

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Т Р У Д Ы
ОДЕССКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

им. М. В. ЛОМОНОСОВА

ТОМ XIV

ОДЕССА — 1962 г.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
доктор технических наук профессор
ПЛАТОНОВ П. Н.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемый том Трудов включены статьи, излагающие результаты диссертационных работ аспирантов и преподавателей Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, выполненные в основном на кафедрах института.

Все замечания по выпускаемому сборнику просим направлять по адресу:

г. Одесса, Свердлова, 112, Технологический институт им. М. В. Ломоносова.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ВОЗНЕСЕНСКИЙ Г. П.

О РАЦИОНАЛЬНОМ ОРЕБРЕНИИ РЕБРИСТОГО ЛИСТА

(случай цилиндрического изгиба в плоскости ребер).

Пластины являются эффективными элементами несущих конструкций инженерных сооружений. Благодаря этому они широко применяются в основных отраслях техники: машиностроении, судостроении, авто-, авио- и ракетостроении, гидротехнике, строительном и дорожном деле и др.

Потребление листового материала в народном хозяйстве СССР из года в год неуклонно возрастает и по заданиям программы построения коммунизма в нашей стране, принятой XXII съездом КПСС, должно увеличиться до колоссальных размеров. При этом изменится структура металлопотребления, в основном за счет резкого повышения как общей доли листа в производстве проката (более 50% в 1980 году, вместо 36% в 1965 году и 25% в 1959 году), так и доли тонкого листа в общем производстве листовой стали (в 3—4 раза).

При таких громадных масштабах производства и потребления листа вообще и тонкого листа в частности особо важное значение имеет экономия материала. Вот почему значительный интерес приобретает не только исследование вопроса о возможности замены стального гладкого листа другим, конструктивно более эффективным листовым материалом, каким и является ребристый лист, но также исследование вопроса о рациональном оребрении такого листа.

Известно, насколько многообразны и сложны случаи деформации и напряженного состояния тонкой пластины.

Поэтому совершенно очевидно, что выяснение вопроса о степени рациональности оребрения листа¹ и формулирование рекомендаций по наивыгоднейшему оребрению его может быть произведено только на основе сравнительных исследований всех наиболее часто встречающихся в инженерной практике случаев работы пластин.

Предлагаемая статья освещает решения более узкой задачи: в ней излагается существо методики и приводятся некоторые результаты проведенного автором определения оптимальных элементов оребрения листа, работающего в условиях цилиндрического изгиба от статической нагрузки.

Работа выполнена на кафедре сопротивления материала под руководством доктора технических наук профессора Лунца Е. Б.

¹ Имеется в виду не рифленый либо гофрированный лист, а лист с ребрами жесткости высотой в несколько и более толщин его тела.

1. Основные положения и исходные данные

Для решения задачи рассматривались варианты ребристого листа безотносительно¹ к его материалу, имеющие параллельные между собой ребра жесткости различных типоразмеров. Для каждого варианта определялся шаг оребрения, оптимальный с точек зрения жесткости и прочности листа.

В качестве критерия оптимальности шага оребрения в обоих случаях служила та максимальная степень экономии материала, которая оказывалась достижимой при мысленной замене гладкого листа — ребристым. Само собой разумеется, что рассматривалась эквивалентная замена, то есть такая, которая обеспечивала ребристому листу такие же величины жесткости и прочности, как и у заменяемого им гладкого.

Поэтому принципиально решение задачи состояло в определении оптимального шага оребрения из выражения, сравнивающего веса ребристой и гладкой пластин с одинаковыми размерами в плане (в плоскости пластины) и эквивалентных между собой соответственно или по жесткости, или по прочности.

У пластин с одинаковыми размерами в плане веса прямо пропорциональны их толщинам и удельным весам материалов этих пластин. Поэтому, чтобы сравнить по весу 2 пластины из разных материалов (а следовательно, имеющие различные удельные веса) и с разными толщинами, достаточно сравнить произведения их толщин на удельные веса.

Вот почему при замене гладкого листа ребристым, эквивалентным ему по жесткости или по прочности, абсолютная экономия материала на каждую единицу площади листа может быть выражена формулой:

$$\Delta v = \gamma_r \delta_x - \gamma_p h_0,$$

где: δ_x — толщина заменяемого гладкого листа;

h_0 — толщина гладкого листа, изготовленного из того же материала, что и ребристый лист, и эквивалентного ему по весу;

γ_r и γ_p — удельные веса материалов гладкого и ребристого листов соответственно.

Отсюда относительная экономия материала при замене гладкого листа ребристым, эквивалентным ему по жесткости или по прочности, выражается формулой:

$$\xi_x = \frac{\Delta v}{v} = \frac{\gamma_r \delta_x - \gamma_p h_0}{\gamma_r \delta_x} = 1 - \frac{\gamma_p h_0}{\gamma_r \delta_x} = 1 - \frac{h_0}{K \gamma \delta_x}, \quad (1)$$

где: коэффициент $K = \frac{\gamma_r}{\gamma}$, а индекс $x=1$ или 2 показывает, как эквивалентны сравниваемые листы — по жесткости или по прочности, в соответствии с чем берутся выражения для толщины δ_x (δ_1 или δ_2).

При решении задачи за основу было принято известное дифференциальное уравнение изгиба пластины, гнушейся под действием статической нагрузки по цилиндрической поверхности:

$$Dy''(x) = -M(x)$$

¹ Учет конкретного материала, как будет показано в дальнейшем, осуществляется посредством соответствующих коэффициентов.

где: $y(x)$ — прогиб срединной поверхности пластины в поперечном сечении с абсциссой x ;

$M(x)$ — изгибающий момент в этом поперечном сечении, отнесенный к единице ширины сечения;

$D = \frac{Es^3}{12(1-\mu^2)}$ — так называемая цилиндрическая жесткость пластины (E — модуль нормальной упругости, μ — коэффициент Пуассона, s — толщина пластины).

Так как это уравнение отображает изгиб балки-полоски, вырезанной из пластины и изгибающейся по цилиндрической поверхности, то рассматривалась часть поперечного (перпендикулярного ребрам) сечения ребристого листа шириной, равной шагу ребер e . Обозначения элементов оребрения были приняты такие, как показано на рис. 1.

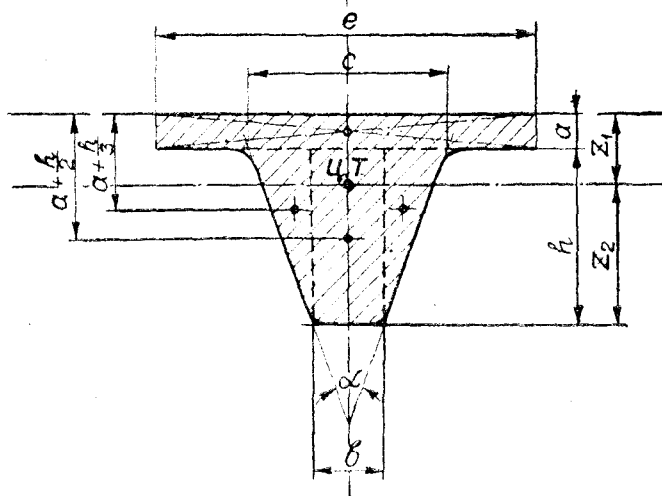


Рис. 1.

Для удобства выкладок и анализа окончательных результатов исходные величины оребрения и искомый шаг ребер, имеющие размерность длины, рассматривались в безразмерной форме. Для этого они были выражены через толщину тела листа a :

$$\frac{a}{a} = 1; \quad \frac{h}{a} = n; \quad \frac{b}{a} = m; \quad \frac{c}{a} = m + 2n \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad \frac{e}{a} = k,$$

где: n , m и k — высота ребра, ширина его у вершины и шаг оребрения соответственно, измеренные в толщинах тела ребристого листа a , а α — угол ребра при вершине. Для каждого из рассмотренных вариантов оребрения эти величины имели конкретные численные значения.

При решении задачи ребристый лист рассматривался как однородная ортотропная пластина, в соответствии с чем и определялись усредненные жесткость и момент инерции листа в направлении ребер. В дальнейшем величины, относящиеся к ребристой пластине, снабжены индексом «р», а величины, относящиеся к гладкой пластине, — индексом «г».

Величины, фигурирующие в выкладках по определению шага оребрения, оптимального с точки зрения жесткости, как правило, снабжены индексом «1», а величины, связанные с определением шага оребрения, оптимального с точки зрения прочности, снабжены индексом «2».

2. Некоторые геометрические характеристики сечения листа, перпендикулярного ребрам

Рассматривая геометрические соотношения на рис. 1, можно получить формулы для определения геометрических характеристик сечения листа, перпендикулярного ребрам, которые использовались для проведения подсчетов и аналитического исследования.

Удельная¹ цилиндрическая жесткость листа вдоль ребер

$$D_p = E_p \left(\frac{i}{1 - \mu_p^2} + \frac{J}{k} \right) = \frac{E_p}{1 - \mu_p^2} \left[i + (1 - \mu_p^2) \frac{J}{k} \right],$$

где: i — удельный момент инерции тела листа относительно нейтральной линии поперечного сечения;

J — момент инерции ребра относительно той же нейтральной линии;

E_p — модуль нормальной упругости;

μ_p — коэффициент Пуассона для материала пластины;

k — шаг ребер в безразмерном выражении.

Преобразуя, окончательно получаем:

$$D_p = \frac{E_p}{12(1 - \mu_p^2)} A(k),$$

где: $A(k)$ — дробная функция 3-й степени от k с постоянными коэффициентами c_j ($j=1 \div 4$), зависящими от исходных элементов ребрения.

$$A(k) = \frac{k^3 + c_1 k^2 + c_2 k + c_3}{k(c_4 + k)^2}$$

Приравняв исходное и конечное выражения для D_p , получаем:

$$\frac{i}{1 - \mu_p^2} + \frac{J}{k} = \frac{1}{12(1 - \mu_p^2)} A(k)$$

Откуда удельный момент инерции относительно нейтральной линии сечения, перпендикулярного ребрам

$$i_0 = i + (1 - \mu_p^2) \frac{J}{k} = \frac{A(k)}{12}.$$

Удельный момент сопротивления изгибу:

а) со стороны тела пластины $w'_p = \frac{I_0}{z_1}$,

б) со стороны ребра пластины $w''_p = \frac{I_0}{z_2}$,

После преобразования окончательно получаем:

$$w'_p = \frac{u(r)}{12} \text{ и } w''_p = \frac{v(k)}{12},$$

¹ Удельными названы величины, приходящиеся на единицу ширины поперечного сечения листа.

где: $u(k)$ и $v(k)$ — дробные функции 3-й степени от k с постоянными коэффициентами u_g и v_g ($g=1 \div 6$), зависящими от исходных элементов оребрения.

$$u(k) = \frac{k^3 + u_1 k^2 + u_2 k + u_3}{k(u_4 k^2 + u_5 k + u_6)} \quad \text{и} \quad v(k) = \frac{k^3 + v_1 k^2 + v_2 k + v_3}{k(v_4 k^2 + v_5 k + v_6)}.$$

Толщина гладкого листа, эквивалентного данному ребристому листу по весу, выраженная в безразмерной форме,

$$\gamma = \frac{h_0}{a} = \frac{F}{k} = \frac{k + n(m + n \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})}{k} = \frac{k + p}{k},$$

где F — суммарная площадь сечения, перпендикулярного ребрам.

3. Шаг оребрения, оптимальный с точки зрения жесткости

Если ребристый и гладкий листы изготовлены из разных материалов, то условие равенства их удельных цилиндрических жесткостей имеет вид:

$$\frac{E_p a^3}{12(1-\mu_p^2)} \Lambda(k) = \frac{E_r \delta_1^3}{12(1-\mu_r^2)}$$

Отсюда получается соотношение, связывающее толщину гладкого листа δ_1 и толщину тела ребристого листа a , эквивалентных между собой по жесткости и изготовленных из разных материалов:

$$\delta_1 = a \sqrt[3]{\frac{E_p (1-\mu_r^2)}{E_r (1-\mu_p^2)} \Lambda(k)} = a K \sqrt[3]{\Lambda(k)},$$

где $K = \sqrt[3]{\frac{E_p (1-\mu_r^2)}{E_r (1-\mu_p^2)}}$ — константа, зависящая от материалов сравниваемых листов.

