

сурсных затрат в денежном выражении на единицу продукции по новой технологии к стоимости удельных затрат по базовой технологии:

$$K_{\text{прз}} = C_{\text{н}}/C_{\text{б}} = 226\,800/270\,000 = 0,84 \times 100 \% = 84 \%$$

Определим величину экономии удельных затрат ( $\Delta U_3$ ) на единицу продукции через разность затрат по базовому варианту и новой технологии:

$$\Delta U_3 = C_{\text{б}} - C_{\text{н}} = 270\,000 - 226\,800 = 43\,200 \text{ бел. руб.}$$

Величина удельных затрат ( $\Delta U_3$ ) на 1 центнер свинины составит 43 200 руб.

Уровень интенсификации производства свинины как главный критерий ускорения научно-технического прогресса определяется по следующему выражению:

$$U_{\text{инт}} = (1/K_{\text{прз}} - 1)100 \% \approx 19 \%$$

Уровень интенсификации ( $U_{\text{инт}}$ ) показывает процент увеличения производства продукции без дополнительных ресурсных затрат. Следует заметить, что уровень интенсификации превышает планируемый в республике рост ВВП на 8–9 %.

При такой интенсификации масса эффекта в целом по свиноводческой отрасли составит:

$$Q_{\text{мз}} = \Delta U_3 V_{\text{с}} = 43\,200 \times 2\,921\,000 = 126 \text{ млрд. бел. руб.,}$$

где  $V_{\text{с}}$  – валовое производство свинины (центнер в год).

По статистическим данным [4] производство свинины в 2004 году составляло 2 921 000 центнеров в живом весе.

Окупаемость капиталовложений не должна превышать одного года.

В настоящее время осуществляется пятилетний план реконструкции животноводческих ферм. Поэтому необходимо как можно быстрее завершить разработку этих технологий, что значительно повысит окупаемость капиталовложений и рентабельность производства свинины в республике.

### Заключение

1. В статье рассмотрена необходимость и возможность очистки воздуха внутри свиноплеменника, обеспечивающая требуемые зоотехнические нормы микроклимата при сокращении энергозатрат минимум в 2 раза.

2. Очистка воздуха требуется только в зимний период до 1 кг аммиака в сутки на свиноводческий объем 4 212 м<sup>3</sup>.

3. Экономический эффект по отрасли в республике составит в год 126 млрд. руб. при сокращении воздухообмена в 2 раза.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Медведский, В.А. Гигиена животноводческих объектов/ В.А. Медведский: Учеб. пособие. – Витебск, ВГАВМ, 2001. – С. 248.

2. Информационный листок ИФХОХ АН Беларуси, фильтры ионообменные РИФ, ФК и РИФ-ФК. – Минск, 2005 г.

3. Системы организации внедрения завершенных НИР и ОКР в АПК, методы оценки эффективности НИР и ОКР на стадии их планирования и завершения. – Минск, 1999 г.

4. Республика Беларусь 1995–2004 (Стат. сб.) Минстат Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 271 с.

УДК 532.522.2

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.11.2006

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ НА ПРЕГРАДУ, ИМЕЮЩУЮ ВИД СЛОЯ КОРРОЗИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

И. В. Качанов, докт. техн. наук, доцент (БНТУ); А. С. Мойса, ст. преподаватель (УО БГАТУ); А. В. Филипчик, аспирант (БНТУ)

### Аннотация

Предлагается математическая модель для расчета силового воздействия струи на преграду, состоящую из слоя коррозионных отложений. Получена зависимость для расчета давления в точке соударения струи с преградой, учитывающая механические и реологические свойства разрушаемого материала, а также кинематические параметры (скорость  $V$ ) струи.

### Введение

Область применения струйно-абразивной обработки (САО), которая среди приведенных других способов (дробеметная, дробеструйная, пескоструйная, гидронескоструйная, газопламенная, химическая, ручной механиз-

ированный инструмент) по универсальности занимает одно из ведущих мест в современном производстве, весьма разнообразна [1, 2]. Так, например, струйная обработка поверхностей, предназначенных под последующее покрытие (гальванические, лакокрасочные и другие виды) находит широкое применение в сельскохозяйственном

машиностроении [1, 3]. В частности, поршневые кольца перед хромированием обрабатываются САО, что способствует повышению качества соединения покрытия с основным металлом. По существующим рекомендациям поршневые кольца должны дважды подвергаться САО, до и после хромирования, что повышает долговечность колец в условиях эксплуатации [2, 3].

