

Разработка вертикальной протирачной установки и определение ее основных параметров

Андрей Владимирович Богданов¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: avbogdanov@susu.ru;
Александр Владимирович Гриценко^{1,2},
доктор технических наук, профессор,
e-mail: alexgrits13@mail.ru;

Максим Владимирович Ческидов²,
кандидат технических наук,
старший преподаватель,
e-mail: mister.aspirant@yandex.ru;
Любовь Андреевна Штриккер²,
ассистент, e-mail: shtrikker93@mail.ru

¹Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Российская Федерация;

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Российская Федерация

Реферат. Обосновали необходимость создания новых модернизированных видов перерабатывающих машин для плодов и овощей. Отметим важность универсальности такого оборудования, так как каждый отдельный вид плодов и овощей имеет свои физические особенности, характеризующиеся плотностью, вязкостью, влажностью, наличием волокон, косточек, зерен. (*Цель исследования*) Изучить протирачный процесс кабачков на разработанной установке вертикального типа. (*Материалы и методы*) Предложили улучшенную конструкцию протирачной машины: вертикальную установку с конусным шнеком внутри и ситовым барабаном. (*Результаты и обсуждение*) На основе проведенных расчетов определили толщину стенки корпуса, диаметр ячейки, параметры конуса и шнека, а также режимы работы машины. Установили высоту ситового барабана – 0,8 метра, диаметр – 0,4 метра, расстояние между вершиной конуса и барабаном – 0,15 метра. Изготовили конусный шнек с четырьмя рабочими витками. (*Выводы*) Обосновали минимальное число семян кабачка (100 штук) для последующего выбора диаметра ячеек барабана. Выявили критерии и ограничения для качественной протирки массы кабачков. Определили диаметр ячеек вертикальной протирачной установки, который составил от 0,0071 до 0,0093 метра.

Ключевые слова: переработка плодов и овощей, кабачки, протирачная машина, конусный шнек, ситовый барабан, вертикальная протирачная установка.

■ **Для цитирования:** Богданов А.В., Гриценко А.В., Ческидов М.В., Штриккер Л.А. Разработка вертикальной протирачной установки и определение ее основных параметров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №1. С. 62-69. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-62-69. EDN DDDUAG.

Development of a Vertical Mashing Machine and Specifying its Main Parameters

Andrey V. Bogdanov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: avbogdanov@susu.ru;
Alexander V. Gritsenko^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: alexgrits13@mail.ru;

Maksim V. Cheskidov²,
Ph.D.(Eng.), senior lecturer,
e-mail: mister.aspirant@yandex.ru;
Lyubov A. Shtrikker²,
assistant, e-mail: shtrikker93@mail.ru

¹South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation;

²South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

Abstract. The paper proves the necessity to create new modernized types of fruit and vegetable processing machines. The paper highlights the importance of such machinery versatility, since each individual type of fruit and vegetable has its own physical characteristics, such as solidity, viscosity, moisture content, fibers, seeds, and grains. (*Research purpose*) To study the zucchini mashing process performed by the developed vertical mashing unit. (*Materials and methods*) An improved mashing machine design is proposed: a vertical plant with a conical auger inside and a sieve drum. (*Results and discussion*) Based on the calculations, the following parameters are specified: the body wall thickness, the cell diameter, the cone and conical auger parameters, as well as the machine operating modes. The sieve drum height is set at 0.8 meters, the diameter is 0.4 meters, the distance between the cone top and the drum is 0.15 meters. A conical auger is made for four working turns. (*Conclusions*) The minimum number of

zucchini seeds (100 pieces) is specified for the subsequent selection of the drum cell diameter. The criteria and delimitations for high-quality zucchini mashing were identified. The diameter of the vertical masher cells was set within the range from 0.0071 to 0.0093 meters.

Keywords: fruit and vegetable processing, zucchini, mashing machine, conical auger, sieve drum, vertical mashing unit.

For citation: Bogdanov A.V., Gritsenko A.V., Cheskidov M.V., Shtrikker L.A. Razrabotka vertikal'noy protirochnoy ustanovki i opredelenie ee osnovnykh parametrov [Development of a vertical mashing machine and specifying its main parameters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N1. 62-69 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-62-69. EDN DDDUAG.

Согласно данным Росстата, объемы выращивания плодовоовощной продукции возрастают с каждым годом. Валовые сборы кабачков увеличиваются, появляется задача их качественной переработки (рис. 1).