В случае одного и того же материала $K = 1$ (так как $E_p = E_r$ и $\mu_p = \mu_r$) и формула приобретает вид:

$$\delta_1 = a \sqrt[3]{\Lambda(k)}.$$

Подставляя в формулу (1) вместо h_0 и δ_x их выражения, получим формулу для подсчета (в функции шага оребрения) экономии материала от замены гладкого листа листом ребристым, эквивалентной жесткости:

$$\xi_1 = 1 - \frac{k+p}{3 k K_\gamma K \sqrt[3]{\Lambda(k)}} \quad [\text{доли единицы}]. \quad (2)$$

Исследуя это выражение на экстремум, можно определить шаг оребрения $\text{opt } k_1$, оптимальный с точки зрения жесткости.

Для этого достаточно взять производную $\frac{d}{dk} \xi_1$ и приравнять ее нулю:

$$\frac{d}{dk} \xi_1 = 0.$$

В результате получается кубическое уравнение относительно k_1 , вещественные положительные корни которого дают искомую величину $\text{opt } k_1$.

4. Шаг оребрения, оптимальный с точки зрения прочности

Очевидно, что ребристая и гладкая пластины эквивалентны по прочности, если под действием одного и того же предельного изгибающего момента M максимальные нормальные напряжения у них равны предельно допускаемым, которые обозначим σ_p и σ_r .

Поэтому: $M = \sigma_p W_p = \sigma_r W_r$.

Откуда

$$W_r = \frac{\sigma_p}{\sigma_r} W_p \text{ или } W_r = K_\sigma W_p, \text{ где } K_\sigma = \frac{\sigma_p}{\sigma_r}.$$

При этом само собой разумеется, что момент сопротивления изгибу ребристой пластины

$$W_p = \text{либо } W_p', \text{ либо } W_p'',$$

в зависимости от того, какие волокна (крайние со стороны тела или со стороны ребра листа соответственно) оказываются раньше в предельно опасном напряженном состоянии.

Известно, что для пластичных материалов, как правило, пределы текучести при растяжении и сжатии почти одинаковы ($\sigma_{tz} \approx \sigma_{td} = \sigma_t$), а для хрупких материалов пределы прочности при растяжении и сжатии разные ($\sigma_{bz} < \sigma_{bd}$). Поэтому критерием наступления предельно опасного состояния является момент достижения напряжением в наиболее удаленных от нейтральной линии волокон величин: σ_t — для пластичных материалов и σ_{bz} — для хрупких материалов.

Из сказанного вытекает следующее.

1. В случае симметричного (относительно нейтральной линии) поперечного сечения для пластичного материала безразлично, по какую сторону от нее рассматривать крайние волокна, а для хрупкого материала — необходимо взять крайние растянутые волокна.

2. В случае несимметричного (относительно нейтральной линии) поперечного сечения и пластичного материала за предельно опасное необходимо принять напряжение σ_t в наиболее удаленных от нейтральной линии волокнах; если же материал хрупкий (вернее обладает разным сопротивлением растяжению и сжатию), то необходимо различать 3 схемы (рис. 2):

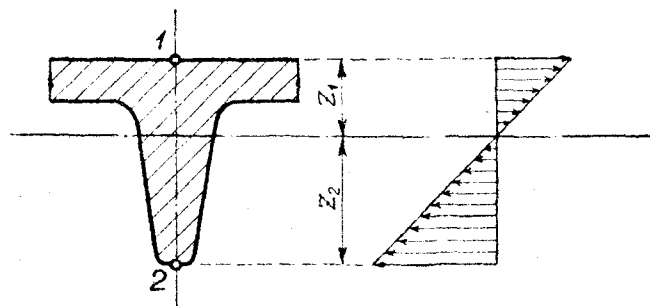


Рис. 2.

$$\text{а) если } \frac{\sigma_{bd}}{\sigma_{bz}} = \frac{w_p'}{w_p''} = \frac{z_2}{z_1} \text{ или } M_d = \sigma_{bd} w_p'' = \sigma_{bz} w_p' = M_z, \text{ то}$$

безразлично, в каких крайних волокнах принять напряжения (σ_{bz} или σ_{bd}) за предельно опасное, так как оба они достигаются одновременно;

$$\text{б) если } \frac{\sigma_{bd}}{\sigma_{bz}} > \frac{w_p'}{w_p''} = \frac{z_2}{z_1} \text{ или } M_d = \sigma_{bd} w_p'' > \sigma_{bz} w_p' = M_z, \text{ то}$$

за предельно опасное необходимо принять напряжение σ_{bz} в волокнах «1», так как оно достигается раньше σ_{bd} ;

$$\text{в) если } \frac{\sigma_{bd}}{\sigma_{bz}} < \frac{w_p'}{w_p''} = \frac{z_2}{z_1} \text{ или } M_d = \sigma_{bd} w_p'' < \sigma_{bz} w_p' = M_z,$$

то за предельно опасное следует принять напряжение σ_{bd} в волокнах «2», так как оно достигается раньше, чем σ_{bz} .

Удельный момент сопротивления изгибу гладкой пластины (как балки шириной, равной единице, и толщиной δ_2) $w_r = \frac{\delta_2^3}{6}$.

Подставляя это выражение для w_r в выведенное выше соотношение, получим, что толщина гладкого листа, изготовленного из того же материала, что и ребристый, и эквивалентного ему по прочности,

$$\delta_2 = \sqrt{6K_\sigma w_p}, \text{ причем:}$$

а) для крайних волокон со стороны тела листа

$$\delta_2' = \sqrt{6K_\sigma w_p'} = 0,708a \sqrt{K_\sigma \cdot \sqrt{u(k)}};$$

б) для крайних волокон со стороны ребра листа

$$\delta_2'' = \sqrt{6K_\sigma w_p''} = 0,708a \sqrt{K_\sigma \cdot \sqrt{v(k)}}.$$

Подставляя в формулу (1) вместо h_0 и δ_x их выражения, получим формулу для подсчета (в функции шага оребрения) экономии материала от замены гладкого листа листом ребристым эквивалентной прочности:

$$\zeta_2 = 1 - \frac{h_0}{K_\gamma \delta_2} [\text{доли единицы}], \quad (3)$$

которая: а) для случая работы ребристого листа, при котором опасными являются напряжения в волокнах «1», принимает вид

$$\zeta_2' = 1 - \frac{1,413}{K_\gamma \sqrt{k_\sigma}} \cdot \frac{k+p}{k \sqrt{u(k)}};$$

б) для случая работы ребристого листа, при котором опасными являются напряжения в волокнах «2», принимает вид

$$\zeta_2'' = 1 - \frac{1,413}{K_\gamma \sqrt{k_\sigma}} \cdot \frac{k+p}{k \sqrt{v(k)}}.$$

Для каждого конкретного случая работы листа необходимо разоб-
раться, в каких волокнах («1» или «2») раньше всего достигается пре-

дельно опасное напряжение, и в зависимости от этого пользоваться одной из этих формул; причем, при определении K_s вместо σ_p необходимо подставлять предельно опасное напряжение.

Исследуя соответствующее выражение на extremum, можно определить шаг оребрения $\text{opt } k_2$, оптимальный с точки зрения прочности.

Для этого достаточно взять производную $\frac{d}{dk} \xi_2$ и приравнять ее нулю:

$$\frac{d}{dk} \xi_2 = 0.$$

В результате получается уравнение 5-ой степени относительно k_2 , вещественные положительные корни которого дают величину $\text{opt } k_2$.

5. Некоторые результаты и выводы

Пользуясь изложенными выше методиками, по формулам (2) и (3) для серий вариантов ребристого листа могут быть подсчитаны, безотносительно к материалу, соответствующие величины экономии его ξ_1 и ξ_2 для различных значений шага оребрения k .

На основании этого можно построить графики зависимостей $\xi_1(k)$ и $\xi_2(k)$ для различных вариантов ребристости, которые позволяют быстро и просто оценивать степень рациональности оребрения конкретного листа из конкретного материала и подсчитать соответствующую экономию материала.

Для пересчета данных экономии ξ_1 и ξ_2 , безотносительных к материалу, на величины экономии X_1 и X_2 для того же ребристого листа, но из конкретного материала, могут служить формулы:

а) при эквивалентности по жесткости

$$X_1 = 1 - \frac{1 - \xi_1}{K_T K},$$

б) при эквивалентности по прочности

$$X_2 = 1 - \frac{1 - \xi_2}{0.708 K_T \sqrt{k_s}},$$

где: X_1 и X_2 , ξ_1 и ξ_2 фигурируют безразмерно.

На основании изложенной методики для различных типов оребрения ребристого листа, разных типоразмеров его ребер и различных материалов был произведен анализ оптимальности основных элементов оребрения.

Результаты и выводы анализа получили производственную опробацию в Центральном конструкторско-технологическом бюро Одесского Совнархоза, разработавшем промышленный метод производства ребристого листа.

Соответствующие расчеты показали, что экономия материала ξ_1 может достигать 40, а ξ_2 — 50 и даже более процентов.

Поэтому совершенно очевидно, что замена в пластинчатых конструкциях гладкого листового материала более рациональным ребристым профилем может дать значительный технико-экономический эффект.

ЛИНКОВА Г. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ КОНСОЛЬНО ЗАКРЕПЛЕННОЙ БОРШТАНГИ НА ЧИСТОТУ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОНКОЙ РАСТОЧКЕ

Наряду с непрерывно возрастающей в настоящее время мощностью и быстроходностью металлорежущих станков предъявляются все более жесткие требования к чистоте поверхности, обрабатываемой на этих станках. Особо важное значение имеет выполнение этих требований при обработке на прецизионных станках, в частности, при операции алмазной расточки.

Возникающие в процессе резания вибрации станков зачастую мешают дальнейшему совершенствованию их конструкции и, как правило, снижают качество обрабатываемой поверхности и стойкость режущего инструмента.

В лаборатории динамики станков Одесского технологического института проводятся многогранные исследования конструктивных узлов горизонтально-расточного станка модели 2А 715 (изготовления Одесского завода радиально-сверлильных станков) для выявления их влияния на возникновение вибраций в технологической системе станок-инструмент-деталь и методов их гашения.

Исследования отечественных и зарубежных ученых позволили сделать вывод, что при рассмотрении жесткости системы станок-инструмент в случае тонкой расточки при учете повышенной жесткости шпиндельных узлов головок специальных расточных станков (так в станке модели 2А 715 шпиндельная головка монтируется на прецизионных радиально-упорных подшипниках класса АВ с предварительным натягом) консольно закрепленная борштанга является наиболее слабым звеном технологической системы, лимитирующим режимы резания.

Работа посвящена выяснению влияния жесткости консольно закрепленной борштанги (заданной как отношением ее конструктивных размеров L/D , где L —длина борштанги, D —диаметр, так и расчетной величиной жесткости I кг/мк) на чистоту обработанной поверхности.

Следует заметить, что отношение L/D может служить мерой жесткости лишь при работе борштангой постоянного диаметра.

Условия проведенных испытаний: обрабатываемый материал—сталь 45, чугун твердостью $H_v = 170—190$ кг/мм², диаметр растачиваемого отверстия втулки, закрепленной в жестком приспособлении на столе станка,—18—24 мм, борштанга $D = 16$ мм. Жесткость борштанги варьировалась изменением длины ее L , что достигалось перестановкой резца по длине борштанги. Эксперимент проводился при следующих отношениях L/D :

Работа выполнена на кафедре сопротивления материалов под руководством доктора технических наук профессора Луица Е. Б.

Таблица 1

№ опыта	Борштанга		Отношение L/D	Жесткость I, кг/мм
	L, мм	D, мм		
1—40	82	16	2	5700
41—80	48	16	3	1690
81—120	64	16	4	734

Глубина резания $t=0,1$ мм. Резец, применяемый при обработке стали типа 5ИР1-1, оснащенный пластинкой из твердого сплава ТЗОК4, при обработке чугуна—типа 5ИР1-6, оснащенный металлокерамическим сплавом ВК-3 (обозначения резцов приводятся по нормам Одесского завода радиально-сверлильных станков).

Обработка велась при следующих режимах резания:

для стали подача $S=0,015; 0,03; 0,045; 0,06$ мм/об;

скорость резания $V=125; 150; 175; 200$ м/мин;

для чугуна: подача $S=0,015; 0,03; 0,045; 0,06$ мм/об;

скорость резания $V=100, 125, 150, 175$ м/мин.

