

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ И ИЗНОСНОГО СОСТОЯНИЯ НОЖЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СВЕКЛОРЕЗОК



РУДИК Феликс Яковлевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

БОГАТЫРЕВ Сергей Аркадьевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

В статье проанализированы особенности измельчения сахарной свеклы в стружку в центробежной свеклорезке (ЦС). Отечественным сахароперерабатывающим предприятиям свойственна низкая степень извлечения конечного продукта из сырья. Потери из-за отходов доходят до 1/3 и находятся в зависимости от стадии измельчения в стружку. Известно, что для извлечения сахарозы требуются ножи оригинальной конфигурации, особой прочности и неравномерно распределенной твердости от сердцевины к поверхности. Особые условия измельчения ведут к необходимости проведения частых заточек из-за интенсивного изнашивания режущих кромок, а также к замене из-за возникновения деформаций и появления разрушений рабочих граней. В связи с этим исследование причин потери работоспособности ножей, их низкого ресурса по сравнению с базовыми деталями свеклорезки, а также отсутствие эффективных технологических процессов ремонта, восстановления и упрочнения является актуальным. На основании выявленных причин быстрого износа ножей и ухудшения показателей качества стружки предложены эффективные мероприятия, способствующие повышению износостойкости, увеличению наработки на отказ ножей центробежных свеклорезок и улучшению физико-механических характеристик сахарозосодержащей стружки.

Введение. С помощью анализа показателей технологии получения из сахарной свеклы стружки выявлены причины значительного недоизвлечения сахарозы из корнеплода. Установлены зависимости длины стружки и проницаемости от износостойкости режущих кромок свеклорезного ножа, найден момент наступления предельного состояния рабочих граней ножа, выявлены возможные причины затупления режущих кромок, а также характер изменения режимов резания и конечных параметров свекловичной стружки [1, 7].

Цель исследования – выявить особенности процесса измельчения сахарной свеклы и причины износа режущих кромок ножей центробежных свеклорезок.

Методика исследований. В соответствии с поставленной целью для выявления зависимости качественных характеристик свекловичной стружки от технического состояния режущих граней свеклорезных ножей предлагается при анализе последствий возможных неисправностей и отказов использовать методику, основанную на диагностике, изучении и выявлении причин появления дефектов, условий возникновения поломок и механизма проявления неисправностей, определении тяжести последствий возможных отказов, предложении рекомендаций по изменению конструкции или использованию прогрессивных реновационных технологий, направленных на снижение вероятности возникновения и последствий отказов, оценки эффективности применения предложенных доработок.

Для решения уравнений и обработки массивов данных использовали стандартные формулы в компьютерной программе Excel и пакет MathCAD.

Результаты исследований. В процессе измельчения сахарной свеклы по мере затупления

режущего инструмента возникают отклонения от заданной толщины стружки, которая не должна превышать 0,0005 м, и длины не менее 4 м на 100 г продукта (рис. 1).

Резание свеклы протекает под действием упругой деформации, что может привести к отклонениям от заданных параметров [6].

Для установления и устранения причин снижения качественных показателей свекловичной стружки исследован рабочий процесс измельчения корнеплода. Установлено, что нагрузка, действующая на режущие грани зигобразного ножа [3, 4], возникает от ударных воздействий самого корнеплода на рабочие грани при инерционном измельчении (рис. 2). Рабочие параметры процесса измельчения представлены в таблице.

Основными показателями, характеризующими качество измельчения свеклы в стружку, являются ее длина l и толщина a (рис. 3).

От соотношения длины и толщины стружки зависит количество выхода сахарозы в диффузионном аппарате. На режущих кромках ножа возникает усилие P_x , уравновешенное силой реакции N_x свеклы от внедрения ножа. Усилие F_x зависит от трения в плоскости резания $a-a$, находящейся под углом α к оси OX . Проекция силы трения на оси координат OX и OY обозначены как N_β , P_x . После преобразований, учитывающих коэффициент трения свеклы о грани ножа, получим следующие формулы:

$$F_x = \mu N_\beta (\cos \beta - \mu \sin \beta), \text{ Н.} \quad (1)$$

$$P_x = N_x + N_\beta [\sin \beta (1 - \mu) + 2\mu \cos \beta], \text{ Н.} \quad (2)$$

В формуле (2) усилия N_x и N_β являются реакциями на внедрение свеклы в режущие кромки неподвижного ножа. Корнеплод соприкасается в плоскости резания $a-a$ с режущей гранью

