый показатель заложен в конструкцию измельчителя-протиришки, а второй зависит от состояния плодов перед измельчением.

После анализа значимости и отбрасывания незначущих факторов построена классическая диаграмма рангов с убыванием их величины по степени влияния того или другого фактора на качество выполнения технологического процесса (рис.3 б).

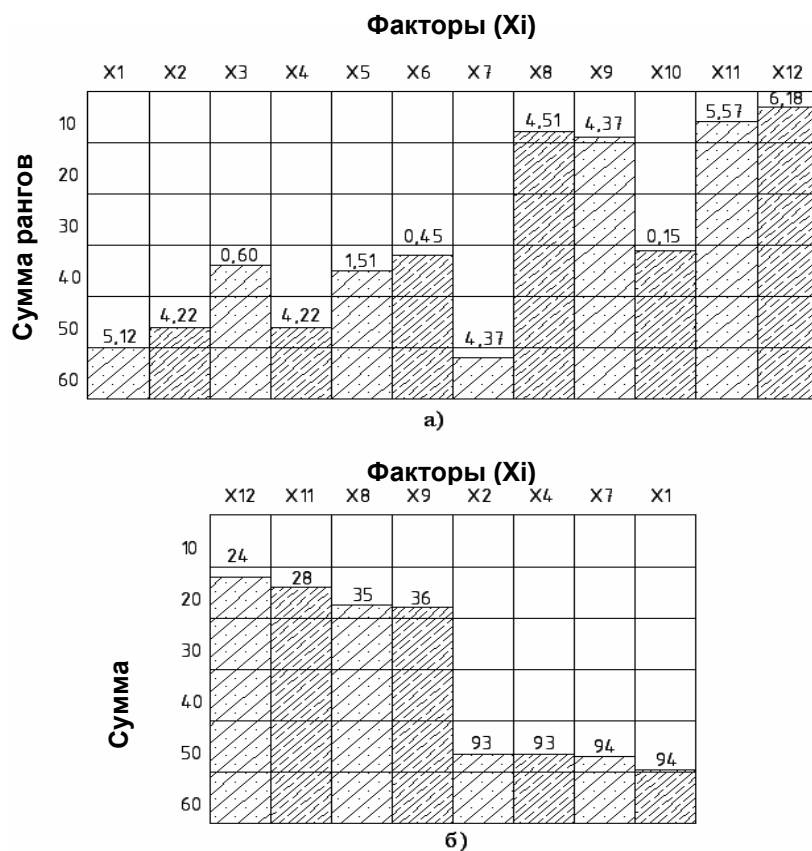


Рис. 3. Диаграмма ранжирования факторов, которые влияют на качества работы:

а) к статистической оценке значимости факторов;

б) после ранжирования и определения не значимых факторов.

X1 – уровень поступления измельченной массы, X2 – количество бичей, шт, X3 – материал решета барабана, X4 – диаметр отверстий решета, мм, X5 – влажность измельченной массы, X6 – размеры частиц, которые протираются, мм, X7 – площадь живого сечения барабана, X8 – длина протирачного барабана, мм, X9 – зазор бич-решето, мм, X10 – форма отверстий решетного барабана (круглая), X11 – линейная скорость вращения барабану, м/мин, X12 – скорость вращения барабана, м/мин.

Fig. 3. Diagram of ranging of factors which influence on qualities of work:

а) to the statistical estimation of meaningfulness of factors;

б) after ranging and determination of not meaningful factors.

X1 is a level of receipt of the ground up mass, X2 is an amount of whips, шт, X3 is material of sieve of drum, X4 is a diameter of openings of sieve, мм, X5 is humidity of the ground up mass, X6 are sizes of particles which are worn through, мм, X7 is an area of living section of drum, X8 is length of cleaning drum, мм, X9 is a gap whip-sieve, мм, X10 is a form of openings of sieve

drum (round), X11 is linear speed of rotation a drum, mcodes/mines, X12 is speed of rotation of drum, mcodes/mines.

Анализ результатов экспертной оценки и их статистической обработки позволяет сделать вывод о наибольшем влиянии на ход и качество выполнения технологического процесса таких факторов как: X2 и X8-X12. Факторы X1 и X3-X7 можно отбросить и исключить при проведении последующих исследований с использованием теории планирования эксперимента [9,10,11].

ВЫВОДЫ

Рост объемов производства плодовоовощного и ягодного сырья в хозяйствах разных форм собственности диктует необходимость внедрения в условиях таких хозяйств современных технологических линий переработки. Это, в свою очередь, требует разработку и изготовления современного комплекта машин и оборудования, которые будут иметь низкую энергоемкость, металлоемкость при высоких качественных показателях выполнения технологического процесса.

Использование теории планирования эксперимента позволило определить основные факторы, которые влияют на оптимизацию технологического процесса работы машины для первичной переработки.

ЛИТЕРАТУРА

Стабников В.Н., Баранцев В.И.: Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 328с.

Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. : Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503с.

Кавецкий Г.Д., Королев А.В.: Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432с.

Горбатюк В.И.: Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Колос, 1999. – 335с.

Самсонова А.Н., Ушева В.Б.: Фруктовые и овощные соки. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988.-576с.

Флауменбаум Б.Л., Танчев С.С., Гришин М.А.: Основы консервирования пищевых продуктов. – М.: ВО «Агропромиздат», 1986.-494с.

Львовский Е.Н.: Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая школа, 1988.- 238с.

Переверзев Е.С., Пошивалов В.П., Даниев Ю.Ф.: Математическая модель обработки результатов экспериментального опроса на основе интервального анализа и нечетких чисел. - Днепропетровск: Приднестровский научный вестник, экономика №58 (125), 1998.

Корн, Т. Корн Д. : Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1978. - 803с.

Касандикова О.Н., Лебедев В.В. : Обработка результатов наблюдений. М.: Наука, 1976. - С. 18-22.

Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М.: Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980.- С. 106-130.

OPTIMIZATIONS OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF PROCESSING OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIAL ON JUICE

Summary. In the article the classification chart of machines is resulted for growing shallow and wiping out of fruit and vegetable and berry raw material developed as a result of conducting of analysis of literary sources and patent materials. The structural decision of the laboratory setting is described for research of technological process of receipt of juice with pulp. Certainly criteria of optimization of technological process and factors which influence on his implementation.

Keywords: technological equipment; technological line; processing; kinematics parameters; experimental researches; down; whips.

Reviewer: Yury Seleznyov, Prof. Sc. D. Eng.