Измерение вибраций производилось с помощью двух пар тензодатчиков, наклеенных на поверхность борштанги. Для осуществления токосъема с датчиков, вращающихся вместе с борштангой, в шпинделе расточной головки было просверлено центральное отверстие, через которое пропущены проводники, соединенные с выводными концами тензодатчиков. Проводники эти, в свою очередь, подпаяны к латунным изолированным друг от друга кольцам, одетым на хвостовик втулки, наведенной на резьбовой конец шпинделя. Токосъем с латунных колец осуществляется при помощи скользящих контактов из медного луженого провода с регулируемым натягом, обеспечивающим надежность контакта и оптимальный температурный режим в зоне контакта.

Для усиления сигнала применен 4-канальный тензоусилитель типа ТА-5. В качестве регистрирующего прибора—шлейфный осциллограф МПО-2.

Чистота обработанной поверхности определялась при помощи профилографа-профилометра типа «ВЭИ-Калибр», дающего непосредственно значения $H_{ск}$ —среднеквадратичной высоты гребешков неровностей исследуемой поверхности.

Сопоставление результатов проведенных экспериментов (рис. 1, 2, 3, 4) дает возможность сделать следующие выводы.

1. При исследовании зависимости величины амплитуд вибраций консольной борштанги и величины $H_{ск}$ обработанной поверхности от отношения L/D установлено, что с увеличением длины борштанги L , т. е. с увеличением отношения L/D в исследованных пределах от $L/D=2$ до $L/D=4$ как при расточке стали, так и при расточке чугуна наряду со значительным увеличением амплитуд вибраций наблюдается рост величины $H_{ск}$, т. е. ухудшение микрогеометрии поверхности. При $L/D=2$ чистота обработанной поверхности стальных втулок лежит в пределах 8 класса по ГОСТ 2789-59, чугунных втулок—6 класса. При $L/D=3$ об-

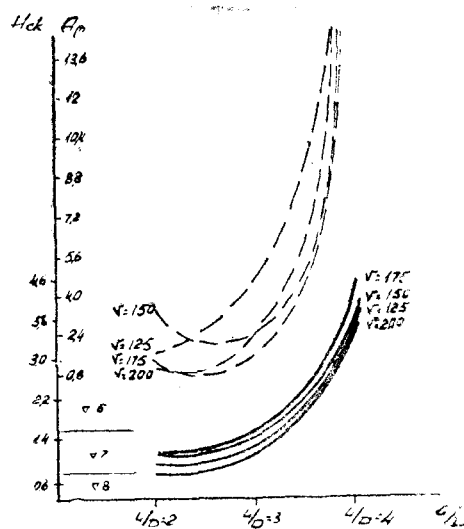


Рис. 1. $H_{ск}, A=F(L/D, V \text{ м/мин.})$.
Расточка стали 45, $S=0.03 \text{ мм/об.}$, бор-
штангой $\varnothing 16 \text{ мм}$ без демпфера, $t=0.1 \text{ мм}$.

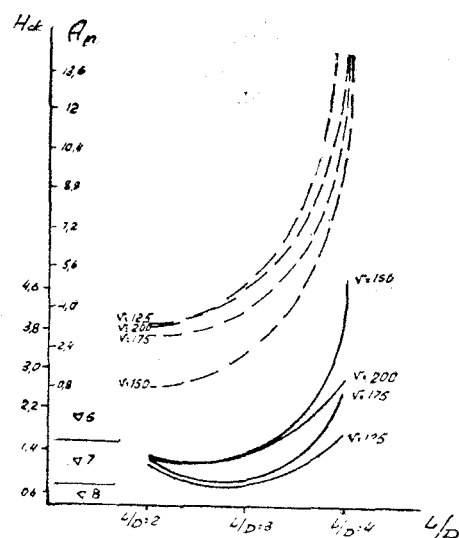


Рис. 2. $H_{ск}, A=F(L/D, V \text{ м/мин.})$.
Расточка стали 45, $S=0.06 \text{ мм/об.}$, бор-
штангой $\varnothing 16 \text{ мм}$ без демпфера, $t=0.1 \text{ мм}$.

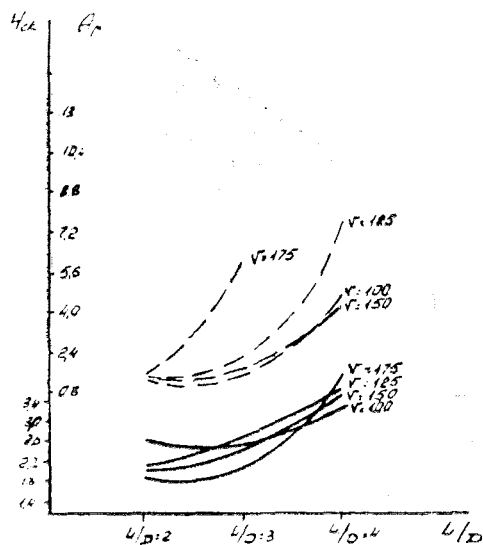


Рис. 3. $H_{ск}, A=F(L/D, V \text{ м/мин.})$.
Расточка чугуна, $S=0.03 \text{ мм/об.}$, бор-
штангой $\varnothing 16 \text{ мм}$ без демпфера, $t=0.1 \text{ мм}$.

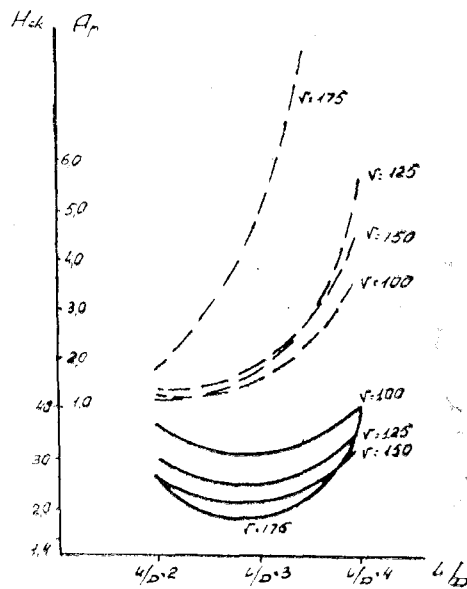


Рис. 4. $H_{ск}, A=F(L/D, V \text{ м/мин.})$.
Расточка чугуна, $S=0.06 \text{ мм/об.}$, бор-
штангой $\varnothing 16 \text{ мм}$ без демпфера, $t=0.1 \text{ мм}$.

работка стальных втулок дает поверхность 7 класса, чугуновых — 6 класса. При работе с наименее виброустойчивой борштангой с $L/D=4$ обработка стальных и чугуновых втулок дает поверхность 5 класса.

2. При тонкой расточке чугуновых втулок вибрации борштанги в отношении $L/D=4$ значительно уменьшаются по сравнению с тонкой расточкой стальных втулок на тех же режимах резания;

Таблица 2

V, м/мин	S, мм/об	Амплитуда, мк	
		сталь	чугун
125	0,015	25,6	2,73
	0,03	19	1,65
	0,045	12,8	1,65
	0,06	14,8	1,7

3. Изменение скорости резания в исследованных пределах от 125 до 200 м/мин при обработке стали и от 100 до 175 м/мин при обработке чугуна для борштанги большой жесткости с $L/D=2$ существенного влияния на микрогеометрию поверхности не оказывает. При работе борштангой малой жесткости с $L/D=4$ изменение скорости резания в указанных пределах вызывает возникновение вибраций, что значительно ухудшает микрогеометрию поверхности.

4. При рассмотрении влияния изменения подачи на микрогеометрию обрабатываемой поверхности следует отметить, что увеличение подачи, с одной стороны, как правило, ведет к ухудшению качества поверхности, но, с другой стороны, уменьшает амплитуду вибраций.

Так, при расточке стали со скоростью 150 м/мин борштангой с отношением $L/D=4$ при изменении подачи от 0,015 до 0,06 мм/об. $H_{ск}$ меняется соответственно от 2,4 до 4,8 микрон, а амплитуды вибрации — от 22,3 до 19,3 микрон.

Следовательно, технически правильным решением будет выбор оптимальной величины подачи, обеспечивающей требуемую чистоту поверхности при величинах амплитуд вибраций, еще гарантирующих необходимую стойкость режущего инструмента.

Дальнейшим направлением нашей работы является изучение взаимодействия — изгибных и крутильных — форм колебаний консольной борштанги при тонкой расточке.

РЕВВА В. Ф.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОГАСИТЕЛЕЙ СУХОГО ТРЕНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ БОРШТАНГ АЛМАЗНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

При механической обработке металлов на металлорежущих станках наиболее распространенным и вредным видом колебаний являются автоколебания, которые ведут к снижению производительности станков, к ухудшению качества обработанной поверхности и к уменьшению стойкости режущей кромки инструмента, в особенности при работе твердыми сплавами.

Переменные факторы, с которыми связано возникновение автоколебаний при обработке металлов резанием и за счет изменения которых можно расширить границы зоны виброустойчивости работы станков, чрезвычайно велики. В них входят:

а) свойства станка как сложной колебательной системы (тип станка, его размеры и конструктивное оформление, размеры и форма обрабатываемой детали и ее крепление);

б) технологические условия (род обрабатываемого материала, геометрия инструмента, определяемая углами резания, скорость резания, подача, глубина резания, затупление инструмента и т. д.).

Особо актуальной является проблема автоколебаний расточных станков для тонкой расточки. В этом случае автоколебания возникают при сравнительно низких режимах резания. Низкая виброустойчивость расточных станков в первую очередь связана с низкой виброустойчивостью борштанги. Поэтому основной задачей является повышение виброустойчивости всей системы за счет максимального повышения виброустойчивости наиболее слабого звена, т. е. борштанги. При растачивании, в результате действия сил резания, борштанга может совершать как изгибные, так и крутильные колебания. На возможность возникновения помимо изгибных и крутильных колебаний указывал Эрлих Л. Б. [1]. Это подтвердилось Яо Ли-пином [2] при исследовании вибраций, возникающих при растачивании. Он установил, что возникновение тех или иных колебаний обуславливается изгибной и крутильной жесткостями борштанги, а также соотношением между ними. Методы борьбы с колебаниями предопределяются их видом.

В настоящей статье рассматриваются некоторые результаты проводимого исследования по борьбе с автоколебаниями расточных станков: повышение виброустойчивости их за счет увеличения рассеяния энергии в борштанге.

Работа выполнена на кафедре сопротивления материалов под руководством доктора технических наук профессора Лунца Е. Б.

Известно, что увеличение рассеяния энергии приводит к увеличению предельных режимов резания [3, 4].

Представление о сущности действия виброгасителя сухого трения можно получить на следующем примере (рис. 1). К консольной балке

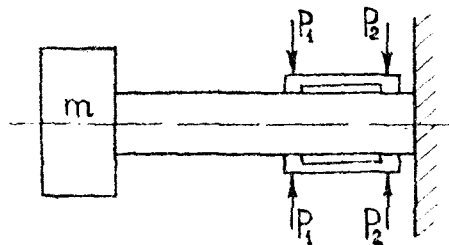


Рис. 1. Балка с накладками.

прямоугольного поперечного сечения с массой m на конце прижаты тонкие накладки, имеющие по концам два буртика. Сила P_2 , с которой прижимается один из концов, велика. Сила прижатия другого конца P_1 значительно меньше P_2 . При деформации балки крайние волокна ее будут периодически удлиняться и укорачиваться. Вследствие этого наблюдается проскальзывание между балкой и буртиками накладки, к которым приложена сила P_1 . При этом проскальзывании будет рассеиваться энергия. Если вывести балку из равновесия и записать виброграммы затухающих колебаний ее, то декремент затухания в случае наличия накладок будет во много раз больше, чем без них [5, 6].

Исследования проводились на алмазно-расточном станке марки 2А715 Одесского завода радиально-сверлильных станков. Конструкция расточной борштанги для этого станка с виброгасителем сухого трения показана на рис. 2. На борштанге имеются втулки с двумя буртиками.