под углом α . Участок r при этом располагается в плоскости резания, где возникают радиальные напряжения [4], вычисляемые по формуле:

$$\sigma_r = -\frac{2P \sin \alpha}{\pi r}, \text{ Па.} \quad (3)$$

Касательные напряжения равны:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} [\sigma_r] = \frac{P \sin \alpha}{\pi r}, \text{ Па.} \quad (4)$$

В т. О радиальные и касательные напряжения при условии равенства $r = 2R \sin \alpha$ определяются с помощью формул:

$$\tau_r = \frac{2P \sin \alpha}{2\pi r \sin \alpha} = \frac{P}{\pi R}; \quad \tau_{\max} = \frac{P \sin \alpha}{2\pi R \sin \alpha} = \frac{P}{2\pi R}, \text{ Па.} \quad (5)$$

При условии соблюдения равенства $N_x = P$ получим:

$$N_x = \pi R \sigma_r b, \text{ Н,} \quad (6)$$

где b – длина режущих кромок, м.

Разрушение волокон свеклы начинается при превышении величины допустимого напряжения на сжатие, которое равно:

$$N_x = \pi R [\sigma_{\text{сж}}] b, \text{ Н.} \quad (7)$$

Эффективность процесса резания свеклы находится в зависимости от соотношения усилий F_β и N_x . Излишний изгиб стружки может препятствовать проникновению режущих кромок в плод из-за его плотной волокнистой структуры, затупления ножей и изменения их геометрической формы в результате деформаций изгиба [5].

Изгиб стружки можно представить как изгиб



Рис. 1. Зависимость проницаемости стружки от ее длины

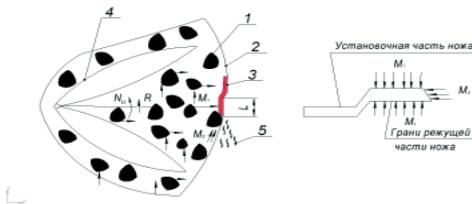


Рис. 2. Схема процесса измельчения свеклы в центробежной установке: 1 – свекла; 2 – стенка цилиндра; 3 – нож; 4 – улитка; 5 – стружка

консольной балки под действием нагрузки P , изменяющейся по линейному закону по всей длине ее контакта l с гранью ножа. Усилие F_β при этом является сжимающим.

Наклон кромки под углом β создает момент от силы N_x . Величина касательных сил с учетом коэффициента трения $\mu[\sigma_{\text{сж}}]$ определяется по формуле

$$F_\beta = \frac{1}{2} \mu [\sigma_{\text{сж}}] l l_1, \text{ Н,} \quad (8)$$

где l_1 – суммарная длина режущих кромок, м.

Напряжение σ_p от действия силы F_β равно:

$$\sigma_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu [\sigma_{\text{сж}}] l l_1}{S}, \text{ Па,} \quad (9)$$

где S – площадь поперечного сечения стружки, м².

В соответствии с рекомендациями [10] максимальный изгибающий момент $M(0)$ определяется по формуле:

$$M(0) = M + \frac{1}{2} [\sigma_{\text{сж}}] l \cdot \frac{1}{3} l_1 b, \text{ Н.} \quad (10)$$

где M – сосредоточенный момент в т. $x_0 = l; b$ – ширина стружки, м.

Сосредоточенный момент M равен:

$$M = N_x y_1, \text{ Нм,} \quad (11)$$

где y_1 – перемещение отсекаемой стружки в точке $x_0 = l, y_1 = l \sin \beta$.

После подстановки N_x и y_1 из выражений (9) и (10) получим:

$$M = \pi R [\sigma_{\text{сж}}] l l_1 \sin \beta, \text{ Нм.} \quad (12)$$

В этом случае:

$$M(0) = \pi R l l_1 [\sigma_{\text{сж}}] \sin \beta + \frac{[\sigma_{\text{сж}}] l^2 b}{6}, \text{ Н.} \quad (13)$$

Напряжение изгиба, возникающее при резке стружки равно:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M(0) y_0}{J}, \quad (14)$$