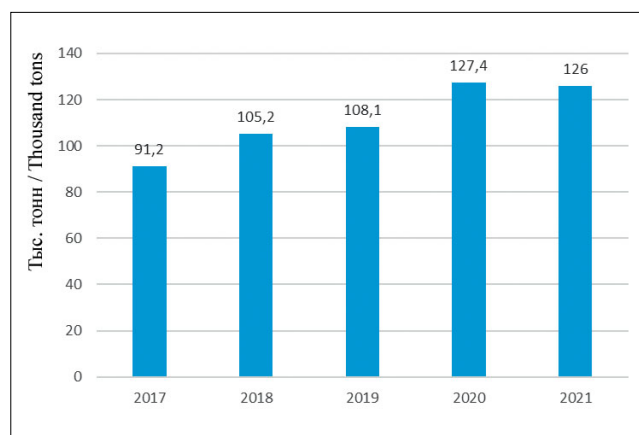


Рис. 1. Валовые сборы кабачков в 2017-2021 гг.

Fig. 1. Gross yield of zucchini in 2017-2021

В большинстве технологических линий по переработке плодов и овощей используют протирочные машины, обеспечивающие разделение на отходы (косточки, кожура, семечки, плодоножка и т.д.) и полуфабрикат, подлежащий дальнейшей обработке для создания конечного продукта [1]. Некоторые машины способны измельчить протираемый продукт до мелкодисперсной однородной консистенции. Их используют для производства детского питания и томатных паст. Протирочные машины применяют и для производства кабачковой и баклажанной икры [2, 3].

Выработаны рекомендации по технологическим и конструктивным настройкам и регулировкам протирочных машин [4]. Остается актуальной необходимость модернизации режимов протирки и усовершенствования конструктивных и технологических параметров, в том числе в целях экономии электроэнергии [5].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – разработка вертикальной протирочной установки и определение параметров шнека и ячеек барабана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Сотрудники Южно-Уральского ГАУ разработали протирочную машину (рис. 2).

Собрали модель протирочной машины и обосновали конструктивные параметры (патент № 179697

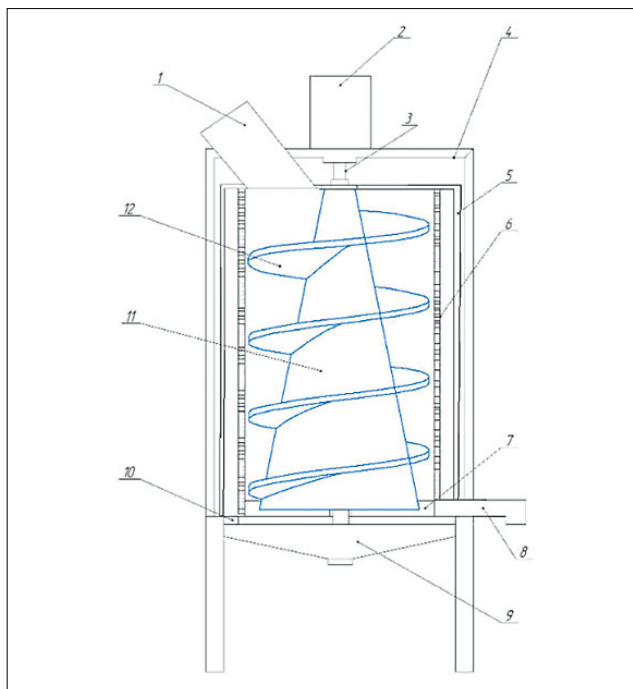


Рис. 2. Схема протирочной машины: 1 – загрузочный патрубок; 2 – электродвигатель; 3 – вал; 4 – корпус; 5 – корзина; 6 – ситовой барабан; 7 – ворошитель; 8 – разгрузочный лоток; 9 – сборочный бункер; 10 – отверстия для прохождения протертого сырья; 11 – конус (шнековый вытеснитель); 12 – лопасти

Fig. 2. Diagram of the mashing machine: 1 – loading pipe; 2 – electric motor; 3 – shaft; 4 – body; 5 – basket; 6 – sieve drum; 7 – agitator; 8 – unloading tray; 9 – collecting hopper; 10 – holes for the mashed raw materials; 11 – cone (screw displacer); 12 – blades

РФ) [6]. Высота конусного шнека основного рабочего органа должна соответствовать высоте ситового барабана – 0,8 м. Поскольку конусный шнек располагается во внутренней части ситового барабана, нижний диаметр шнека должен быть незначительно меньше диаметра ситового барабана. Учитывая, что диаметр ситового барабана равен 0,40 м, примем нижний диаметр $D = 0,39$ м (рис. 3).