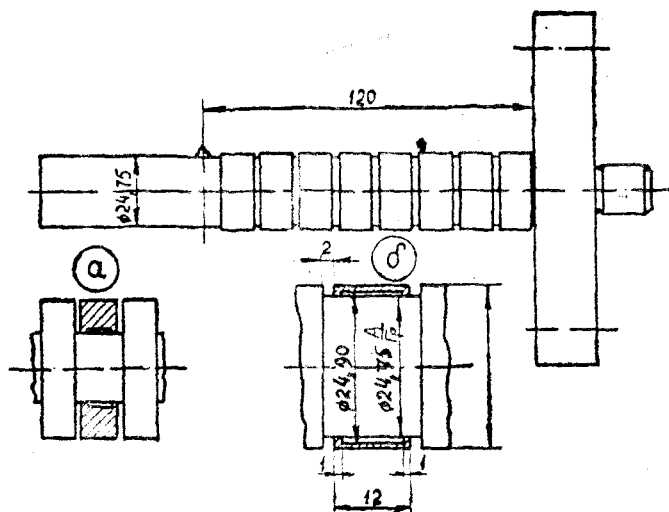


Рис. 2. Борштанга с виброгасителем.

На том же рисунке показаны втулки после напрессовки (а) и после механической обработки их непосредственно на борштанге (б).

При возникновении изгибных колебаний будут периодически изменяться длины крайних волокон борштанги, в результате чего наблюдается проскальзывание между борштангой и слабее напесованным буртиком втулки. Это повлечет за собой повышение рассеяния энергии и увеличение за счет этого виброустойчивости борштанги.

При возникновении крутильных колебаний причиной взаимного проскальзывания между борштангой и буртиками втулок является периодическое изменение величины угла закручивания борштанги. Таким образом, этот тип борштанги со встроенным виброгасителем сухого трения дает возможность гасить как изгибные, так и крутильные колебания.

На рис. 3 представлена схема проведения эксперимента на станке. При проведении опытов вращается только лишь правая расточная го-

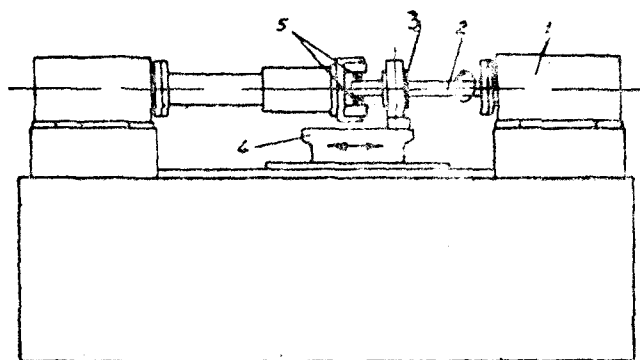


Рис. 3. Схема проведения эксперимента.

ловка 1 с испытуемой борштангой 2. К левой неподвижной головке крепится труба, вдоль которой может перемещаться втулка с индуктивными датчиками 5 на конце. Индуктивные датчики при помощи микрометрических винтов могут перемещаться независимо один от другого в радиальном направлении. При проведении опыта втулка с датчиками закрепляется неподвижно на трубе. Зазор между индуктивными датчиками и борштангой устанавливается при помощи щупов. Обрабатываемая втулка 3 в специальном приспособлении крепится к столу 4.

При проведении экспериментов имеется возможность регистрировать колебания конца борштанги в вертикальной плоскости. Сигнал от индуктивных датчиков подается на электронный усилитель, а с него на осциллограф типа МПО-2 и записывается им в виде виброграммы на пленку.

Для получения сравнимых результатов помимо борштанги с виброгасителем была испытана на тех же режимах сплошная борштанга того же диаметра и вылета до резца. При испытаниях менялись режимы (скорость резания V и подача S). Каждая серия опытов проводилась одним и тем же резцом для двух борштанг. Это дало возможность при сравнении результатов опытов исключить влияние геометрии резцов. Для проведения опытов были использованы применяемые для алмазно-расточных станков резцы, оснащенные пластинками твердого сплава.

Опытная расточка производилась на втулках из стали 45 и чугуна $H_B = 180 \div 200$.

В таблицах 1 и 2 даны режимы обработки и амплитуды наибольших колебаний конца борштанги в вертикальной плоскости в микронах с виброгасителем A_v и без виброгасителя A_c .

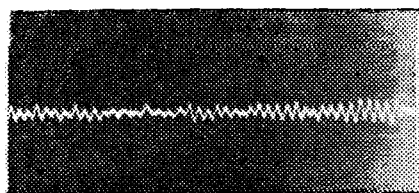
Таблица 1. Материал: сталь 45

$v, \text{м/мин}$	$t, \text{мм}$	$S, \text{мм/об}$	$A_c, \text{мк}$	$A_d, \text{мк}$	$\frac{A_c}{A_v}$
100	0,1	0,03	60	5	12
100	0,1	0,06	65	5	13
150	0,1	0,03	51	6	8,5
150	0,1	0,06	61	5	12
200	0,1	0,03	35	6	6
200	0,1	0,06	80	6	13

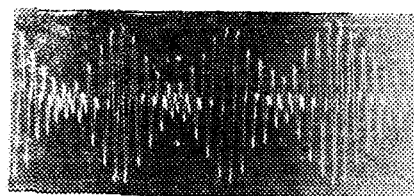
Таблица 2. Материал: чугун НВ = 180÷200

$v, \text{м/мин}$	$t, \text{мм}$	$S, \text{мм/об}$	$A_c, \text{мк}$	$A_v, \text{мк}$	$\frac{A_c}{A_v}$
100	0,1	0,03	30	3	10
100	0,1	0,06	30	3	10
150	0,1	0,03	20	3	7
150	0,1	0,06	40	3	13
200	0,1	0,03	35	6	6
200	0,1	0,06	40	6	7

На рис. 4 приведены виброграммы для чугуна при $V=200$ м/мин, $t=0,1$ мм, $S=0,03$ мм/об для борштанг с виброгасителем и без него.



а)



б)

Рис. 4. Виброграммы колебаний конца борштанги:

а) с виброгасителем,

б) без виброгасителя.

Из приведенных таблиц видно, что применение виброгасителя сухого трения ведет к уменьшению колебаний борштанг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эрлих Л. Б. Внутренний резонанс — одна из причин, способствующих появлению вибраций при обработке на станках, «Станки и инструмент», № 1, 1949.
 2. Яо Ли-пин. Изгибные и крутильные колебания консольной борштанги при растачивании, «Известия высших учебных заведений. Машиностроение», № 1, 1958.
 3. Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения. Машгиз, 1955.
 4. Решетов Д. Н., Левина З. М. Возбуждение и демпфирование колебаний в станках. Сб. Исследование колебаний в металлорежущих станках. Машгиз, 1958.
 5. Ревва В. Ф. Некоторые случаи конструктивного демпфирования низкоамплитудных колебаний. Труды Одесского технологического института, т. XIII, 1960.
 6. Калинин Н. Г., Лебедев Ю. А., Лебедева В. И., Пановко Я. Г., Страхов Г. М. Конструкционное демпфирование в неподвижных соединениях. Изд. АН Латв. ССР, 1960.
-

ГРЕКОВ Г. М.

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗ ЧУГУНА

1. Введение

В производственной практике предприятий недостаточно используются прогрессивные технологические методы термической обработки чугунных деталей (в частности зубчатых колес) для увеличения их срока службы. Это, в первую очередь, объясняется недостатком имеющихся данных для правильного подбора режимов термической обработки чугуна применительно к определенным условиям работы детали.

Наиболее рациональным видом термической обработки чугунных зубчатых колес для придания им высокой износостойкости в условиях работы открытых передач является изотермическая закалка.

Настоящие исследования проведены в лабораториях технологического института и на заводе стальных и пеньковых канатов города Одессы.

Основной задачей этой работы являлось экспериментальное исследование процесса изнашивания изотермически закаленных чугунов применительно к условиям работы реальных зубчатых пар открытых передач и определение рациональных режимов изотермической закалки, обеспечивающих наименьший износ рабочих профилей зубьев.

С целью сокращения сроков стендовых испытаний и дифференциального изучения влияния различных факторов на разрушение (износ) рабочих профилей зубьев было решено экспериментальное исследование износа в лабораторных условиях провести на роликах при полном воспроизведении на их поверхностях процесса зацепления пары моделируемых зубчатых колес.

Для выявления особенностей изнашивания рабочего профиля зубьев при испытаниях на роликах нами была предложена и использована новая методика экспериментов [1], позволяющая полностью воспроизвести на лабораторной машине ту же совокупность основных условий на поверхности трения, которые имеют место при службе реальной зубчатой пары и обеспечивают одинаковый процесс изнашивания.

Это послужило основанием к созданию оригинальной роликовой машины ОТИ [2], на которой были проведены стендовые испытания.

Теоретические обоснования роликовой аналогии и кинематический анализ процесса воспроизведения дают основания утверждать, что новая методика вполне приемлема для комплексных исследований износа зубчатых колес.

Работа выполнена на кафедре технологии металлов под руководством доктора технических наук Мальцева В. С.

Для проверки результатов экспериментов нами проведены производственные испытания и металлографические исследования.

В целях практического использования результатов исследования определены оптимальные режимы изотермической закалки чугунных зубчатых колес открытых передач, обеспечивающие наименьший износ в этих условиях.

На основании экспериментальных исследований и производственных испытаний разработана инструкция по промышленному использованию изотермической закалки зубчатых колес из чугуна.

Внедрение результатов исследований в производственную практику Одесского завода стальных и пеньковых канатов позволило повысить срок службы чугунных зубчатых колес прядильных машин в 5—8 раз.

2. Методика испытаний

Исследованиям износа применительно к зубчатым колесам открытого типа подвергались три марки чугуна в состоянии поставки и после рациональных режимов изотермической закалки.

Испытуемые чугуны имели следующий химический состав:

- 1) ВЧ 45-0 (с шаровидным графитом, модифицированный магнием). С—2,48; Si—3,4; Mn—0,8; S—0,01; P—0,05; Mg—0,025;
- 2) СЧ 18-36: С—3,7; Si—1,74; Mn—0,47; S—0,09; P—0,08;
- 3) СЧ 12-28: С—3,12; Si—0,94; Mn—0,72; S—0,09; P—0,06.

Образцы-ролики были вырезаны из сердцевины отливок одной плавки каждой из указанных марок чугуна.

Диаметры роликов $D_1=70$ мм и $D_2=140$ мм были выбраны в соответствии со средними приведенными радиусами кривизны эвольвент моделируемых профилей зубьев.

Воспроизводящий механизм роликовой машины позволял получить на поверхностях испытуемых роликов от 12 до 24 рабочих участков-профилей моделируемых зубьев применительно к зубчатой паре с передаточным отношением $i=2$ и модулем зацепления $m=5$ мм.

Малый ролик вращался со скоростью 720 об/мин. Скорость скольжения на поверхности имитируемых участков рабочих профилей зубьев изменялась от 0 до 0,6 м/сек в различных направлениях по обе стороны от полюсной линии. Каждый ролик имел две поверхности трения шириной по 5 мм. Максимальные контактные напряжения сжатия по линии первоначального касания роликов составляли: для ВЧ 45-0—33,6 кг/мм², для СЧ 18-36 и СЧ 12-28—31,5 кг/мм². Этап испытаний составлял $2,5 \cdot 10^5$ или $5 \cdot 10^5$ циклов и продолжался 5 часов 30 минут или 11 часов. Условия смазки роликов были выбраны в соответствии с аналогичным режимом смазки открытых зубчатых передач.

Контроль за изменением шероховатости поверхности в процессе изнашивания осуществлялся с помощью двойного микроскопа Линника и универсального профилографа «ВЭИ Калибр».

Основные исследования проводились на образцах из ВЧ 45-0 при различных режимах изотермической закалки (нагрев 900°, выдержка 40 минут, закалка в соляной ванне с температурным интервалом 200°—500°).

Сравнительным исследованиям в тех же условиях подвергались чугуны—СЧ 18-36 и СЧ 12-28.

Испытания на износ проводились на шести дорожках трения каждого вида.

На основании средних суммарных значений микрометрических измерений износа по 6-ти или 12-ти моделируемым профилям зубьев строились кривые износа и профилограммы дорожек трения после каждого этапа испытаний.

Исследования микроструктур, определение микротвердости и изучение механизма разрушения поверхностных слоев рабочего профиля ролика проводились на косых прецизионных шлифах с блокирующим устройством.

3. Результаты исследований

Как показали исследования, вид и характер износа рабочих участков испытываемых роликов, исследуемые с помощью настоящей методики, соответствуют действительному характеру изнашивания реальных зубчатых пар в данных условиях эксплуатации и отражают его специфические особенности.

