

Член-корреспондент З. В. Ловкис, А. В. Куликов

НПЦ НАН Беларуси по продовольствию, Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ОТХОДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ КАРТОФЕЛЯ

В сообщении рассмотрены особенности и изложены теоретические основы механического способа очистки картофеля как наиболее часто применяемого при производстве продуктов из картофеля, рассмотрены его достоинства и недостатки, определены рациональные технологические параметры механической очистки. Установлена взаимосвязь между количеством отходов, образующихся в процессе механической очистки картофеля, и размерами клубней. На основании исследования влияния параметров клубней, траектории и скорости их движения в барабанных и валковых очистительных машинах и действующих на клубень сил, установлена зависимость количества образующихся отходов. Проведен анализ количества отходов, образующихся при очистке различного размера клубней картофеля на барабанной очистительной машине МОК-350, разработаны рекомендации по повышению эффективности очистки.

Ключевые слова: картофель, механическая очистка, отходы, кривизна, оборудование.

Corresponding Member Z. V. Lovkis, A. V. Kulikou

Scientific and Practical Center for Foodstuffs, Minsk, Republic of Belarus

ANALYSIS OF WASTE DURING THE MECHANICAL POTATO PEELING

The article describes the features and theoretical fundamentals of the mechanical method for potato peeling as most frequently used for manufacturing potato products, its advantages and disadvantages are considered, rational technological parameters of mechanical peeling are determined. The relationship between the amount of waste formed in the process of mechanical potato peeling and tuber sizes is established. Based on the results of the influence of parameters of tubers, the trajectory and speed of their movement in drum and roll peeling machines and action upon tuber forces, the dependence of the amount of waste is found. The amount of waste forming during the peeling of different-size potato tubers in the drum peeling machine MOK-350 is analyzed, and the recommendations to improve the peeling effectiveness are developed.

Keywords: potato, mechanical cleaning, waste, curvature, equipment.

Интенсивный расход сырья растительного и животного происхождения ставит человечество перед проблемой организации малоотходной энергосберегающей технологии промышленной переработки сырьевых ресурсов. Большое количество отходов производства выбрасывается без переработки, что приводит к потере ценных пищевых и кормовых компонентов и серьезным экологическим проблемам [1–3].

В настоящее время в картофелеперерабатывающей отрасли выделение сухих веществ сырья на получение основной продукции (крахмал, пюре, снеки) составляет около 60 % [4; 5]. Почти половина перерабатываемого сырья переходит в отходы. Исходя из опыта работы промышленности и из литературных данных установлено, что очистка картофеля является процессом, при котором образовывается наибольшее количество отходов [6].

Все существующие способы очистки картофеля условно подразделяются на три основные группы: механические, термические, химические [7; 8].

В настоящее время наиболее широко применяемыми являются механические и термические способы очистки картофеля.

В литературе широко представлены результаты исследований отхообразование при термическом способе очистки картофеля [9].

Количество отходов, образующихся в процессе как механической, так и термической очистки, зависит от качества сырья, технологических режимов процесса и применяемого оборудова-

ния. В общем случае количество образующихся отходов при очистке ($Q_{\text{отх}}$) находится в функциональной зависимости

$$Q_{\text{отх}} = f(R_{\text{ср}}; \tau; K_c),$$

где $R_{\text{ср}}$ – геометрический показатель размера картофельного клубня, м; τ – продолжительность процесса очистки, с; K_c – коэффициент, характеризующий способ очистки.

Механический способ очистки заключается в удалении наружных тканей картофеля шероховатыми поверхностями (преимущественно абразивными), при этом снимается кожица, глазки и часть мякоти клубня с различными дефектами. Перед очисткой проводится инспектирование, калибровка и мойка клубней.

Механический способ очистки не обеспечивает полного удаления с поверхности клубней глазков и других различных дефектов, вследствие чего очищенный картофель необходимо подвергать ручной доочистке.

Количество отходов, образующихся в процессе очистки – это не что иное, как количество сырья, перешедшего в отходы в процессе очистки.

Численное значение отходов, как показал анализ процесса термической очистки, в конечном итоге зависит от усредненного радиуса клубня картофеля и от толщины проваренного слоя поверхности клубня, косвенно от температуры пара на процессе очистки и продолжительности температурного воздействия.

При термическом способе очистки глубина проварки слоя поверхности клубня не зависит от формы и размера клубня, находящегося в движении, поскольку все зоны его поверхности одинаково доступны для контакта с паром высокого давления.