Удаление нагара при помощи САО при ремонте сельскохозяйственной техники является широко распространенным процессом. От нагара очищают поршни, клапаны, гильзы и другие детали машин. Примечательно то, что при удалении нагара струйно-абразивным способом размеры изделия практически не изменяются [1, 2].

Удаление слоя коррозионных отложений струйно-абразивным способом является современным высокоэффективным методом, превосходящим по производительности зачистные операции, проведенные другими абразивными инструментами (круг, лента) или при помощи химической обработки. Высокая производительность способа САО при удалении коррозионных отложений обеспечивается спецификой процесса, реализуемого с меньшим объемом удаляемого металла [1–3].

Образование коррозионных отложений представляет собой самопроизвольный процесс разрушения металлов, возникновение и интенсивность которого зависят от многих причин, наблюдавшихся как при хранении металла, так и при эксплуатации изготовленных из него секций, конструкций, изделий или сооружений [2, 10].

Процессы возникновения коррозионных отложений сопровождаются образованием рыхлых продуктов, объем которых больше первоначального объема металла. Поэтому возникновение коррозионных отложений сопровождается разрушением имеющегося на поверхности защитного покрытия. При отсутствии ухода за окрашенной поверхностью, а также на металле, не прошедшем предварительной обработки для удаления ржавчины, окалина и других загрязнений, коррозионные процессы могут протекать необычайно быстро, вызывая полное разрушение защитного покрытия, а затем конструкции или изделия [3, 10].

Быстрота возникновения и характер коррозионных процессов зависят от условий, в которых выполняется изготовление или монтаж изделий, конструкций или сооружений. В сухом воздухе и при обычной температуре кислород, соединяясь с металлами и сплавами, образует на их поверхности тонкую сплошную невидимую пленку окислов. Такая пленка препятствует дальнейшему взаимодействию металла с кислородом, тем самым тормозит, а затем прекращает коррозионный процесс. Следовательно, выполнение работ в указанных условиях устраняет возможность возникновения интенсивных коррозионных процессов [1, 3, 10].

В процессе эксплуатации, в отдельных случаях и при изготовлении конструкций, практически невозможно устранить влияние атмосферных факторов или специальных сред на металл. В этих условиях коррозионные процессы неизбежны. Они развиваются и протекают тем интенсивнее, чем более жесткими будут условия изготов-

ления или эксплуатации сооружений или конструкций [1, 10].

В настоящее время для очистки металлических поверхностей от коррозионных отложений применяется ряд технологий (недостатки и преимущества):

- дробеметная очистка исключает тяжелый труд и обеспечивает хорошее качество очистки от всех загрязнений. Она возможна только при наличии специального участка и двух стационарных установок, что обеспечивает бесперебойную работу [1, 2, 3, 10];

- дробеструйная очистка применяется в доках, цехах и непосредственно на судах, обеспечивая хорошее удаление всех загрязнений. Она менее вредна, чем пескоструйная очистка. Установки имеют сравнительно небольшую производительность, требуют применения специальных вакуумных устройств для сбора и удаления отработанного абразива [1, 10];

- пескоструйная очистка находит ограниченное применение вследствие большой вредности. Установки имеют достаточно высокую производительность, обеспечивают удаление загрязнений любого типа. При работе образуется много очень вредной пыли, загрязняющей территорию. Сбор и удаление отработанного песка связаны с большими материальными затратами [2, 10];

- гидropескоструйная очистка хорошо удаляет любые загрязнения, производительность зависит от мощности установок. Она возможна только в теплое время года, выполняется в непромокаемой одежде, что значительно ухудшает условия работы, сопровождается значительными загрязнениями территории [2, 4, 10];

- газопламенная очистка хорошо удаляет преимущественно органические загрязнения и ржавчину, огнеопасна, может выполняться только высококвалифицированными рабочими. Метод малопродуктивен, пригоден только для удаления толстой, легко разрушающейся при нагревании окалины [3, 10];

- ручной механизированный инструмент (зубила, молотки, шпатели, шарошки) имеет малую производительность, оставляет насечки, являющиеся в будущем местами коррозионных разрушений. Щетки механизированные и обычные хорошо удаляют ржавчину, но заполировывают очищаемую поверхность, что снижает адгезию наносимых красок [1, 10];

- химическая очистка требует тщательного сбора в специальные отстойники отходов кислого или щелочного характера, большой затраты воды на промывку, применения кислотостойкого оборудования. При работе происходит сильное загрязнение расположенной вблизи территории. Этот способ применяют для разрыхления и частичного удаления прочно держащейся окалины на некоторых сталях [2, 10].