На рис. 1 «а» и «б» показывают характерное распределение среднего износа по профилю моделируемого зуба ведущей шестерни из высокопрочного чугуна ВЧ 45-0 по этапам испытаний до и после рациональной изометрической закалки. На рис. 1 «в» и «г» — то же для серого чугуна марки СЧ 18-36.

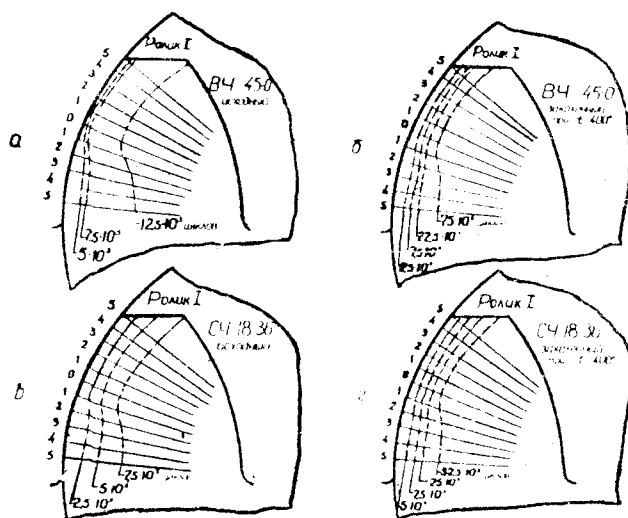


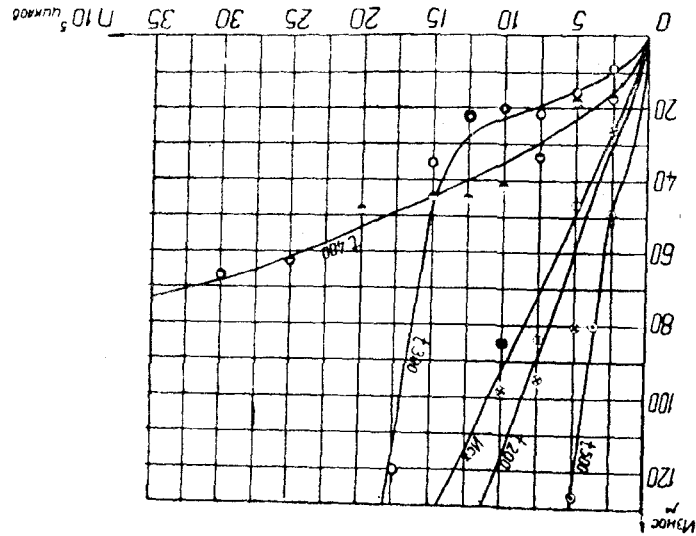
Рис. 1.

Анализируя приведенные профилограммы, следует отметить значительную неравномерность в распределении износа по профилю моделируемого зуба. В зоне полюса зацепления — относительно небольшой износ. У «вершины» головки зуба — износ увеличивается. Максимальный износ наблюдается на участке ролика, соответствующем ножке моделируемого зуба.

Характер распределения износа по профилю аналогичен для всех испытываемых марок чугунов, однако, как и следовало ожидать, интенсивность изнашивания высокопрочного чугуна значительно меньше, чем, в частности, для серого чугуна СЧ 18-36.

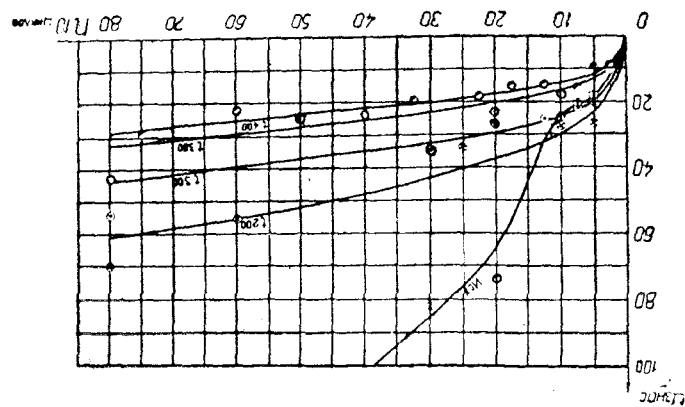
Износ всех структур закалки высокопрочного чугуна ВЧ 45-0 значительно ниже износа исходной структуры в установившемся рабочем режиме эксплуатации. Характерной особенностью кривых износа рационально изотермически обработанного чугуна является наличие полных длинных участков

Рис. 3.



а на рис. 3 и 4 представлены аналогичные зависимости для серых чугунов марок СЧ 18-36 и СЧ 12-28.

Рис. 2.



Результаты проведенных испытаний на износ отражены в виде кривых износа, по которым можно судить о влиянии температуры изотермической выдержки на изнашивание различных структур испытываемых чугунов применительно к условиям работы открытой зубчатой пары. На рис. 2 показаны кривые износа высокопрочного чугуна ВЧ 45-0.

ков установившегося износа после круто поднимающихся небольших участков приработки.

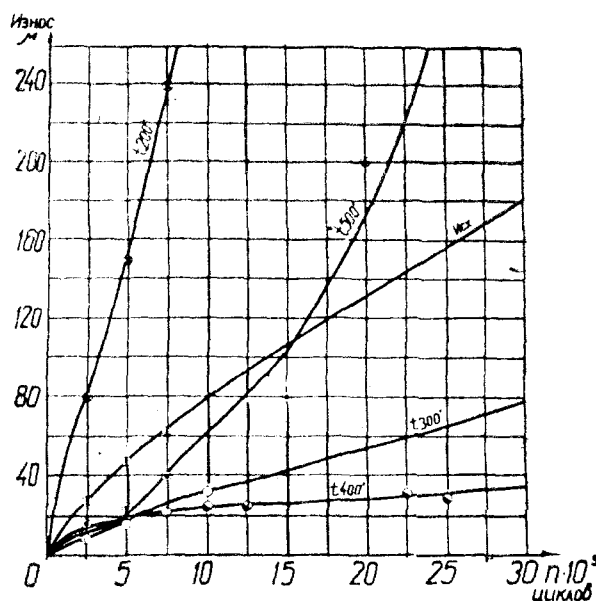


Рис. 4.

Сопоставление полученных результатов исследований износа, а также данные металлографического, микроструктурного анализа и механических испытаний дают возможность определить общий характер влияния режимов изотермической закалки на структуру, механические свойства и износостойкость чугунов в условиях работы открытых зубчатых пар.

Мартенситная структура закалки чугуна в ванне с $t=200^\circ$, будучи довольно твердой, придает значительную хрупкость и без того склонной к хрупкому разрушению структуре чугунов, поэтому мало пригодна для условий циклических нагрузок динамического характера, имеющих место при работе зубьев. Мало пригодна для работы в этих условиях также и неоднородная структура закалки при $t=500^\circ$, в особенности, применительно к серым чугунам марок СЧ 18-36 и СЧ 12-28.

Оптимальной по износостойкости (для всех исследованных марок чугунов) является промежуточная равномерная структура игольчатого троостита со значительным количеством остаточного аустенита, получаемая при изотермической закалке в среде с температурой $300-400^\circ$ и выдержкой в ней 30 минут.

В наших экспериментах достигнуто максимальное восьмикратное увеличение стойкости против износа по отношению к исходной в результате рациональной изотермической закалки.

Следует отметить, что закалку воспринимает даже низкий по качеству серый чугун марки СЧ 12-28, значительно повышая при этом свои механические свойства и, особенно, износостойкость.

Для проверки результатов лабораторных исследований были проведены производственные испытания шестерен из чугуна СЧ 21-40, за-

каленных по оптимальному режиму в изотермической среде с температурой 300° и выдержкой 30 минут.

Результаты производственных испытаний полностью подтвердили выводы лабораторных исследований.

Внедрение в производство изотермической обработки зубчатых колес и других деталей из чугуна не требует дорогостоящего оборудования и высококвалифицированной рабочей силы, поэтому может быть осуществлено в ремонтном цехе завода. Однако наиболее целесообразным следует считать проведение изотермической закалки непосредственно на машиностроительных заводах, поставляющих запасные детали из чугуна.

4. В ы в о ы

1. Используемая в настоящих исследованиях оригинальная роликовая машина и новая комплексная методика эксперимента позволяет полностью воспроизвести в лабораторных условиях действительный вид и характер изнашивания реальных зубчатых пар.

Наряду с сокращением сроков испытаний с помощью принятой методики можно исследовать особенности изнашивания рабочего профиля моделируемых зубьев на различных участках и изучить механизм износа контактирующих поверхностей на основании испытаний микротвердости и металлографического анализа явлений, происходящих в активных слоях рабочего профиля.

2. Одним из основных факторов, влияющих на разрушение (износ) трущейся поверхности материала зубьев открытых зубчатых колес из чугуна, является особый характер кинематического взаимодействия при контактировании зубьев, обуславливающий наличие зоны наименьшей контактной прочности на участке ножки ведущего зуба. Растягивающие напряжения от сдвига и смятия на этом участке, в некоторых случаях, будут лимитировать поверхностную прочность чугунов, которые, являясь относительно хрупким материалом, слабо сопротивляются циклическим растягивающим напряжениям динамического характера, имеющим место при работе зубьев.

3. Высокопрочный магниевый чугун с шаровидным графитом является с учетом применения изометрической закалки наиболее приемлемым материалом для открытых зубчатых колес и по износостойкости может вполне заменить стальное литье.

4. Изотермическая закалка открытых зубчатых колес из чугуна дает возможность получить наиболее вязкую и достаточно твердую структуру материала зубьев, обеспечивающую их наименьший износ в данных условиях эксплуатации наряду с незначительной трудоемкостью технологического процесса закалки.

5. Оптимальной по износостойкости структурой изотермической закалки чугуна является равномерная структура игольчатого троостита со значительным количеством остаточного аустенита (бейнит), получаемая при закалке в среде с температурой 300—400°С и выдержке в ней 30 минут. Имеются основания полагать, что хорошая износостойкость структуры бейнита в тяжелых условиях работы открытой зубчатой пары определяется способностью остаточного аустенита локализовать образующиеся трещины в глубине активного слоя, а также создавать условия для упруго-вязкого контакта при достаточно высокой твердости сопряженных профилей зубьев.

6. Изотермической закалке целесообразно подвергать зубчатые колеса из высокопрочного чугуна и более высоких марок серого чугуна, металлическая основа которых менее ослаблена графитными включениями и лучше воспринимает закалку. Однако, следует избегать наличия в структуре чугуна твердых включений фосфидной эвтектики, которая отрицательно влияет на износостойкость зубчатых колес открытого типа.

7. В результате применения рационального режима изотермической закалки износостойкость чугунных зубчатых колес открытых передач может быть увеличена в 5—8 раз.

8. Опыты показали ошибочность распространенного в практике проектирования чугунных зубчатых колес мнения о том, что с увеличением твердости уменьшается износ.

В наших исследованиях закаленных роликов наименьший износ наблюдался при некотором снижении твердости. И, наоборот, при большой твердости износ увеличивался.

9. Стремление к минимальной шероховатости исходной поверхности зубьев не приводит к уменьшению износа.

Это можно объяснить тем, что в период приработки обкатываемые профили зубьев с большей шероховатостью, постепенно сглаживаясь, выделяют графитную смазку, способствующую дальнейшему уменьшению износа и его стабилизации, чего не наблюдается при износе довольно гладких чугунных поверхностей ($\nabla 8 \div \nabla 9$).

Шероховатость $5 \nabla \div \nabla 6$ можно считать оптимальной для исходной поверхности рабочего профиля зубьев зубчатых колес из чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Греков Г. М., Мальцев В. Ф. Методика испытаний на роликовой машине. Труды конференции по вопросам расчета, конструирования и исследования зубчатых передач, том III, Одесса, 1958 г.
2. Мальцев В. Ф., Греков Г. М. Машина для определения поверхностного износа на роликовых образцах. «Приборы и стенды», ВИНТИ АН СССР. Москва. 1956 г.

ТЕПЛОТЕХНИКА

ВЕРХИВКЕР Г. П., ШЕВЧЕНКО Г. З.

О ПОВЫШЕНИИ КПД МОЩНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Одним из способов повышения кпд газотурбинных установок является понижение средней температуры отвода тепла к холодному источнику, которое может быть осуществлено только за счет дополнительного использования отработавшего тепла в силовом энергетическом цикле.

Наиболее целесообразно использование в качестве рабочего агента дополнительного цикла низкокипящего вещества, так как тогда уменьшаются энергетические потери при теплообмене между отработавшим газом или воздухом и этим веществом (ввиду отсутствия изотермического участка испарения) и повышается степень утилизации отбросного тепла.