При механическом способе очистки наружные ткани картофеля истираются шероховатыми поверхностями рабочих органов очистительной машины, при этом по мере увеличения толщины слоя обработанной поверхности клубня, увеличивается количество удаляемой кожицы, глазков, всевозможных дефектов и, одновременно, здоровой части мякоти клубня. При этом по мере увеличения продолжительности очистки клубня доля истираемой здоровой части клубня постоянно возрастает.

В настоящее время для механической очистки корнеклубнеплодов широкое применение нашли отечественные барабанные очистительные машины серии КОУ и МОК, валковые машины [7; 8; 10].

Конструктивной особенностью барабанных машин для механической очистки корнеклубнеплодов является то, что машина снабжена вертикальным цилиндрическим барабаном, на внутреннюю поверхность которого нанесен прочный абразивный слой. Днище барабана, внутренняя поверхность которого также снабжена абразивным слоем, подключено к приводу и способно вращаться в заданном режиме.

Принцип действия машины состоит в том, что в барабан загружают порцию сырья и включают привод днища машины. В начальный послепусковой период идет интенсивное истирание клубней на поверхности соприкосновения их с абразивной поверхностью днища. Под воздействием сил трения между абразивной поверхностью и клубнями последние приобретают сложную траекторию движения внутри барабана: во-первых, они приобретают окружную скорость внутри барабана и соответственно центростремительное ускорение; во-вторых, центробежная сила отбрасывает клубни на внутреннюю стенку неподвижного барабана машины, при этом под воздействием силы трения о боковую абразивную стенку осуществляется истирание поверхности клубней и возникает вращающий момент каждого в отдельности клубня, соприкасающегося с неподвижной абразивной поверхностью, в результате чего находящиеся в круговом движении внутри барабана клубни приобретают вращательное движение вокруг некоторых, импровизированных на данный момент собственных осей вращения. Следует отметить, что положение собственных осей вращения в клубнях относительно собственных морфологических осей (длина, наибольший диаметр, наименьший диаметр) под воздействием сил трения об абразивные поверхности и сил взаимодействия между клубнями постоянно меняется, в результате чего по ис-

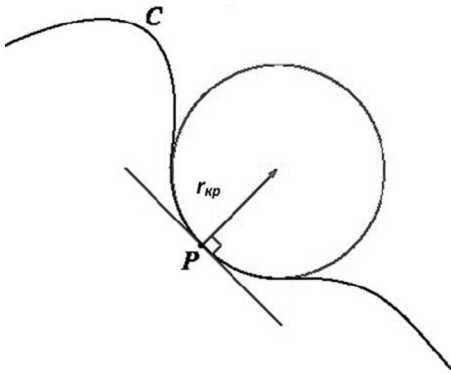


Рис. 1. Схема «кривизны кривой линии»
Fig. 1. Driving “the curvature of the curve”

длиной, то вторая производная по $t - f''(t) = K_p$; K_p – называется «кривизной кривой» в точке $P = f(t)$.

Величина, обратная кривизне кривой ($1/K_p = r_{кр}$) называется радиусом кривизны.

Радиус кривизны совпадает с радиусом соприкасающейся окружности в данной точке кривой. Центр этой окружности называется центром кривизны.

Рассмотрим сущность кривизны линии (поверхности) на процессе механической очистки клубней картофеля. Представим два возможных случая воздействия абразивной поверхности на клубни (рис. 2).

В соответствии с рис. 2, *a* клубню K изначально сообщается некоторая линейная скорость V , с которой он попадает на абразивную поверхность L . В начальный момент соприкосновения с абразивной поверхностью между клубнем и поверхностью возникает сила трения, которую можно определить из уравнения

$$N_{тр} = m_k g S b,$$

где $N_{тр}$ – удельная сила трения, Н; m_k – масса клубня, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; S – площадь соприкосновения между клубнем и абразивной поверхностью, м²; b – коэффициент трения между картофельным клубнем и абразивной поверхностью.

Далее клубень за счет силы трения $N_{тр}$, направленной противоположно движущей силе F , теряет скорость до нуля и останавливается на абразивной поверхности. Для продолжения процесса перемещения клубня по абразивной поверхности требуется новый импульс усилия для придания клубню некоторой скорости относительно абразивной поверхности и так далее, до полной очистки поверхности клубня.

Характерным показателем для данного процесса очистки является то, что сила прижатия клубня к абразивной поверхности определяется силой тяжести клубня $m_k g$.