Размер верхнего диаметра конусного шнека должен обеспечивать соединение с электродвигателем и свободное поступление плодовоовощного сырья в загрузочный патрубок. Поэтому $d = 0,1$ м. Тогда расстояние между верхней частью конуса и ситовым бара-

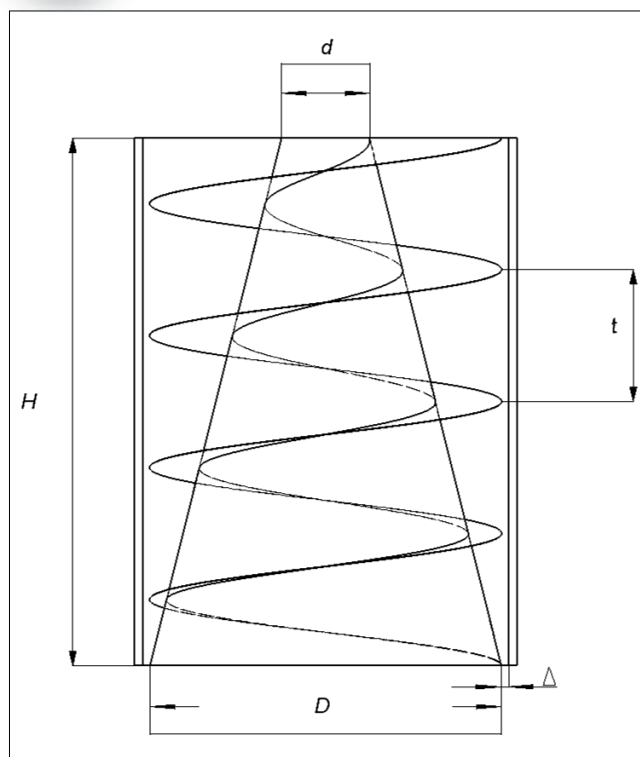


Рис. 3. Схематичное изображение конусного шнека и ситового барабана: H – высота конусного шнека; D – нижний диаметр конуса; d – верхний диаметр конуса; t – шаг винтовой части шнека

Fig. 3. Schematic diagram of the conical auger and sieve drum: H – the conical auger height; D – the cone lower diameter; d – the cone upper diameter; t – pitch of the screw part of the auger

баном будет равно 0,15 м, что обеспечивает загрузку сырья без затруднений.

Надежная работа протирочной машины напрямую зависит от толщины корпуса, шнека и его витков. Рассмотрим корпус протирочной машины как обечайку, диаметр которой должен быть на 0,12 м больше диаметра ситового барабана. Расстояние между ситовым барабаном и корпусом протирочной машины, равное 0,06 м, обеспечит свободный сход протертого сырья. Толщина стенки корпуса протирочной машины рассчитывается по формуле, взятой из ГОСТ 34233.2-2017 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность»:

$$S_p = \frac{p_k \cdot D_k}{2[\sigma_T] \cdot \varphi_p - p_k}, \quad (1)$$

где S_p – толщина стенки корпуса протирочной машины, м;

p_k – давление, создаваемое шнеком, МПа;

D_k – диаметр корпуса протирочной машины, м ($D_k = 0,52$ м);

σ_T – допускаемое напряжение, МПа;

φ_p – коэффициент прочности продольного сварного шва ($\varphi_p = 1$).

Как правило, для расчета протирочных агрегатов внутреннее максимальное давление рекомендуется

принимать 1 МПа [7]. Тогда, согласно формуле (1), толщина стенки корпуса будет равна:

$$S_p = \frac{1 \cdot 0,52}{2 \cdot 184 \cdot 1 - 0,52} = 0,0014 \text{ м.}$$

Если учесть прибавки в размере 0,0005 м на коррозию, эрозию и отклонение толщины, которое образуется при процессе изготовления обечайки, то толщина стенки машины будет составлять 0,00192 м [8, 9]. Среди всего многообразия металлопроката наиболее близким значением толщины листа для изготовления ситового барабана станет лист толщиной 0,002 м. Учитывая, что в процессе протирания в рабочей зоне создается внутреннее давление, которое воздействует на основные детали конструкции, толщину стенки можно принять равной 0,002 м.