Одним из основных моментов при разработке струйных технологий является определение силового воздействия струи на преграду. В литературе представлен ряд методов описания воздействия струи на преграду, так, например:

- предлагается использовать теорему об изменении импульсов. Однако в расчетных зависимостях не уста-

навливается взаимосвязь между действующей силой и механическими свойствами материала [1, 3];

- предлагается использовать расчетные зависимости, полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных, для описания силового воздействия струи на преграду [9]. Однако возможности этих зависимостей ограничены условиями проведения экспериментов, для которых они получены;

- в работе [4] различия физико-механических свойств металлических окислов и основного металла предлагается выразить в виде реологической модели, составленной из элементов Гука и Кельвина, обладающих упругостью и вязкостью. Однако допущения, сделанные в данной работе, о том, что окисел представляется лишь как упругая составляющая, будут не корректными, так как противоречат реальной физической сущности процесса, целью которого является разрушение окисла на поверхности металла.

Обобщая изложенное, можно утверждать, что в рассмотренных работах не представлена схема разрушения в точке соударения струи с плоской преградой; нет связи между механическими свойствами обрабатываемого материала, кинематическими и энергосиловыми параметрами струи жидкости, воздействующей на плоскую преграду.

Для получения решения, лишенного указанных недостатков, предлагается воспользоваться методом, который в механике деформируемого твердого тела известен как метод верхней оценки (приближенный энергетический метод) [6, 7].

### Основная часть

Метод верхней оценки применительно к плоской деформации разработали В. Джонсон и Х. Кудо. Сущность его заключается в том, что объем очага деформации представляется в виде жестких (недеформируемых) блоков (треугольных по В. Джонсону), скользящих один относительно другого и по границам с жесткой зоной. Тем самым действительное поле линий скольжения заменяют кинематически возможным полем, состоящим из системы прямолинейных отрезков, образующих треугольники. Вдоль границ блоков – сторон треугольников – компоненты скоростей перемещений претерпевают разрывы. Внутри каждого блока поле скоростей однородно, т. е. вектор скорости для всех точек данного блока один и тот же. На этом основании строят поле скоростей, которое при правильном построении всегда является кинематически возможным. Число и размеры треугольных блоков первоначально выбирают произвольно [6, 7, 8].

Для проведения расчета используем кинематически возможное поле скоростей (рис. 1, а), состоящее из жестких однородных блоков В, С, D. Вид разрушения при силовом воздействии струи на преграду, как показали наши исследования, достаточно точно характеризует принятое для расчетов поле скоростей. Аналогичное поле для анализа процесса статического внедрения плоского

пуансона в жесткопластическую среду использовалось автором в работе [5].

Чтобы применить метод верхней оценки в нашем случае для описания силового воздействия струи на плоскую преграду, сделаем ряд допущений:

- скорость струи на выходе из конфузора равна скорости внедрения струи в преграду и равна скорости перемещения блока В;

- обрабатываемая поверхность считается состоящей из основного металла, покрытого плоским слоем коррозионных отложений;

- материал покрытия считается изотропным, однородным, несжимаемым, жесткопластичным, удовлетворяющим условию Губера-Мизеса;

- вдоль границ между блоками касательные напряжения, возникающие при скольжении блоков, являются максимальными:  $\tau_n = k$  ( $k$  – постоянная пластичности обрабатываемого материала, определяемая по результатам испытаний на одноосное растяжение (сжатие) по формуле  $k = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$  [5],  $\sigma_s$  – предел текучести обрабатываемого материала (слоя коррозионных отложений), определяемый по критериальной зависимости Губера-Мизеса);

- вид поля линий скольжения в каждый момент времени не зависит от абсолютной скорости и ее изменения в процессе деформации (квазистатическая задача);

- силы инерции не оказывают влияния на кинематику формоизменения (псевдостационарное течение).