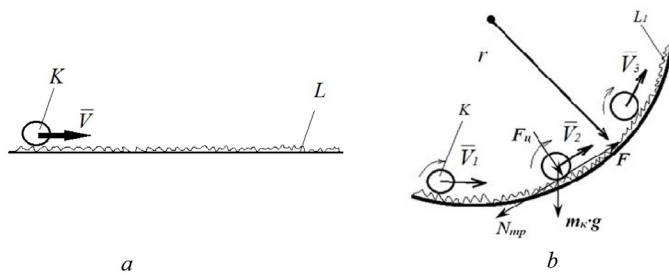


Рис. 2. Схема воздействия абразивной поверхности на картофельные клубни: *a* – прямолинейная абразивная поверхность; *b* – криволинейная абразивная поверхность

Fig. 2. Driving impact on the abrasive surface of potato tubers: *a* – a rectilinear abrasive surface; *b* – curved abrasive surface

течении некоторого промежутка времени очистки клубни оказываются всесторонне равномерно истертыми.

Валковые машины для механической очистки корнеклубнеплодов от кожуры состоят из ряда параллельно установленных, вращающихся с одинаковой скоростью горизонтальных валов, на поверхности которых вмонтированы цилиндрические абразивные элементы, которые и осуществляют процесс.

Для установления взаимосвязи между количеством отходов, образующихся в процессе механической очистки картофеля, и размерами клубней воспользуемся понятием «кривизна поверхности» [11–13].

Установлено, что если имеющая место во всех точках определения кривая C функции $y = f(t)$ (рис. 1) выражена

Для данного случая очистки на горизонтальной абразивной поверхности $r_{кр} = \infty$ и соответственно кривизна равна нулю ($K = 0$).

На криволинейной поверхности в соответствии с рис. 2, *b* клубню K изначально также сообщается некоторая линейная скорость V , с которой он попадает на абразивную криволинейную поверхность L_1 с радиусом кривизны $r_{кр}$. Попадая на вогнутую очистительную поверхность со скоростью \bar{V} (отметим, что вектор скорости клубня всегда направлен по касательной к поверхности клуб-

ня в точке его соприкосновения с кривой очищающей поверхностью), клубень обязан изменить направление своего движения в соответствии с кривизной очищающей поверхности, т. е., попадая на криволинейную поверхность, клубень движется в некоторый период времени по окружности. В этот период на него действует центростремительное ускорение, направленное к центру вращения, и центробежная сила, направленная по радиусу от центра кривизны

$$F_{ц} = \frac{m_k V^2}{r_{кр}},$$

где $F_{ц}$ – центробежная сила, Н; m_k – масса клубня, кг; V – линейная скорость клубня, м/с; $r_{кр}$ – радиус кривизны поверхности, на которой в данный момент находится клубень, м.

$$V = \omega r_{кр},$$

где ω – угловая скорость, рад/с.

Сопоставляя два значения величины прижатия клубня к очищающей поверхности $m_k g$ и $\frac{m_k V^2}{r_{кр}}$ можем отметить, что на криволинейной поверхности сила прижатия клубня к абразивной поверхности больше силы прижатия клубня к горизонтальной поверхности в $\frac{m_k V^2}{r_{кр}} = \frac{V^2}{r_{кр} g}$

раз. Таким образом, сила прижатия очищаемого элемента клубня к кривой очищающей поверхности прямо пропорциональна квадрату линейной скорости, с которой он перемещается по кривой и обратно пропорциональна радиусу кривизны очищаемой поверхности. Для данного случая $r_{кр}$ имеет некоторое определенное значение, $k > 0$.

Сопоставляя оба вышеописанных случая можно определить линейную скорость, с которой клубень перемещается по криволинейной поверхности, и кривизну очищающей поверхности в очистительных машинах, что определяет степень давления продукта на очищающую поверхность.

Эти параметры являются важнейшими при проектировании механических очистительных машин и выборе режимов очистки корнеклубнеплодов.

Учитывая кривизну и радиус кривизны поверхности, а также взаимосвязь между ними, представим схематически положение картофельных клубней с усредненными радиусами r_1 и r_2 среди массы картофеля в очистительной барабанной машине (рис. 3).

Для механической барабанной машины с радиусом очистительного барабана R_m радиус кривизны поверхности барабана и геометрический радиус окружности в сечении барабана совпадают. Кривизна окружности в сечении барабана является постоянной величиной и равна $1/R_m$, приобретает конкретное числовое значение.