Схема такого бинарного парогазового цикла, предложенного проф. Д. П. Гохштейном [1], представлена на рис. 1. Газовая часть такого цикла — установка ГТ-100-750. В паровой части цикла используется фреон-12. Кпд такой бинарной схемы получается равным 41,67%, что соответствует повышению экономичности ГТУ на ~ 8%.

Выбор в качестве рабочего агента фреона-12 объясняется тем обстоятельством, что фреон-12 является одним из наиболее дешевых и наиболее распространенных низкокипящих веществ, широко применяемых в холодильной технике.

Для наиболее эффективного использования отбросного тепла газотурбинной установки число ступеней сжатия, общая степень сжатия и разбивка перепадов по ступеням сжатия и расширения должны быть выбраны оптимальными. С этой целью предлагается следующая методика.

Путем вариантных расчетов определяется оптимальное давление фреона, соответствующее максимальной работе, при нескольких значениях начальной температуры. Зависимость между полезной работой фреоновой турбины и начальной температурой фреона представлена в графической форме на рис. 2.

Для приближенного учета влияния изменения полезной работы фреонового цикла на кпд парогазовой схемы кривая II рис. 2 может быть заменена прямой (показана пунктиром). В таком случае на определенном участке эта зависимость может быть выражена аналитически следующим образом:

$$AL_{\phi} = B + b(T_0 - T_b),$$

где B — значение полезной работы фреонового контура при начальной температуре рабочего тела $T_0 = T_b$.

Значения B и b могут быть найдены из графика рис. 2.

Работа выполнена на кафедре теплотехники под руководством доктора технических наук профессора Гохштейна Д. П.

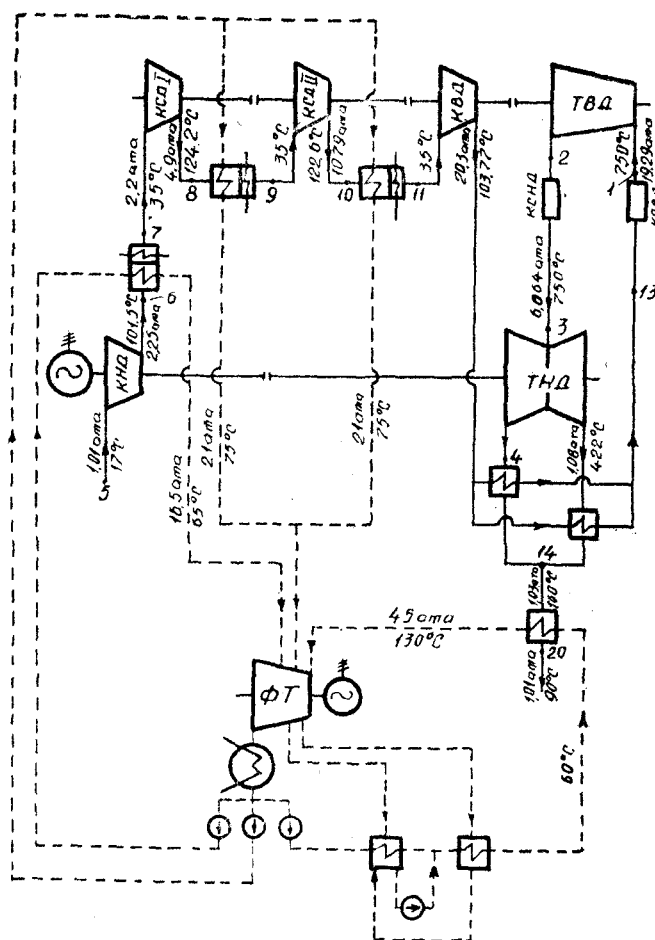


Рис. 1. Схема бинарной парогазовой установки с заводским вариантом ГТ-100-75

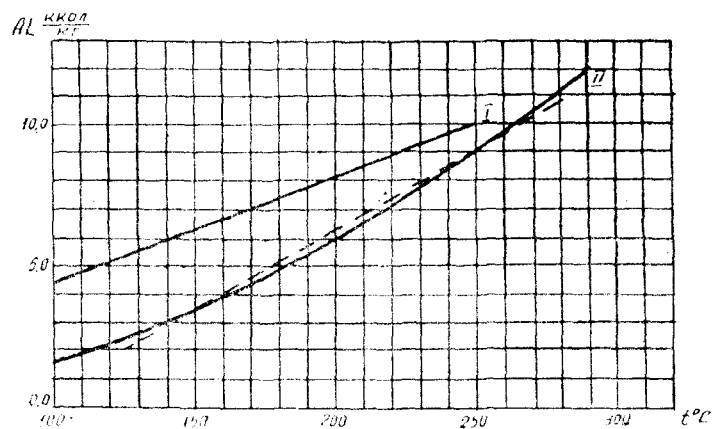


Рис. 2. Зависимость максимальной полезной работы фреоновой турбины от температуры: кривая I — на 1 кг. фреона; кривая II — на 1 кг. воздуха.

Начальная температура фреона, подогреваемого отработавшими газами, определяется температурой газа после регенератора, а фреона, подогреваемого в прохладителях — температурой воздуха после соответствующей ступени сжатия. Таким образом полезная работа фреоновой турбины на 1 кг воздуха может быть выражена как

$$AL_{\text{ф}} = f(\sigma_{1\text{к}}, \mu, \sigma_{\text{к}}, \sigma_{\text{тнд}}).$$

где: $\sigma_{1\text{к}}$ — степень сжатия компрессора, после которого устанавливается прохладитель для подогрева фреона;

μ — степень регенерации газотурбинной части;

$\sigma_{\text{к}}$ — общая степень сжатия;

$\sigma_{\text{тнд}}$ — степень расширения турбины низкого давления.

Учитывая вышеизложенное, КПД парогазовой схемы может быть записан (при постоянных значениях $\eta_{\text{к}}, \eta_{\text{oi}}, \eta_{\text{кс}}, \eta'_{\text{м}}, \eta_{\text{т}}$ и температурного напора во фреоновых подогревателях) как $\eta_{\text{эл}} = \varphi(\sigma_{\text{к}}, \sigma_{1\text{к}}, \sigma_{2\text{к}} \dots \sigma_{1\text{к}}, \mu, \sigma_{\text{тна}}, \sigma_{\text{твд}})$.

Для определения оптимальной общей степени сжатия и оптимальной по КПД разбивки перепадов по ступеням сжатия и расширения при фиксированной степени регенерации необходимо определить частные производные от $\eta_{\text{эл}}$ по соответствующим переменным и приравнять полученные выражения 0. Совместное решение полученной системы уравнений дает для случая 3-ступенчатого сжатия и 2-ступенчатого расширения следующие выражения для общей степени сжатия и разбивки перепадов по ступеням сжатия и расширения:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{к}} &= \left(\frac{\tau^2 \cdot \eta_{\text{к2}}^2 \cdot p^3 n^3}{\tau'^2 \cdot \eta_{\text{к1}}^2 \cdot a^4 \cdot c^2} \right)^{\frac{1}{5m}}; & \sigma_{1\text{к}} &= \frac{\sigma_{\text{к}}}{\sigma_{\text{к2}} \cdot \sigma_{\text{к3}}}; \\ \sigma_{2\text{к}} &= \left(\frac{\tau^4 \eta_{\text{к2}}^4 \cdot p \cdot n \cdot c}{\tau'^4 \cdot \eta_{\text{к1}}^4 \cdot a^3} \right)^{\frac{1}{5m}}; & \sigma_{\text{т}} &= \sigma_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{гнд}}; \\ \sigma_{3\text{к}} &= \left(\frac{\tau' \cdot \eta_{\text{к1}} \cdot p \cdot n \cdot a^2}{\tau \cdot \eta_{\text{к2}} \cdot c^4} \right)^{\frac{1}{5m}}; & \sigma_{\text{т}} &= \sigma_{\text{т1}} \cdot \sigma_{\text{т2}} \\ \sigma_{2\text{т}} &= \left(\frac{\tau \cdot \eta_{\text{к2}} \cdot p^4}{\tau' \eta_{\text{к1}} \cdot a^2 \cdot n \cdot c} \right)^{\frac{1}{5m}}; \end{aligned}$$

В этих уравнениях:

$$\begin{aligned} c &= \frac{\tau'}{\eta_{\text{к3}}} \left[\frac{1}{\eta_{\text{мк}}} - \mu \left(\frac{b}{c_p} - \eta_{\text{пг}}^{\text{max}} \right) - \eta_{\text{пг}}^{\text{max}} \right]; \\ a &= \frac{\tau}{\eta_{\text{к1}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{мк}}} - \frac{b}{c_p} \right); \quad n = \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{гнд}}^{-m} (\eta_{\text{мт}} - \eta_{\text{пг}}^{\text{max}}); \\ p &= \varphi \cdot \eta_{\text{oi2}} \left[\eta_{\text{мт}} - \frac{b}{c_p} + \mu \left(\frac{b}{c_p} - \eta_{\text{пг}}^{\text{max}} \right) \right]; \quad \tau = \frac{T_5}{T_1}; \\ \varphi &= \frac{T_5}{T_1}; \quad \varphi = \frac{T_3}{T_1}; \quad \tau' = \frac{T_7}{T_1} = \frac{T_9}{T_1} = \frac{T_4}{T_1}; \\ \mu &= \frac{T_5 - T_{12}}{T_4 - T_2} = \frac{T_4 - T_6}{T_4 - T_2}; \end{aligned}$$

m — показатель политропы расширения;

c_p — средняя теплоемкость воздуха в интервале температур $T_1 \div T_5$. Обозначение точек даны по рис. 1.

Аналогично могут быть получены выражения для схем с любым числом ступеней сжатия и расширения.

Во всех этих выражениях в той или иной форме содержится величина $\eta_{\text{пг}}^{\text{max}}$ — максимальный кпд парогазовой схемы. Этой величиной приходится вначале задаваться, а затем, получив искомые величины степеней сжатия и расширения, проверить правильность предварительной оценки. При небольшом отклонении предварительно оцененного значения $\eta_{\text{пг}}^{\text{max}}$ от полученного после разбивки перепадов по вышеуказанным формулам пересчета производить не следует, так как даже большая ошибка в $\eta_{\text{пг}}^{\text{max}}$ незначительно сказывается на искомых величинах.

По приведенным формулам были выбраны степени сжатия и расширения и просчитаны 3 схемы: с 4-мя, 3-мя и 2-мя степенями сжатия. В результате удалось получить кпд парогазовой схемы при 4-ступенчатом сжатии — 42,2%, при 3-ступенчатом — 42,93% и при 2-ступенчатом — 42,6%, что значительно выше кпд заводского варианта схемы ГТ-100-750 (38,34% по данным Ленинградского металлического завода). На рис. 3 представлена схема наиболее оптимального варианта — с 3-ступенчатым сжатием.

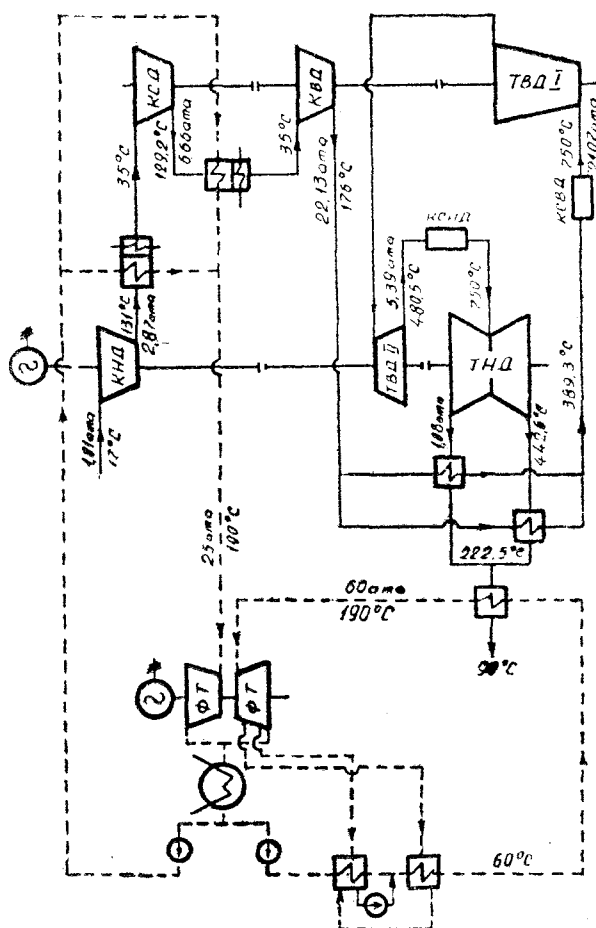


Рис. 3. Схема ОТИ бинарной парогазовой установки на базе ГТ-100-750.