Напряжение изгиба можно вычислить по

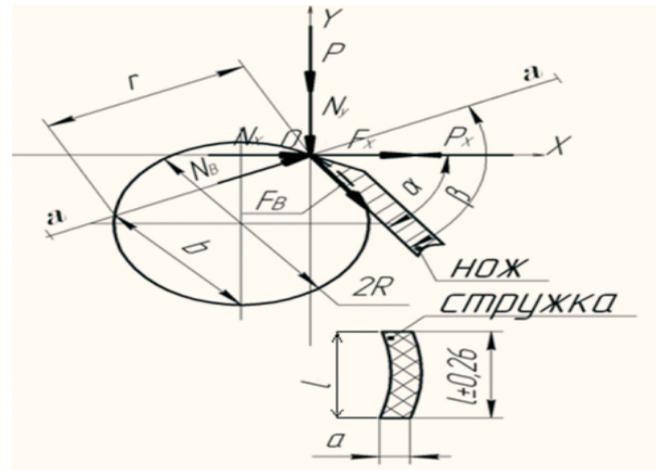


Рис. 3. Силовая схема процесса измельчения



Параметр	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
Количество ножей в рамке	n_1	шт.	2
Количество рамок	n_2	шт.	9; 12; 16
Количество ножей в свеклорезке	n_3	шт.	18; 24; 32
Длина режущей кромки	l_1	м	0,135
Общая длина режущих кромок	l_2	м	2,43; 3,14; 4,32
Высота подъема ножа	a	м	0,0005
Скорость резания	v	м/с	6,59
Насыпная емкость свеклорезки	ρ	кг/м ³	550–600
Коэффициент, характеризующий степень использования насыпной емкости	K_k		0,9
Коэффициент, характеризующий долю времени работы свеклорезки с учетом остановок	K_α		0,9
Диаметр корпуса	D_b	м	1,4
Частота вращения улитки	N_u	мин ⁻¹	90
Масса корнеплода	m	кг	0,3–0,5
Радиус резания (плечо от центра улитки до стенки цилиндра)	R	м	0,7
Удельное усилие резания	f	Н	1770
Коэффициент неоднородность вороха	$\eta_{отн}$		0,512–0,6
Коэффициент трения скольжения сопряжения свекла-сталь	μ		0,175

формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{(6\pi R l l_1 [\sigma_{ск}] \sin \beta + [\sigma_{ск}] l^2 b) y_0}{6J}, \text{ Па}, \quad (15)$$

где J – момент инерции, Н·м; y_0 – величина удаления точки сечения стружки от нейтральной оси, м.

Нормальные напряжения при $x = 0$ равны:

$$\sigma(0) = \sigma_{изг}(0) \sigma_p. \quad (16)$$

Для зоны упругой деформации плода нормальные напряжения вычисляются следующим образом:

$$\sigma(0) = \frac{(6\pi R l l_1 [\sigma_{ск}] \sin \beta + [\sigma_{ск}] l^2 b) y_0}{6J} - \frac{1}{2} \frac{\mu [\sigma_{ск}] l l_1}{S}, \text{ Па}. \quad (17)$$

При этом $\sigma_p(0)$ равно предельно допустимому напряжению σ_{pn} :

$$\sigma_{pn} = \frac{(6\pi R l l_1 [\sigma_{ск}] \sin \beta + l^2 b [\sigma_{ск}]) y_0}{6J} - \frac{\mu [\sigma_{ск}] l l_1}{2S}, \text{ Па}. \quad (18)$$

После преобразования получим:

$$l^2 b y_0 S + (6\pi R l_1 \sin \beta S - 3J \mu l_1) l - \frac{6J S [\sigma_{pn}]}{[\sigma_{ск}]} = 0. \quad (19)$$

В общем виде уравнение для определения l выглядит следующим образом:

$$A l^2 + B l + C = 0, \quad (20)$$

где

$$b y_0 S = A; \quad 6\pi R l_1 \sin \beta S - 3J \mu l_1 = B; \quad -\frac{6J S [\sigma_{pn}]}{[\sigma_{ск}]} = C. \quad (21)$$

Величина l при резании, но не при упругой деформации, т.е. при $l^2 < 0$ определяется по формуле:

$$l = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \quad (22)$$

При уменьшении длины режущих участков во время эксплуатации происходит увеличение зазора между внутренней поверхности стенки неподвижного цилиндра и инструментом. При этом сила, необходимая для преодоления изгиба стружки N_β , возрастает согласно зависимости:

$$N_\beta = \frac{1}{2} [\sigma_{ск}] l b, \text{ Н}. \quad (23)$$

Момент резания M_2 , возникающий от инерционного перемещения плода по заостренной поверхности режущих кромок и от воздействия усилий P_x и F_x , вызывает их неравномерный износ (рис. 4).

Такая неисправность обычно устраняется ежедневными заточками, которые приводят к укорачиванию граней или выбраковке после 5–6 смен из-за разрушения. Для повышения износостойкости рекомендуется использовать разработанные учеными Саратовского аграрного университета им. Н.И. Вавилова дополнительные упрочняющие операции при изготовлении ножей либо технологические процессы их восстановления горячей штамповкой из изношенных [8, 9].