В соответствии с представленной схемой клубни картофеля в очистительном барабане раскладываются некоторым слоем толщиной δ . Практически свободного пространства как перед клубнем с большим радиусом, так и перед клубнем с малым радиусом – нет. Оба клубня, перемещаясь по внутренней стенке барабана очистительной машины, некоторое время Δt испытывают сопротивление движению, создаваемое абразивной поверхностью и частично истираются. В то же время вращаясь вокруг собственных осей, находясь в стесненном состоянии, они перемещаются на одинаковое расстояние ΔL по внутренней поверхности очистительного барабана за тот же промежуток времени Δt .

Следовательно, для одного кратковременного соприкосновения клубней с очищающей поверхностью

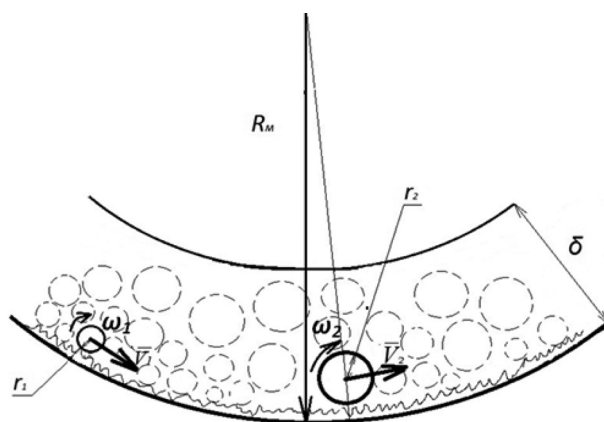


Рис. 3. Схема положения картофельных клубней в барабанной очистительной машине

Fig. 3. Scheme of the provisions of potato tubers in a drum cleaning machines

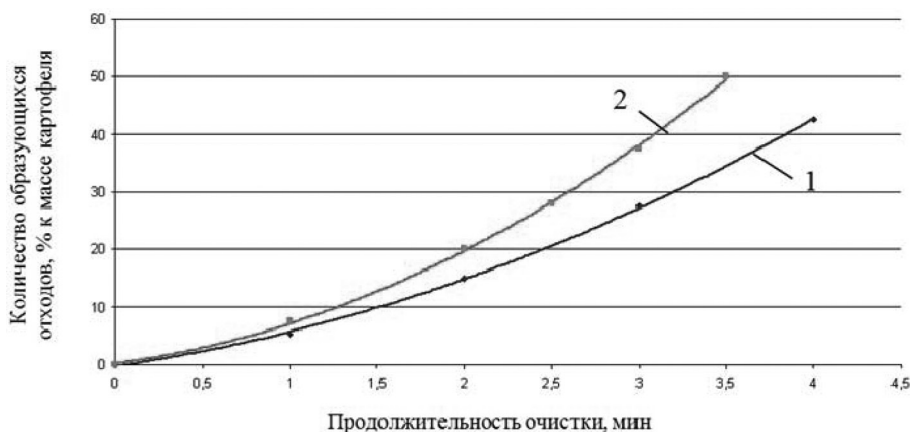


Рис. 4. Влияние продолжительности очистки на количество отходов, образующихся при очистке картофеля на очистительной машине МОК-350: 1 – усредненный радиус очищаемых клубней 35 мм; 2 – усредненный радиус очищаемых клубней 24 мм

Fig. 4. Effect of treatment on the amount of waste generated during cleaning of a potato on a cleaning machine MOK-350: 1 – average radius of treated tubers 35 mm; 2 – average radius of 24 mm of treated tubers

$$\Delta L = 2\pi r_1 V_1 \Delta \tau = 2\pi r_2 V_2 \Delta \tau, \text{ м,}$$

где V_1 и V_2 – соответственно окружные скорости перемещения клубней картофеля вокруг собственных осей при перемещении на ΔL за время $\Delta \tau$ (с).

Для множества соприкосновений клубней с очищающей поверхностью барабана очистительной машины перемещение составит

$$L = \sum \Delta L = \sum_0^{\tau} 2\pi r_1 V_1 \Delta \tau = \sum_0^{\tau} 2\pi r_2 V_2 \Delta \tau,$$

т. е. $r_1 V_1 = r_2 V_2$ или $\frac{r_1}{r_2} = \frac{V_2}{V_1}$.