В таблице 1 представлены результаты расчета этих схем, а также парогазовой схемы, в газовой части которой использован заводской вариант установки ГТ-100-750 (см. рис. 1). В литературе было опубликовано предложение проф. В. В. Уварова по созданию ГТУ большой мощности и приводилось сравнение этой схемы по экономическим показателям с установкой ГТУ-100-750 ЛМЗ [2].

Таблица 1

№ п.п.	Наименование величин	Обозначение	Размеры	Схема рис. 1	Парогазовая схема на базе ГТ-100-750			Парогазовая схема на базе ГТУ профессора Уварова		
					4 ступени сжатия	3 ступени сжатия	2 ступени сжатия	4 ступени сжатия	3 ступени сжатия	2 ступени сжатия
1	Общая степень сжатия	π_k	—	21	28,5	22,8	13	174	107	40,5
2	Мощность газовой части	$N_{гг}$	мвт	100	146,5	100	51,3	157	135,8	99
3	Мощность фреоновой приставки	$N_{фт}$	"	8,685	13,5	13,7	9,7	32,3	32,8	74,6
4	Суммарная мощность парогазовой установки	$N_{пгу}$	"	108,685	160	117,1	61,0	189,3	168,6	129,32
5	Кпд парогазовой схемы	$\eta_{э}$	—	41,671	42,2	42,97	42,68	42,7	42,86	42,7
6	Относительное увеличение кпд	$\Delta\eta$	—	7,99	9,14	10,75	10,15	15,45	15,75	15,45

Особенностью схемы В. В. Уварова является отсутствие регенератора и повышенная степень сжатия. Электрический кпд такой схемы составляет 36,1% (при тех же значениях кпд турбомашин, что и в схеме ГТ-100-750 ЛМЗ). Были проведены расчеты 3-х вариантов схем В. В. Уварова с 4-мя, 3-мя и 2-мя ступенями сжатия. Наибольший кпд получен в схеме с 3-мя ступенями сжатия (см. рис. 4)—42,86%. Результаты расчетов также приводятся в таблице 1. Выбор общей степени сжатия и разбивка перепадов по ступеням сжатия и расширения приведены по формулам, выведенным по вышеизложенной методике.

Для рассмотренных парогазовых схем были произведены расчеты основного и вспомогательного оборудования паровой части: фреоновой турбины, подогревателя для использования тепла отходящих газов, промохладителей компрессоров и фреонового конденсатора.

Фреоновая турбина — конденсационная, реактивного типа, с 3—4 ступенями, в зависимости от начальной температуры фреона. Турбина получается очень компактной: при среднем диаметре 0,5—0,56 м высота лопатки последней ступени равна 130 мм. Длина турбины мощностью 15—18 мвт равна 2 м. Такая компактность объясняется малым располагаемым перепадом фреона и малыми удельными объемами фреона на выходе (противодавление 6 ата).

Внутренний относительный кпд турбины получился $\eta_{от} = 0,85$.

Одной из основных трудностей при выполнении фреоновой турбины является уплотнение концов вала, так как фреон обладает большой текучестью, а утечки фреона недопустимы. В качестве одного из вариантов концевое уплотнения может быть применено сальниковое уплотне-

ние, встречающееся во фреоновых компрессорах в холодильной промышленности [3].

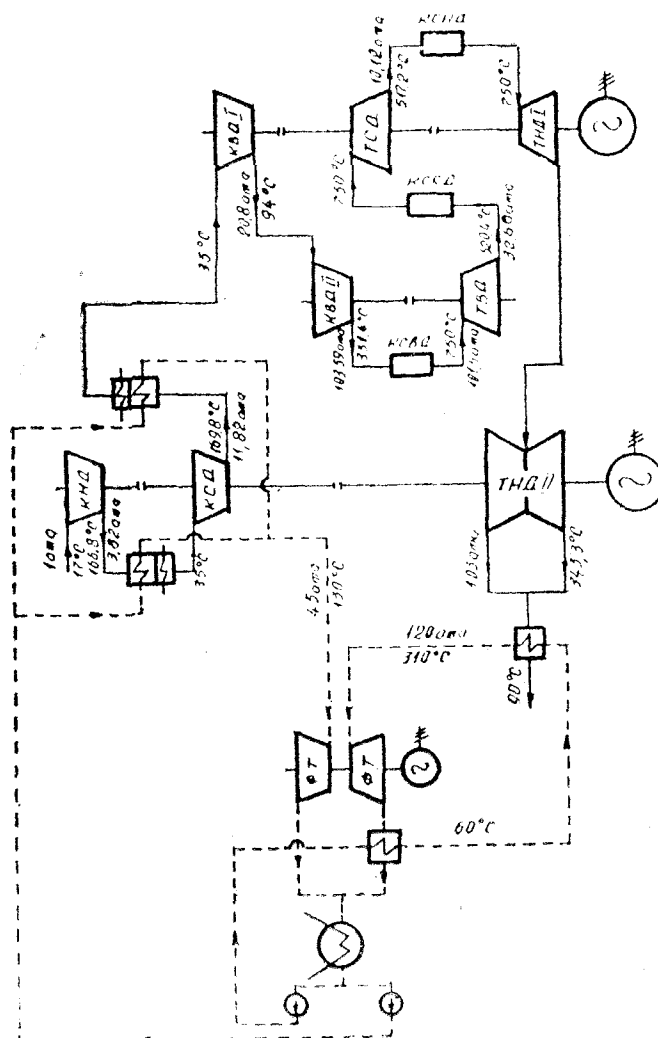


Рис. 4. Схема бинарной парогазовой установки.
Газотурбинная часть предложена В. В. Уваровым.

Конструкция всех подогревателей фреона принята одинаковой. Подогреватели змеевикового типа из стальных ребристых труб $\varnothing 16/12$ мм. Оребрение трубок выполнено стальной лентой, навиваемой на трубы. Расположение труб ромбическое, шахматное, высота ребра 4 мм.

Конденсатор состоит из 4 корпусов диаметром $\varnothing 3$ м, общим весом до 90 т. Диаметр трубок 18/16 мм, трубки латунные, оребрены спиральной лентой толщиной 0,5 мм и высотой 10 мм. Значительно более компактная конденсационная установка может быть получена, если кон-

денсацию фреона проводить внутри трубок, причем скорость конденсирующегося потока принять равной 2—5 м/сек, а диаметр трубок — 5—8 мм. В таком случае конденсатор набирается из нескольких пучков труб, которые могут быть помещены в канал для воды или вынесены из машинного зала. Однако для расчета теплоотдачи в этом случае необходимы специальные исследования.

Для бинарной парогазовой схемы, представленной на рис. 3, вес трубной системы воздухоохладителей низкого и среднего давления составит 74 т, вес трубной системы газохладающего подогревателя — 122 т и конденсатора — 80 т.

Для определения экономической целесообразности бинарной парогазовой схемы проведен ориентировочный технико-экономический расчет по определению капитальных затрат и их окупаемости при различной стоимости топлива. Отсутствие данных по ценам дополнительного теплосилового оборудования значительно усложняет такие расчеты. Стоимость отдельных узлов паровой части схемы была определена сопоставлением веса нового оборудования с весом и стоимостью соответствующего оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью. Цены на оборудование и монтаж взяты по прейскурантам и ценникам 1955 г. Расчеты показали, что бинарная парогазовая схема безусловно целесообразна при сжигании мазута и при стоимости газа $0,8 \frac{\text{коп.}}{\text{нм}^3}$ и выше (в ценах с I/I-1961 г.). При этой стоимости газа дополнительные капиталовложения в установку окупаются в течение 5 лет. При стоимости газа $1,2 \frac{\text{коп.}}{\text{нм}^3}$ срок окупаемости снижается до 2,5 лет.

В целом вопрос о пристройке к ГТУ нижней ступени должен решаться для конкретной станции.

Выводы

1. Утилизация всего отбросного тепла ГТ-100-750 в силовом фреоном цикле повышает кпд схемы на 8%.

2. Для получения оптимальной по экономичности парогазовой схемы разбивка перепадов и выбор общей степени сжатия должен быть произведен по предлагаемым формулам. При этом кпд может быть повышен до значения $\approx 43\%$, что составляет уменьшение на 11% расхода топлива на ГТУ-100-750.

3. Для фреоновой нижней ступени наиболее целесообразна установка с тремя ступенями сжатия. Переход к двум ступеням сжатия приводит к небольшому снижению кпд, но значительному снижению мощности (до 51 мвт) и поэтому нецелесообразен.

4. Использование отбросного тепла безрегенераторной ГТУ, работающей на схеме В. В. Уварова в силовом цикле с низкокипящим веществом, позволяет повысить кпд схемы до — 42,8% (при кпд газотурбинной части 36,1%). Такая бинарная парогазовая установка как по единичной мощности, так и по капиталовложениям и эксплуатационным расходам вполне конкурентоспособна и даже превосходит современные паротурбинные установки.

5. Установка пристройки целесообразна при стоимости газа больше $0,8 \text{ коп./нм}^3$ или при сжигании в установке малосернистого мазута.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гохштейн Д. П. К проблеме повышения КПД мощных газотурбинных установок. «Теплоэнергетика», № 12, 1960 г.
 2. Уваров В. В., Чернобровкин, Бекнев. К вопросу создания ГТУ большой мощности. «Теплоэнергетика», № 9, 1959 г.
 3. Розенфельд Л. М. и Ткачев А. Г. Холодильные машины, Госторгиздат. 1960 г.
-

ДЕХТЯРЕВ В. Л.

К СОЗДАНИЮ ЭКОНОМИЧНОГО ЦИКЛА ТЕПЛОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Термодинамический анализ циклов теплосиловых установок позволяет выявить их основные, принципиальные преимущества и недостатки и наметить возможные пути их улучшения. В частности, большие возможности в этом направлении открываются при использовании энтропийного метода расчета энергетических потерь, разработанного доктором технических наук профессором Д. П. Гохштейном [1].

Согласно этому методу энергетическая потеря из-за наличия какой-либо необратимости процесса или процессов в цикле равна

$$T_0 \times \delta S, \quad (1)$$

где: T_0 — абсолютная температура холодного источника $^{\circ}\text{K}$, δS — полное приращение энтропии $\delta S \times G - \frac{\text{ккал.}}{^{\circ}\text{C} \times \text{час.}}$ и снижение кпд цикла из-за наличия этой необратимости

$$\Delta \eta = \frac{T_0 \times \delta S}{Q_1} \quad (2)$$

Здесь Q_1 — количество подведенного тепла, $\frac{\text{ккал}}{\text{час.}}$.

Таким образом этот метод позволяет оценить влияние каждого процесса в цикле на его кпд, что при обычном методе балансов тепла возможно осуществить лишь после расчетов полного кпд установки. Кроме того, используя этот метод, можно установить прямую зависимость между разностью температур в любом теплообменнике установки и ее кпд.

Рассмотрим процесс передачи тепла в одном из теплообменников теплосиловой установки на диаграмме $T-S$ (см. рис. 1). Принимаем, что процессы квазистатические. По [1] снижение кпд установки из-за наличия теплообмена с конечной разностью температур

$$\Delta \eta = \frac{T_0 \times [(S'_2 - S'_1) - (S_1 - S_2)]}{Q_1} \quad (3)$$

В то же время среднетермодинамические температуры теплоносителей соответственно равны

Работа выполнена на кафедре теплотехники под руководством доктора технических наук профессора Гохштейна Д. П.