Один из важных элементов конструкции протирочной машины – конусный шнек. Для его создания необходимо рассчитать основные конструктивные параметры. Для этого построили графическое изображение продольного сечения конуса (рис. 4).

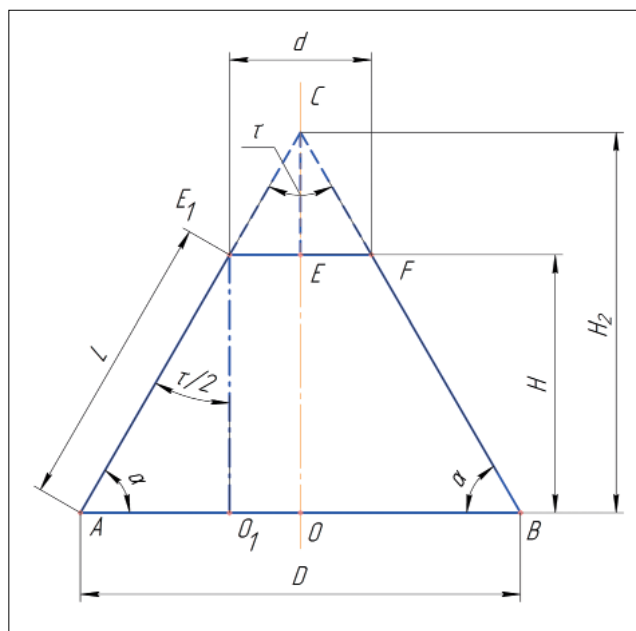


Рис. 4. Продольное сечение конуса (описание в тексте)

Fig. 4. The cone longitudinal section

Заданные параметры усеченного конуса:

- высота конуса (конусного шнека) $H = 0,8$ м;

- нижний диаметр $D = 0,39$ м;

- верхний диаметр $d = 0,1$ м.

В поперечном сечении конуса образуется равнобедренный треугольник ABC с высотой $OC = H_2$, углами α при основании AB и углом τ при вершине C . В поперечном сечении усеченного конуса имеется равнобедренная трапеция $ABFE_1$ с высотой $OE = O_1E_1$ и верхним основанием $FE_1 = d$.

Для расчета угла α рассмотрим прямоугольный треугольник AO_1E_1 с высотой O_1E_1 :

$$\tan(\alpha) = \frac{O_1 E_1}{AO_1} = \frac{2 \cdot O_1 E_1}{AB - E_1 F} = \frac{2 \cdot H}{d - D}. \quad (2)$$

Отсюда следует:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2 \cdot H}{D - d}\right). \quad (3)$$

Подставляя известные значения в формулу (3), получим:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2 \cdot 0,8}{0,39 - 0,1}\right), \alpha = 79,69^\circ.$$

Для нахождения угла τ воспользуемся соотношением (рис. 4):

$$\tan\left(\frac{\tau}{2}\right) = \frac{O_1 E_1}{AO_1} = \frac{AO_1}{O_1 E_1} = \frac{D - d}{2 \cdot H}. \quad (4)$$

Тогда:

$$\tau = 2 \cdot \arctan\left(\frac{D - d}{2 \cdot H}\right). \quad (5)$$

После подстановки в уравнение (5) численных значений получим величину угла τ при вершине С:

$$\tau = 2 \cdot \arctan\left(\frac{0,39 - 0,1}{2 \cdot 0,8}\right) = 20,4^\circ.$$

Для определения длины стороны конусного шнека L рассмотрим прямоугольные треугольники AOC и $AO_1 E_1$ с высотами OC и $O_1 E$. Так как $\angle CAO = \angle E_1 AO_1$, то:

$$\tan(\alpha) = \frac{OC}{AO} = \frac{E_1 O_1}{AO_1}. \quad (6)$$

Отсюда:

$$H_2 = OC = \frac{E_1 O_1 \cdot AO}{AO_1} = \frac{H \cdot D}{D - d}. \quad (7)$$

Из полученного равенства (7) найдем высоту конуса H_2 :

$$H_2 = \frac{0,8 \cdot 0,39}{0,39 - 0,1} = 1,076 \text{ м.}$$

Боковую сторону AE_1 , равную L , вычислим из треугольника $AO_1 E_1$:

$$\sin(\alpha) = \frac{E_1 O_1}{AE_1}. \quad (8)$$

Отсюда:

$$L = AE_1 = \frac{E_1 O_1}{\sin(\alpha)} = \frac{H}{\sin(\alpha)}. \quad (9)$$



Рис. 5. Конус

Fig. 5. Cone

Тогда, численное значение длины стороны конусного шнека L будет равно:

$$L = \frac{0,8}{\sin(79,69)} = 816 \text{ мм.}$$

На основе полученных численных значений собрали конус (рис. 5).