При прохождении клубнями картофеля по очищающей поверхности одного и того же расстояния L клубень с меньшим средним радиусом соприкоснется с данной поверхностью во столько раз чаще, во сколько раз его радиус меньше. Это позволяет сделать следующий вывод: количество отходов, снимаемых с каждого в отдельности клубня на одной и той же очищающей поверхности, отнесенное к начальным массам клубней, обратно пропорционально значению их усредненных радиусов.

Отсюда следует, что перед механической очисткой картофеля с целью снижения потерь сырья с отходами обязательно необходимо проводить предварительную калибровку, после чего подавать в очистительную машину только клубни близкого по интервалу значений усредненного радиуса.

Анализ конструктивных особенностей устройств для механической очистки корнеклубнеплодов показывает, что помимо исследованных параметров линейной скорости клубня в барабане и кривизны барабана на работоспособность машины, качество очищенных клубней и количество образующихся отходов влияют размер частиц абразива на абразивной поверхности и особенности конструкции разгонного днища очистительной машины, а также коэффициент изношенности абразивной поверхности.

На рис. 4 представлены результаты исследований в виде зависимости влияния продолжительности очистки на количество отходов на очистительной машине МОК-350 [14] для клубней картофеля с усредненным радиусом клубней 24 и 35 мм.

Выводы. Анализ качества получаемого очищенного картофеля и представленных графиков позволяет сделать выводы:

1. Перед механической очисткой картофеля с целью снижения потерь сырья с отходами, необходимо проводить предварительную калибровку, после чего подавать в очистительную машину клубни близкого по интервалу значений усредненного радиуса.

2. Продолжительность процесса механической очистки зависит от качества картофеля (наличия и глубины залегания глазков, формы и дефектов клубня), состояния очистительного аппарата и не должна превышать 3 мин, при этом уровень отходообразования может составлять до 25 % от массы очищаемого картофеля.

3. Проведение глубокой механической очистки картофеля (продолжительность очистки увеличивают до 5 мин) повышает количество отходов до 50 %, однако при этом практически полностью отпадает необходимость в процессе доочистки. Целесообразность осуществления данного процесса должна определяться технологами предприятия.

Список использованных источников

1. Жалейко, Г. А. Переработка отходов / Г. А. Жалейко. – Минск: Белорусский научно-исследовательский центр «Экология», 1991. – 215 с.
2. Денщикова, М. Т. Отходы пищевой промышленности и их использование / М. Т. Денщикова. – М.: Пищепромиздат, 1963. – 162 с.
3. Воротеницкая, С. Л. Комплексное использование сырья и отходов в пищевой промышленности / С. Л. Воротеницкая, Б. И. Суменков, А. Б. Шахов // Консервная промышленность. – 1974. – № 10. – С. 5–8.
4. О картофеле, который мы перерабатываем / М. П. Шабета [и др.] // Картофелеводство: сб. науч. тр. – Минск, 2008. – Вып. 15. – С. 358.
5. Куликов, А. В. К анализу вопроса отходообразования в крахмальном производстве / А. В. Куликов, М. П. Шабета // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2010. – № 2. – С. 39–44.
6. Ловкис, З. В. Картофелеперерабатывающая отрасль Республики Беларусь: состояние и перспективы развития / З. В. Ловкис, А. В. Куликов // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2011. – № 2. – С. 24–30.
7. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии / Ю. И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995. – 600 с.
8. Малахов, Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / Н. Н. Малахов, Ю. М. Плаксин, В. А. Ларин. – Орел: Изд. ОГТУ, 2001. – 687 с.
9. Куликов, А. В. Анализ отходообразования при паровом способе очистки картофеля / А. В. Куликов, М. П. Шабета // Инновационные технологии в пищевой промышленности: тез. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф., 8–9 окт. 2010 г. – Минск, 2010. – С. 173–175.
10. Ловкис, З. В. Комплекс для производства картофельного крахмала / З. В. Ловкис, Д. А. Зайченко, А. В. Куликов // Агропанорама. – 2008. – № 1 (65). – С. 14–17.
11. Краткий курс высшей математики [Электронный ресурс] // Научная библиотека избранных естественнонаучных изданий. – Режим доступа: http://st.sernam.ru/book_msh.php?id=198. – Дата доступа: 16.11.2016.
12. Кривизна плоских линий [Электронный ресурс] // Math24.ru. Дифференциальные уравнения. – Режим доступа: <http://www.math24.ru/кривизна-плоских-линий.html>. – Дата доступа: 18.11.2016.
13. Кривизна и радиус кривизны кривой [Электронный ресурс] // Научная библиотека избранных естественнонаучных изданий. – Режим доступа: http://sernam.ru/lect_math2.php?id=85. – Дата доступа: 18.11.2016.
14. Ефимова, В. А. О картофелечистках [Электронный ресурс] / В. А. Ефимова, Т. А. Непочатых // Ценник. Главное – цена! – Режим доступа: <http://cennik.in.ua/index.php/uk/articlesuk/14-pitanie/8-potato>. – Дата доступа: 20.11.2016.