Из последнего допущения следует, что принимаемый для расчета и соответствующий данному полю годограф скоростей (рис. 1, б) сохраняет свое первоначальное направление.

Для построения вышеуказанного годографа вначале из точки О (полюс годографа) по вертикали откладывается отрезок ОА скорости струи, длину которого примем за единицу. Учитывая сделанные допущения о равенстве скоростей струи и блока В, точки А и В на годографе скоростей будут совпадать. Далее из полюса годографа проводится линия ОС, параллельная поверхности металла 3, а из конца вектора ОА проводится линия ВС, параллельная поверхности раздела блоков В и С. Пересечение этих линий определяет точку С и отрезок ВС, который является скоростью скольжения вдоль границ треугольных блоков В и С. Продолжая построение подобным образом, далее получим изображенный на рисунке 1, б годограф скоростей. Линии годографа ВС, ОС, DC обозначают относительные скорости частиц материала вдоль линий разрыва ВС, ОС, DC (рис. 1, а)  $V_{DC}$ ,  $V_{OC}$ ,  $V_{BC}$ . В соответствии с рекомендациями [7] при решении динамических задач определяются нормальные компоненты ( $V_{OK}$  и  $V_{OM}$ ) скорости на поверхностях разрыва, характеризующиеся отрезками ОК и ОМ на годографе скоростей (рис. 1, б).

Когда струя, имеющая некоторую скорость  $V$ , налетает на неподвижную преграду  $F$ , то она отклоняется этой преградой, мешающей ее дальнейшему прямолинейному движению, и воздействует на преграду, развивая некоторую силу  $P$ . Если преграда неподвижна, то она

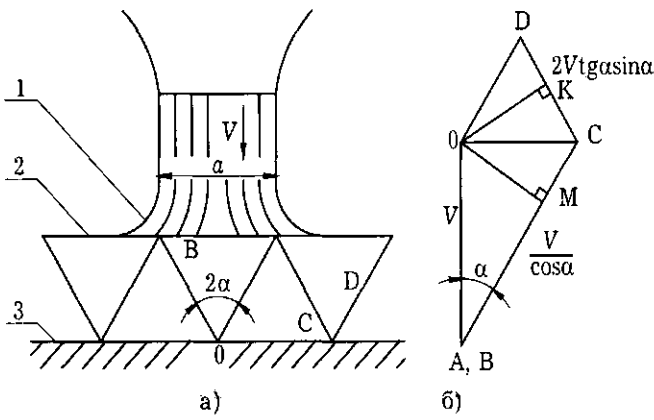


Рис. 1. Схема внедрения струи в преграду:

- а) – кинематически возможное поле линий скольжения:  
 1 – струя; 2 – поверхность слоя коррозионных отложений;  
 3 – поверхность металла;  
 б) – годограф скоростей

должна развивать в свою очередь реактивную силу, равную и противоположную силе  $P$ , которая, воздействуя на частицы струи, заставляет их отклоняться от первоначального направления с соответствующим уменьшением скорости течения в этом направлении. Схема натекания струи на преграду приведена на рис. 2.

Если преграда, уступая нажиму струи, придет в движение со скоростью  $V$ , то в этом случае струя будет передавать преграде некоторую мощность от воздействия внешней силы  $P$ , которая выразится произведением этой силы на скорость:

$$N_{\text{внеш}} = P \cdot V \quad (1.1)$$

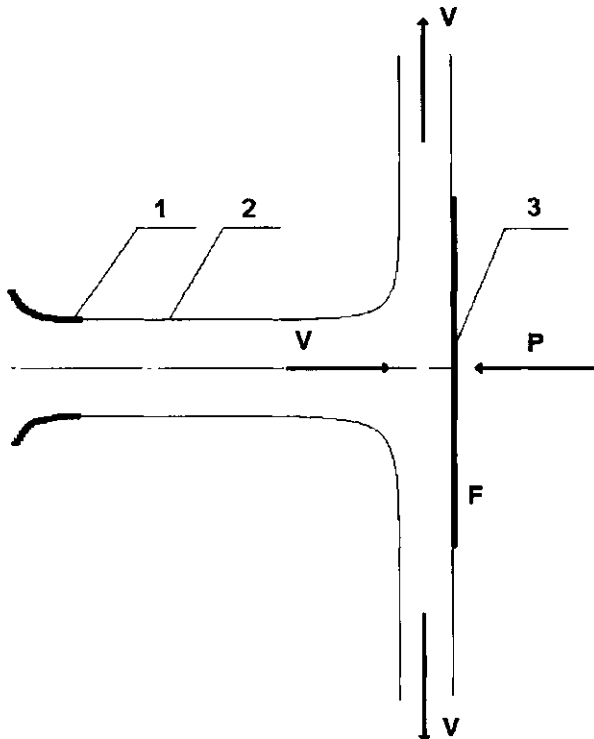


Рис. 2. Схема натекания струи на плоскую преграду:  
 1 – конфузор; 2 – струя; 3 – плоская преграда

Особенностью метода верхней оценки является условие баланса мощностей внешних и внутренних сил:

$$N_{\text{внеш}} = N_{\text{внутр}} \quad (1.2)$$

Для условий динамического (ударного) воздействия струи на преграду, учитывая рекомендации [7], мощность  $N_{\text{внутр}}$  рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{внутр}} = N_{\text{ст}} + N_{\text{дин}} N_{\text{внутр}} \quad (1.3)$$

где  $N_{\text{ст}}$  – мощность (квазистатическая) внутренних сил, действующих на поверхностях разрыва вектора скорости;

$N_{\text{дин}}$  – мощность, обусловленная действием динамических напряжений на поверхностях разрыва вектора скорости.

Обозначим ширину проекции площадки контакта струи с плоской преградой по горизонтали через  $a$  (рис. 1, а). Поскольку блоки приняты жесткими, мгновенная мощность внутренних сил, включая контактное трение, выразится уравнением:

$$N_{\text{внутр}} = (V_{\text{DC}} L_{\text{DC}} + V_{\text{OC}} L_{\text{OC}} + V_{\text{BC}} L_{\text{BC}}) k + (V_{\text{OK}} V_{\text{DC}}^2 L_{\text{OK}} + V_{\text{OM}} V_{\text{BC}}^2 L_{\text{OM}}) \rho \quad (1.4)$$

где  $V_{\text{DC}}$ ,  $V_{\text{OC}}$ ,  $V_{\text{BC}}$  – скорости скольжения частиц вдоль границ треугольных участков ( $V_{\text{DC}} = 2Vtg\alpha \sin\alpha$ ,  $V_{\text{OC}} = Vtg\alpha$ ,  $V_{\text{BC}} = \frac{V}{\cos\alpha}$ );

$V_{\text{OK}}$ ,  $V_{\text{OM}}$  – нормальные компоненты скорости на линиях разрыва к соответствующим границам треугольных участков ( $V_{\text{OK}} = Vtg\alpha \cos\alpha$ ,  $V_{\text{OM}} = V\sin\alpha$ );

$L_{\text{DC}}$ ,  $L_{\text{BC}}$ ,  $L_{\text{OC}}$ ,  $L_{\text{OK}}$ ,  $L_{\text{OM}}$  – длины сторон треугольных блоков принятого, кинематически возможного поля линий скольжения при плоской деформации ( $L_{\text{DC}} = \frac{0,5a}{\sin\alpha}$ ,

$$L_{\text{BC}} = \frac{0,5a}{\sin\alpha}, L_{\text{OC}} = a);$$

$\rho$  – плотность слоя коррозионных отложений.

Исходя из баланса мощности внешних и внутренних сил, составленного с учетом действия динамических напряжений на поверхностях разрыва вектора скорости, приходим к следующему выражению:

$$p \cdot 0,5aV = \left( 2Vtg\alpha \sin\alpha \frac{0,5a}{\sin\alpha} + Vtg\alpha a + \frac{V}{\cos\alpha} \cdot \frac{0,5a}{\sin\alpha} \right) k + \left( Vtg\alpha \cos\alpha 4V^2 tg^2\alpha \sin^2\alpha \frac{0,5a}{\sin\alpha} + V \sin\alpha \frac{V^2}{\cos^2\alpha} \cdot \frac{0,5a}{\sin\alpha} \right) \rho \quad (1.5)$$

Производим преобразование выражения (1.4), откуда определим необходимое давление в точке соударения струи с обрабатываемой поверхностью:

$$p = \left( 4tg\alpha + \frac{1}{\cos\alpha \sin\alpha} \right) k + \left( 4tg^2\alpha \sin^2\alpha + \frac{1}{\cos^2\alpha} \right) \rho V^2 \quad (1.6)$$

где  $V$  – скорость натекания струи на плоскую преграду.