Для дальнейшего конструирования конусного шнека необходимо знать шаг витков. Шаг винтовой части шнека рекомендуется выбирать в зависимости от диаметра шнека [9-11]. Несмотря на то, что в протирочной машине используется конусный шнек, его витки имеют диаметр, равный нижнему диаметру шнека. Поэтому для определения шага винтовой части шнека можно воспользоваться известной зависимостью:

$$t = (0,7 \dots 0,8) \cdot D, \quad (10)$$

где t – шаг винтовой части шнека, м;

D – нижний диаметр конусного шнека протирочной машины, м.

Так как $D = 0,39$ м, то численное значение шага, рассчитанное по формуле (10), составит 0,27-0,31 м. Для опытного образца принят шаг винтовой части шнека 0,27 м.

На всех стадиях проектирования протирочной машины осуществляли прочностные расчеты отдельных элементов, сочетаний их групп и машины в целом. Особое внимание уделяли проектированию ситового барабана, для которого, с целью исключения демпфирования и деформаций, принята степень перфорации не более 20% [12, 13]. Установлено, что при такой перфорации обеспечивается наибольшая площадь отверстий барабана, а следовательно, и наибольшая производительность протирочного процесса. Кроме того, определена минимальная толщина стенки ситового барабана с учетом запаса прочности – 0,002 м. В конструкции шнека толщина его витков и стенки также равны 0,002 м.

Расстояние между ситовым барабаном и корпусом протирочной машины составляет 0,06 м, что достаточно для беспрепятственного прохождения протертой массы в отгрузной латок.

В экспериментальной части исследования использовали кабачки сортов Грибовский и Цукеша. Семечки кабачков измеряли штангенциркулем ЧИЗ ШЦ-1 26322. Для контроля плотности мякоти из общей массы кабачка вырезали дольки кубической формы с вариацией 0,4-3,0 г. Измерения проводили в 3-5-кратной повторности. При реализации одного эксперимента одновременно загружали 10 кг подготовленных долек кабачка.

Частота вращения ротора протирочной машины варьировала в пределах 250-300 мин⁻¹ с шагом 50 мин⁻¹. В расчетах и пробном эксперименте с целью проверки прочности ситового барабана и оценки производительности машины частоту вращения ротора по-

вышли до 800 мин^{-1} , используя при ее измерении лазерный тахометр DT- 2234C+.

Кроме того, в расчетах и экспериментальной работе учитывали плотность, среднюю плотность мякоти, объем куба мякоти.

Обоснование и выбор параметров отдельных долек кабачка позволил установить коэффициент заполнения барабана сырьем, коэффициент проскальзывания продукта, удельное сопротивление продукта при продавливании через отверстия сита (32 кПа), скорость продавливания массы кабачка через отверстия ситового барабана.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. С учетом полученных значений шага винтовой линии на конус были наварены витки (рис. 6).



Рис. 6. Конусный шнек

Fig. 6. Conical auger



Рис. 7. Опытный образец протирочной машины

Fig. 7. A mashing machine prototype

На основании заданных параметров, расчетов и полученных численных значений спроектировали и собрали опытный образец протирочной машины для проведения экспериментальных исследований (рис. 7).

Перед тем как проводить серию экспериментов, нужно было определиться с основными параметрами перетираемого продукта с целью получения качественного результата. Так как протертая масса не должна содержать семечек кабачка, то был выбран размер их ширины. Этот параметр обеспечивает минимальное прохождение семечек через отверстия ситового барабана протирочной машины, что отражается на качестве выходного продукта [14]. При замере семечек результаты ранжировали по группам (интервалам). Число рабочих интервалов равно:

$$m = 1 + 3.322 \cdot \lg(n), \quad (11)$$

где n – число замеров семян.