References

1. Zhaleiko G. A. *Recycling*. Minsk, Belarusian Research Center “Ecology”, 1991. 215 p. (in Russian).
2. Denshchikov M. *Food industry wastes and their use*. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1963. 162 p. (in Russian).
3. Vorotenietskaya S. L., Sumenkov B. I., Shakhov A. B. Integrated use of raw material and wastes in food industry. Canning industry. *Konservnaia promyshlennost'* [Canning industry], 1974, no. 10, pp. 5–8 (in Russian).
4. Shabeta M. P., Romanov S. L., Sokolova Z. A., Luz'ko O. N. About the potato we are processing. *Kartofelevodstvo: sbornik nauchnykh trudov* [Potato growing: a collection of scientific works]. Minsk, 2008, is. 15, pp. 358 (in Russian).
5. Kulikov A. V., Shabeta M. P. Analysis of the waste formation in starch production. *Pishchevaia promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food industry: science and technology], 2010, no. 2, pp. 39–44 (in Russian).
6. Lovkis Z. V., Kulikov A. V. Potato processing industry of the Republic of Belarus: state-of-art-of the problem and development perspectives. *Pishchevaia promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food industry: science and technology], 2011, no. 2, pp. 24–30 (in Russian).
7. Dytnerskiy Yu. I. *Processes and apparatus of chemical technology*. Moscow, Chemie Publ., 1995. 600 p. (in Russian)
8. Malakhov N. N., Plaksin Yu. M., Larin V. A. *Processes and devices of food production*. Orel, Orel State Technical University, 2001. 687 p. (in Russian).

9. Kulikov A. V., Shabeta M. P. Analysis of the waste formed when using the steam method of potato peeling. *Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti: tezisy dokladov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 8–9 oktiabria 2010 g.* [Innovation technologies in food industry: Book of Abstracts of the IX International Scientific-Practical Conference, 8–9 October 2010]. Minsk, 2010, pp. 173–175 (in Russian).

10. Lovkis Z. V., Zaichenko D. A., Kulikov A. V. Potato starch production complex. *Agropanorama* [Agropanorama], 2008, no. 1, pp. 14–17 (in Russian).

11. Short course of higher mathematics. *Scientific library of selected natural science publications*. Available at: http://stusernam.ru/book_msh.php?id=198 (accessed 16 November 2016) (in Russian).

12. Curvature of flat lines. *Math24.ru. Differential Equations*. Available at: <http://www.math24.ru/кривизна-плоских-линий.html> (accessed 18 November 2016) (in Russian).

13. Curvature and the curvature radius of the curve. *Scientific library of selected natural science publications*. Available at: http://sernam.ru/lect_math2.php?id=85 (accessed 18 November 2016) (in Russian).

14. Efimova V. A., Nepochatykh T. A. About potato peelers. *Price list. The main thing is the price!* Available at: <http://cennik.in.ua/index.php/uk/articlesuk/14-pitanie/8-potato> (accessed 20 November 2016) (in Russian).

Информация об авторах

Ловкис Зенон Валентинович – член-корреспондент, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор, НПЦ НАН Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com.

Куликов Алексей Валентинович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, НПЦ НАН Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kand2009@tut.by.

Для цитирования

Ловкис, З. В. Анализ отходообразования при механическом способе очистки картофеля / З. В. Ловкис, А. В. Куликов // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 2. – С. 114–120.

Information about the authors

Lovkis Zenon Valentinovich – Corresponding Member, D. Sc. (Engineering), Professor, General Director, Scientific and Practical Center for Foodstuffs (29, Kozlov Str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com.

Kulikov Aleksey Valentinovich – Ph. D. (Engineering), Senior researcher, Scientific and Practical Center for Foodstuffs (29, Kozlov Str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kand2009@tut.by.

For citation

Lovkis Z. V., Kulikou A. V. Analysis of waste during the mechanical potato peeling. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2017, vol. 61, no. 2, pp. 114–120 (in Russian).