Разрушение граней возникает у 30 % ножей и приводит в конечном итоге к их преждевременной выбраковке. Данное обстоятельство обуславливает необходимость дополнительного упрочнения граней.

Заключение. На основании уточненных рабочих параметров процесса измельчения сахарной свеклы проведен комплекс аналитических и экспериментальных исследований, в результате ко-





изношенный нож



разрушенный



деформированный

Рис. 4. Дефектное состояние ножей после эксплуатации

торых установлены основные причины снижения качественных показателей свекловичной стружки в процессе измельчения корнеплода в центробежной свеклорезке, вызванные преждевременным затуплением и искажением геометрической формы режущих элементов. Упрочнение граней свеклорезных ножей горячим пластическим деформированием позволит повысить износостойкость поверхностного слоя и в конечном итоге увеличить на 30 % наработку на отказ ножей центробежных свеклорезок с обеспечением при этом необходимых показателей качества стружки, в частности, таких важных физико-механических характеристик, как ее длина и толщина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азрилович М.Я. Технологическое оборудование свеклосахарных заводов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 320 с.
2. Гребенюк С.М., Щербаков С.М. Исследования силовых взаимодействий сахарной свеклы с барабаном свеклорезки // Сахарная промышленность. – 1981. – № 2. – С. 22–25.
3. Патент на полезную модель №130542 Российская Федерация, МПК В 26 Д 1/00. Свеклорезный нож / Рудик Ф.Я., Богатырев С.А. и др.; № 2013105418; заявл. 08.02.2013; опубл. 27.07.2013.
4. Патент на полезную модель №150113 Российская Федерация, МПК В 21 Н 7/10. Устройство для изготовления режущих инструментов / Рудик Ф.Я., Богатырев С.А. и др.; № 2014116686; заявл. 24.04.2014; опубл. 27.01.2015.

5. Рудик Ф.Я. Совершенствование технологических процессов изготовления и восстановления режущего инструмента перерабатывающих предприятий. – М.: Росинформагротех, 2002. – 182 с.

6. Рудик Ф.Я., Скрябина Л.Ю., Ковылин А.П. Обеспечение показателей надежности ножей для измельчения сахарной свеклы // Научное обозрение. – 2012. – № 6. – С. 160–164.

7. Рудик Ф.Я., Скрябина Л.Ю., Ковылин А.П. Дефектное состояние ножей к центробежным установкам и повышение их усталостной прочности // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2014. – № 8. – С. 22–26.

8. Рудик Ф.Я., Скрябина Л.Ю., Ковылин А.П. Повышение износостойкости и усталостной прочности режущих инструментов перерабатывающей отрасли // Вестник машиностроения. – 2014. – № 4. – С. 43–47.

9. Рудик Ф.Я., Богатырев С.А., Морозов А.А. Инновационные ресурсосберегающие технологии восстановления работоспособности корпусных деталей. – Саратов, 2015. – 160 с.

10. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

Рудик Феликс Яковлевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Богатырев Сергей Аркадьевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Организация производства и управление бизнесом в АПК», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Соколова, 335.

Тел.: (8452) 69-23-46.

Ключевые слова: сахарная свекла; свекловичная стружка; ножи; изнашивание; резание; измельчение; наработка; отказ.

ANALYSIS OF WORKING AND WEARED CONDITIONS OF CENTRIFUGGED STICKER KNIVES

Rudik Feliks Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Technologies of Food Stuff”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Bogatyrev Sergey Arkadevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Organization of Production and Business Management in AIC”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: sugar beet; sugar beet shavings; knives; wear; cutting; grinding; operating time; renouncement.

In the article the features of grinding sugar beet into shavings in centrifugal beet cutter are analyzed. Domestic sugar-processing enterprises are characterized by a low degree of extraction of the final product from raw materials. Losses due to waste reach up to 1/3 and are dependent on the stage of grinding into chips. It is known that extraction of sucrose requires

knives of the original configuration, special strength and unevenly distributed hardness from the core to the surface. Special conditions of grinding lead to the need for frequent sharpening due to intensive wear of the cutting edges, as well as to replacement due to the appearance of deformations and the appearance of fractures of the working faces. In this regard, the study of the causes of loss of efficiency of knives, their low resource in comparison with the basic details of a beet cutter, as well as the lack of efficient technological processes for repair, restoration and hardening is relevant. In the article, based on the reasons for the rapid deterioration of knives and the deterioration of the quality of chips, effective measures have been proposed to increase wear resistance, increase the operating time for centrifugal cutting rods and improve the physical and mechanical characteristics of sucrose-containing chips.