Поскольку предварительно было отобрано около 100 семян, то с учетом (11) получим:

$$m = 1 + 3.322 \cdot \lg(100) = 7,64.$$

Округлим значение до целого в сторону минимума и примем семь интервалов (рис. 8).

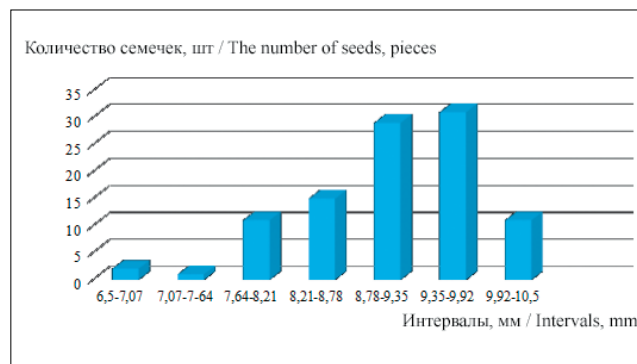


Рис. 8. Распределение семечек по ширине

Fig. 8. Bar chart of intervals for zucchini seeds

При выборе размера ячеек установки ориентировались на пятый и шестой интервалы.

Зависимость может быть аппроксимирована уравнением:

$$K_{\text{ш}} = -5,8498 \cdot b_c^3 + 144,95 \cdot b_c^2 - 1176,4 \cdot b_c + 3138,8, \quad (12)$$

где $K_{\text{ш}}$ – количество семян, шт.;

b_c – ширина семян, м.

Чтобы определить значения минимума и максимума, вычислим производную из уравнения (12) и приравняем ее к нулю:

$$(-5,8498 \cdot b_c^3 + 144,95 \cdot b_c^2 - 1176,4 \cdot b_c + 3138,8)' = 0. \quad (13)$$

С учетом решения уравнения (13) имеем:

$$-17,6 \cdot b_c^2 + 289,9 \cdot b_c - 1176,4 = 0. \quad (14)$$

Корень явного минимума $b_{c1} = 0,0071$ м, корень яв-

ного максимума $b_{c2} = 0,0093$ м. Так как большая часть зерен укладывается в значение максимума, то выбираем соответствующий ему диаметр отверстия ситового барабана.

При прохождении семян через отверстия возможно их застревание в ячейках, что будет снижать производительность протирочного процесса [15-17].

Важно обеспечить такой диаметр ячейки, чтобы производительность была максимальной [18-19].

С учетом этого представим систему ограничений при выборе диаметра ячеек протирочного барабана установки:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,0065 \leq d \leq 0,0093 \\ \text{если } d \rightarrow 0,0065, \text{ то } \left\{ \begin{array}{l} \Pi \rightarrow \min \\ K \rightarrow \min \end{array} \right. \\ \text{если } d \rightarrow 0,0093, \text{ то } \left\{ \begin{array}{l} \Pi \rightarrow \max \\ K \rightarrow \max \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (15)$$

Из представленной системы видно, что диаметр ячейки может колебаться в пределах от 0,0065 до 0,0093 м. Но важно обеспечить качество процесса протирки, которое косвенно связано с производительностью.

С одной стороны, если ячейка равна 0,0065 м, то будет обеспечена минимальная производительность при минимальном проходе семян через ячейки. С другой стороны, при диаметре ячейки 0,0093 м производительность будет максимальной, но на выходе пройдет максимальное количество семян. В последующей экспериментальной работе необходимо подобрать диаметр ячейки для обеспечения лучшего качества протирки кабачков.