Минимизируя оценку давления по углу  $\alpha$ , т. е.  $\frac{dp}{d\alpha} = 0$ .

получаем оптимальный угол  $\alpha = 30^\circ$ .

Подставив значение оптимального угла  $\alpha = 30^\circ$  в выражение (1.6), получаем:

$$p = 2,7\sigma_s + 1,6\rho V^2. \quad (1.7)$$

Полученная зависимость для расчета давления в точке соударения струи с преградой, учитывает механические и реологические свойства разрушаемого материала ( $\rho$  и  $\sigma_s$ ) и скорость струи  $V$ , действующей на преграду.

### Выводы

1. Разработана математическая модель для расчета силового воздействия струи на преграду, состоящую из слоя коррозионных отложений.
2. Получена зависимость для расчета давления в точке соударения струи с преградой, учитывающая механические и реологические свойства разрушаемого материала, а также кинематические параметры (скорость  $V$ ) струи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Агасарян, Р. Р. Струйно-абразивная обработка металлов / Р. Р. Агасарян, Р. Т. Дохинян. – Ереван: АрмНИИНТИ, 1990. – 51 с.

2. Меркулов, В. Н. Перспективные процессы гидрообработки материалов в машиностроении / В. Н. Меркулов. – Киев: УкрНИИНТИ, 1987. – 10 с.

3. Гидрорезание судостроительных материалов / Г. А. Тихомиров [и др.]; под общ. ред. Г. А. Тихомирова. – Ленинград: Судостроение, 1987. – 164 с.

4. Проволоцкий, А. Е. Исследование процесса гидроабразивной обработки сложнопрофильных поверхностей: дис. ... канд. техн. наук: 12.06.75 / А. Е. Проволоцкий – Одесса, 1975. – 286 л.

5. Работнов, Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю. Н. Работнов. – Москва: Наука, 1988. – 654 с.

6. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 420 с.

7. Томленов, А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов. – Москва: Металлургия, 1972. – 408 с.

8. Отт, А. А. Гидравлика / А. А. Отт. – 2-е изд. – Ленинград: Главная редакция энергетической литературы, 1937. – 397 с.

9. Омелянюк, М. В. Разработка технологии гидродинамической кавитационной очистки труб от отложений при ремонте скважин: дис. ... канд. техн. наук: 17.08.04 / М. В. Омелянюк. – Краснодар, 2004. – 215 л.

10. Искра, Е. В. Справочник по окраске судов / Е. В. Искра, Е. П. Куцевалова. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 263 с.

УДК 631.363.7

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.11.2006

## СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-СМЕСИТЕЛЯ КОРМОВ

**А. В. Китун, канд. техн. наук (УО БГАТУ); В. И. Передня, докт. техн. наук, профессор (НИЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства); Е. А. Мороз, студентка (УО БГАТУ)**

### Аннотация

*Приведены формулы для определения геометрических параметров пластины, позволяющей улучшить качество измельчения кормов без дополнительных затрат энергии в измельчителе-смесителе вертикального типа.*

### Введение

При выполнении технологического процесса измельчения кормов в измельчителях с вертикально установленной рабочей камерой корм, подвергаясь воздействию ножей, вовлекается в круговое вращение. При этом на него действуют центробежные силы в переносном и относительном направлении. Эти силы отбрасывают и прижимают корм к внутренней поверхности рабочей камеры, в результате чего на ней накапливаются более тяжелые частицы корма. В процессе

движения корма по внутренней поверхности рабочей камеры затрачивается непроизводительная энергия на его перемещение. Снизить эти затраты энергии можно, изменив направление переносной скорости кормового потока.

Решить поставленную задачу в измельчителе-смесителе кормов с вертикально установленной рабочей камерой можно, установив по ее внутреннему периметру пластины, передняя грань которых выполнена в виде клина. Эта грань направлена против движения ножей. В результате перемещающийся по внутренней поверхности