Выводы. Обосновали и рассчитали основные рабочие элементы протирочной установки: конусный шнек, ситовый барабан, рабочие расстояния. Высота конусного шнека составила 0,8 м, число витков – 4, шаг винтовой части шнека – 0,27 м. Толщина витков и стенки шнека – 0,002 м. Установлен диаметр ситового барабана, равный 0,4 м. Для обеспечения свободной загрузки кабачков расстояние между верхней частью конуса и ситовым барабаном принято 0,15 м. Толщина стенки машины – 0,002 м. Изготовили экспериментальную версию повышенной производительности вследствие использования большей поверхности ситового барабана и вертикального расположения рабочих элементов конструкции. Степень перфорации ситового барабана не превышает 20%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Houska M., da Silva F.V.M. High pressure processing of fruit and vegetable products. 2017. 194.
2. Мильчакова А.В. Мазунина Н.И., Коконов С. И. Консервирование продукции растениеводства: учебное пособие // Ижевск: Ижевская ГСХА, 2021. 88 с.
3. Tokar A., Matenchuk L., Kharchenko Z., et al. Development of recipes of canned smoothies made from zucchini and fruits. *Eureka: Life Sciences*. 2018. N4. 56-62.
4. Гуртовой Н.В. Моделирование разделения плодовоовощного сырья в протирочной машине // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1999. N1. С. 52-55.
5. Парамонова В.А., Кудрявцев В.Н. Исследование протирочного оборудования, его анализ и оценка эффективности // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2015. N4. С.43-53.
6. Нагоев М.М., Шогенов Б.В. Разработка, изготовление и исследование протирочной машины // *Наука и бизнес: пути развития*. 2022. N2(128). С. 51-54.
7. Zakirnichnaya M.M., Rubtsov A.V., Dementev V.A., et al. Stress-strain state assessment capacitive apparatus taking into account impact piping for connectors. *Journal of Physics*. 2021. N2094. 42033.
8. Ряднов А.И., Федорова О.А., Шарипов Р.В., Мамахай А.К., Семченко А.В. Конструктивные особенности устройств для оценки усилия резания корневых клубнеплодов при их измельчении // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N1(46). С. 38-43.
9. Ряднов А.И., Федорова О.А., Мамахай А.К. Выбор частных показателей комплексной оценки эффективности использования измельчителя корневых клубнеплодов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4(45). С.45-50.
10. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55.
11. Загоруйко М.В., Васильчиков В.В., Мамахай А.К. Имитационное моделирование параметров шнека экструдера // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N4. С.71-77.
12. Абидуев Ал.А., Абидуев А.А., Раднаев Д.Н., Дугаров Ц.Б. Обоснование параметров цилиндрического ячеистого сепаратора // *Вестник ВСГУТУ*. 2022. N1(84). С. 37-41.
13. Запелов М.В., Сергеев Н.С., Редеев Г.В., Коваленко Н.В. Выделение длинных примесей из зернового материала на плоских решетках // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2022. N1(45). С. 121-128.
14. Курочкин А.А., Воронина П.К., Шабурова Г.В., Фролов Д.И. Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. N3 (42). С. 104-111.
15. Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 71-76.

16. Ahmed J. Minimal processing and novel technologies applied to vegetables. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing: Second Edition. Vol. 1-2. 2018. 317-339.
17. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Низовцев С.Л. и др. Оценка рабочих параметров стержневого измельчителя при измельчении влажного зерна // *Вестник НГИЭИ*. 2022. N10(137). С. 48-58.
18. Zhang J., Liu L., Liu H., Shi A., Hu H., Wang Q. Research advances on food extrusion equipment, technology and its mechanism. Nongye Gongcheng Xuebao. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 33. 275-283.
19. Ганенко С.В., Штриккер Л.А. Исследование и обоснование геометрических размеров ситового барабана протирочной машины при производстве сока из кабачков // *АПК России*. 2017. Т. 24. N1. С. 57-62.

REFERENCES

1. Houska M., da Silva F.V.M. High pressure processing of fruit and vegetable products. 2017. 194 (In English).
2. Mil'chakova A.V. Mazunina N.I., Kokonov S.I. Konservirovanie produktov rastenievodstva: uchebnoe posobie [Canning crop products: a training manual]. Izhevsk: Izhevskaya GSKHA, 2021. 88 (In Russian).
3. Tokar A., Matenchuk L., Kharchenko Z., et al. Development of recipes of canned smoothies made from zucchini and fruits. Eureka: *Life Sciences*. 2018. N4. 56-62 (In English).
4. Gurtovoy N.V. Modelirovanie razdeleniya plodoovoshchnogo syr'ya v protirochnoy mashine [Simulation of separating fruit and vegetable raw materials in a triturator]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 1999. N1. 52-55 (In Russian).
5. Paramonova V.A., Kudryavtsev V.N. Issledovanie protirochnogo oborudovaniya, ego analiz i otsenka effektivnosti [Research on the triturator, its examination and efficiency assessment]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2015. N4. 43-53 (In Russian).
6. Nagoev M.M., Shogenov B.V. Razrabotka, izgotovlenie i issledovanie protirochnoy mashiny [Development, manufacture and research of a cleaning machine] *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2022. N2(128). 51-54 (In Russian).
7. Zakirnichnaya M.M., Rubtsov A.V., Dementev V.A., et al. Stress-strain state assessment capacitive apparatus taking into account impact piping for connectors. *Journal of Physics*. 2021. N2094. 42033 (In English).
8. Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Sharipov R.V., Mamakhay A.K., Semchenko A.V. Konstruktivnye osobennosti ustroystv dlya otsenki usiliya rezaniya korneklubneplodov pri ikh izmel'chenii [Design features of devices for assessing the cutting force of root crops during crushing]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N1(46). 38-43 (In Russian).
9. Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Mamakhay A.K. Vybor chastnykh pokazateley kompleksnoy otsenki effektivnosti ispol'zovaniya izmel'chatelya korneklubneplodov [Special indicators of integrated efficiency assessment of using the root crops cutter]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2021. Vol. 68. N4(45). 45-50 (In Russian).
10. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of systems for machines and technologies for the complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 46-55 (In Russian).
11. Zagoruyko M.V., Vasil'chikov V.V., Mamakhay A.K. Imitatsionnoe modelirovanie parametrov shneka ekstrudera [Simulation of the extruder screw parameters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N4. 71-77 (In Russian).
12. Abiduev A.I., Abiduev A.A., Radnaev D.N., Dugarov Ts.B. Obosnovanie parametrov tsilindricheskogo yacheistogo separatora [A rationale for cell size choice for trieur cylinder]. *Vestnik VSGUTU*. 2022. N1(84). 37-41 (In Russian).
13. Zapevalov M.V., Sergeev N.S., Redreev G.V., Kovalenko N.V. Vydelenie dlinnykh primesey iz zernovogo materiala na ploskikh reshetakh [Isolation of long impurities from grain material on flat sieves]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. N1(45). 121-128 (In Russian).
14. Kurochkin A.A., Voronina P.K., Shaburova G.V., Frolov D.I. Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym содержанием lipidov i pishchevykh volokon [Extrudates from vegetable raw materials with a high lipid and fiber content]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2016. N3 (42). 104-111 (In Russian).
15. Chaplygin M.E., Zhalnin E.V. Opredelenie kachestva raboty zernouborochnykh kombaynov [Determining the performance quality of combine harvesters operating]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 71-76 (In Russian).
16. Ahmed J. Minimal processing and novel technologies applied to vegetables. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing: Second Edition. Vol. 1-2. 2018. 317-339 (In English).
17. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Nizovtsev S.L., et al. Otsenka rabochikh parametrov sterzhneвого izmel'chatelya pri izmel'chenii vlazhnogo zerna [Evaluation of the operating parameters of the rod shredder during the grinding of wet grain]. *Vestnik NGIEI*. 2022. N10(137). 48-58 (In Russian).
18. Zhang J., Liu L., Liu H., Shi A., Hu H., Wang Q. Research advances on food extrusion equipment, technology and its mechanism. Nongye Gongcheng Xuebao. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 33. 275-283 (In English).
19. Ganenko S.V., Shtrikker L.A. Issledovanie i obosnovanie geometricheskikh razmerov sitovogo barabana protirochnoy mashiny pri proizvodstve soka iz kabachkov [Research on and rationale for the geometric dimensions of the rubbing machine sieve drum in the production of zucchini juice]. *APK Rossii*. 2017. Vol. 24. N1. 57-62 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Богданов А.В. – научное руководство, формулирование основных целей и задач экспериментальных исследований, обоснование актуальности исследования, постановка проблемы, доработка текста;

Гриценко А.В. – доработка текста и литературный анализ, редактирование и оформление материалов, итоговая переработка статьи;

Ческидов М.В. – поиск и анализ статистических данных, построение графиков, участие в проведении эксперимента, формирование общих выводов;

Штриккер Л.А. – подготовка, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований, подготовка начального варианта статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Bogdanov A.V. – scientific guidance, formulation of the experimental research goals and objectives, formulation of the research concept and substantiation of the study relevance, problem statement, the manuscript revision;

Gritsenko A.V. – manuscript finalization and literature review, material processing, proofreading;

Cheskidov M.V. – search and analysis of statistical data, plotting, conducting the experiment, drawing overall conclusions;

Shtrikker L.A. – processing the experimental study results, preparing the manuscript draft.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

12.12.2022

01.03.2023