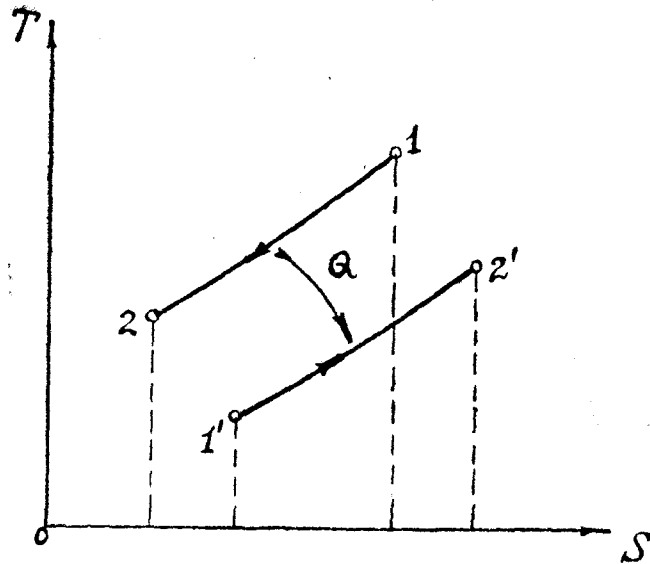


Рис. 1. Процесс теплообмена на диаграмме T—S.

$$T_{1\text{ ср}} = \frac{Q}{S_1 - S_2} \quad \text{и} \quad T'_{\text{ср}} = \frac{Q}{S'_2 - S'_1} \quad (4)$$

Откуда $S_1 - S_2 = \frac{Q}{T_{1\text{ ср}}}$ и $S'_2 - S'_1 = \frac{Q}{T'_{\text{ср}}}$ После подстановки в (3)

$$\Delta\eta = \frac{T_0 \times Q}{Q_1} \left(\frac{1}{T'_{\text{ср}}} - \frac{1}{T_{1\text{ ср}}} \right) = T_0 \cdot \psi \left(\frac{T_{1\text{ ср}} - T'_{\text{ср}}}{T_{1\text{ ср}} \times T'_{\text{ср}}} \right) \quad (5)$$

$$\text{Здесь } \psi = \frac{Q}{Q_1}.$$

Как следует из уравнения, снижение кпд цикла в процессе теплообмена пропорционально разности среднетермодинамических температур теплоносителей и обратно пропорционально их произведению. Очевидно это относится к любому теплообменнику установки и для процессов теплообмена с внешними источниками тепла (например, в котле и конденсаторе) и для процессов теплообмена внутри самого цикла (например, регенеративных подогревателей).

Это уравнение показывает целесообразность максимального повышения средней температуры подвода тепла в цикле, снижения в нем средней температуры отвода тепла и снижения температурных напоров в промежуточных теплообменниках установки.

Сокращение температурных напоров в теплообменниках вызывает рост их поверхностей нагрева. Поэтому максимальное сокращение температурных напоров допустимо в тех циклах, где возможно получить высокие коэффициенты теплоотдачи: при достаточно высоких давлениях в цикле или где теплообмен происходит в жидкой фазе. При фиксированной разности средних температур, чем ниже температурный уровень теплоносителей, тем больше снижение кпд цикла. Таким образом, важ-

но снижение разностей температур в нижней части цикла, в особенности, в процессе отвода тепла с холодным источником. Разность среднетермодинамических температур не совпадает точно со средним температурным напором при расчете теплообменников по формуле $Q = k \times F \times \Delta t$.

Кроме других условий температурный напор зависит от характера взаимного движения теплоносителей (прямоток, противоток, перекрестный ток и т. д.). Но, как показывают расчеты, разность средних температур близка к среднему температурному напору при чистом противотоке, который чаще всего применяется, и поэтому эта разность может быть использована для приблизительной оценки влияния теплообмена на кпд установки.

Существенное влияние на кпд цикла оказывает отношение работ сжатия и расширения. Из отношения $\eta_{эл} = \frac{\eta_t \times \eta_{ку} \times \eta_{г}}{\eta_{н} \times \eta_{мн}} \left(1 - \frac{\eta_{ол} \times \eta_{н} \times \eta_{мт} \times \eta_{мн}}{1 - \varphi} \right)$

[2] видно, что чем больше $\varphi = \frac{AL_{сж}}{AL_p}$, тем больше, при фиксированных внутренних кпд машин, снижение эффективного кпд по сравнению с термическим. Это видно также из формул (1) и (2), так как, чем больше работа сжатия и расширения и ниже кпд машин, тем больше $\delta S_{сж}$ и $\delta S_{расш}$.

Проанализируем с описанных позиций паротурбинный и газотурбинный циклы.

В паротурбинном цикле энергетическая потеря от теплообмена с холодным источником (в конденсаторе) минимальна, так как среднетермодинамическая температура конденсации близка к температуре холодного источника. Также работа сжатия цикла, проходящая в жидкой фазе, минимальна, и поэтому невелико снижение кпд установки из-за наличия необратимости при сжатии — $\delta S_{сж}$. Но в паротурбинном цикле из-за наличия участка парообразования с пониженной температурой среднетермодинамическая температура рабочего тела в процессе подвода тепла понижена. Повышение начального давления, в том числе сверхкритического, и осуществление промперегрева снижает, но не устраняет из-за ограничений в развитии регенерации этот недостаток. С приближением давления в отборе к критическому основная часть тепла передается в регенеративном подогревателе от перегретого пара с повышенными температурными напорами. Снижение кпд из-за увеличения температурных напоров в подогревателях при малой полезной работе отборного пара не компенсируется повышением средней температуры подвода тепла в цикле. Поэтому максимальный уровень конечной температуры регенеративного подогрева питательной воды в пароводяных установках составляет примерно 300—330°C.

При введении промперегрева температурные напоры и необратимость теплообмена в регенеративных подогревателях, расположенных по ходу пара за промперегревом, увеличиваются. С повышением начальной температуры кпд паротурбинного цикла растет медленно. Это объясняется тем, что при фиксированной конечной температуре регенеративного подогрева средняя температура подвода тепла растет медленнее начальной, а также тем, что с ростом начальной температуры температурные напоры в регенеративных подогревателях повышаются.

В газотурбинном цикле нет ограничений в термодинамических свойствах рабочего тела, препятствующих развитию регенерации, и в нем может быть достигнута повышенная средняя температура подвода теп-

ла. Но в этом цикле в результате повышенной средней температуры уходящих газов и воздуха в холодильниках велико снижение кпд в процессе отвода тепла с холодным источником. Кроме того, при большой работе сжатия энергетическая потеря от необратимости при сжатии $T_0 \times \sum S_{сж}$ повышена.

Стремясь объединить преимущества паротурбинного и газотурбинного циклов, проф. Д. П. Гохштейн предложил циклы на низкокипящих веществах, в частности, на углекислоте [3].

Идея одного из циклов Гохштейна (см. рис. 2) состояла в том, чтобы опустить нижнюю часть цикла, где происходит отвод тепла и сжатие, в область ниже критической точки.

При этом осуществляется конденсация рабочего тела (точки 8—1) и сжатие его в жидкой фазе (1—2). Верхняя часть цикла выполнена подобной верхней части циклов газотурбинных установок. Конденсация рабочего тела в цикле Д. П. Гохштейна обеспечивает низкую среднюю температуру отвода тепла и уменьшает необратимость при сжатии.

Однако в циклах с пониженной работой сжатия, у которых верхняя часть находится высоко в надкритической области, где свойства рабочего тела приближаются к свойствам идеального газа, нельзя осуществить даже теоретически полной регенерации. В этой области изоэнтальпы веществ на диаграмме $T-S$ приближаются к изотермам. При полной регенерации, то есть при равенстве температур потоков рабочего тела на горячем конце регенератора $t_3=t_7$ энтальпии их также равны $i_3=i_7$ и количество подведенного в цикле тепла равно работе расширения $Q_1=AL_p$. Тогда кпд цикла может быть записан

$$\eta = \frac{AL_p - AL_{сж}}{Q_1} = \frac{Q_1 - AL_{сж}}{Q_1} \quad (6)$$

Так как работа жидкостного сжатия мала, кпд цикла в этих условиях достигал бы 1, то есть был выше кпд цикла Карно, что невозможно. Следовательно, обязательным условием снижения работы сжатия в подобных циклах является снижение возможной регенерации тепла. Это требование второго закона термодинамики выполняется благодаря большим значениям теплоемкостей веществ на изобарах в надкритической области. В связи с этим повышение в регенераторе температуры потока рабочего тела высокого давления значительно меньше снижения температуры потока низкого давления, и даже при малом температурном напоре на холодном конце регенератора температурный напор на горячем конце очень велик (см. рис. 2).

Пониженная регенерация в цикле с жидкостным сжатием приводит к понижению кпд вследствие снижения среднетермодинамической температуры подвода тепла и повышения температурных напоров в регенераторе. В [4] предложено улучшение цикла Д. П. Гохштейна (см. рис. 3 и 4) путем введения второй газообразной фазы сжатия в компрессоре К (1—2) и осуществления комбинированной регенерации, при которой тепло к изобаре высокого давления с большими теплоемкостями (5—6) передается от двух изобар — низкого (12—1) и среднего давления (2—3) до и после компрессора К.

Введение комбинированной регенерации позволило как бы удвоить теплоемкость рабочего тела при охлаждении, пройти надкритическую область с высокими теплоемкостями без повышения температурных напоров в комбинированном регенераторе P_2 .

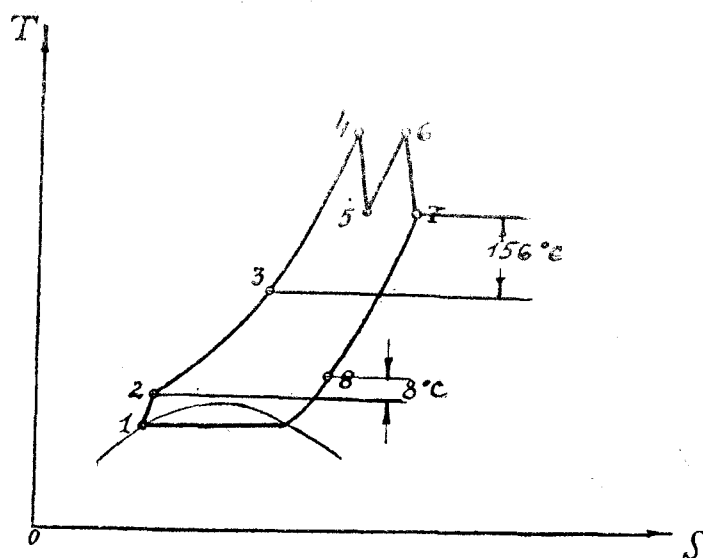


Рис. 2. Цикл Д. П. Гохштейна с жидкостным сжатием на диаграмме $T-S$.

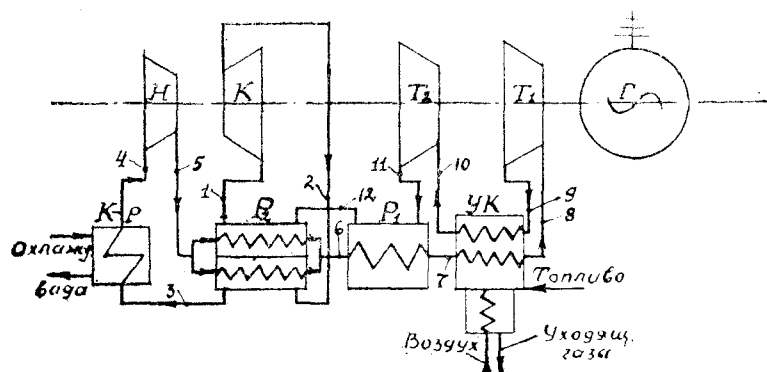


Рис. 3. Схема углекислотной установки с комбинированной регенерацией. УК—углекислотный котел, T_1 —турбина высокого давления, T_2 —турбина низкого давления, К—компрессор, Н—насос, Г—генератор, P_1 —основной регенератор, P_2 —дополнительный регенератор, К-р—конденсатор.

В основном регенераторе P_1 разница в теплоемкостях невелика. В результате, в цикле с комбинированной регенерацией достигается высокая общая степень регенерации и высокая средняя температура подвода тепла. При этом в цикле сохраняется низкая средняя температура отвода тепла, так как тепло отводится только в конденсаторе. Наличие жидкостного сжатия снижает энергетическую потерю из-за необратимости при сжатии, которая в этом цикле значительно ниже, чем у газотурбинных установок.

Комбинированная регенерация позволила резко сократить разность температур регенеративного теплообмена, в особенности в области пониженных температур, что, как было показано, наиболее существенно влияет на кпд. В этом цикле температурный напор снизился до $12,5^\circ/16^\circ\text{C}$

в комбинированном регенераторе и до 33°C в основном регенераторе по сравнению с 85°C в регенераторе цикла с жидкостным сжатием.

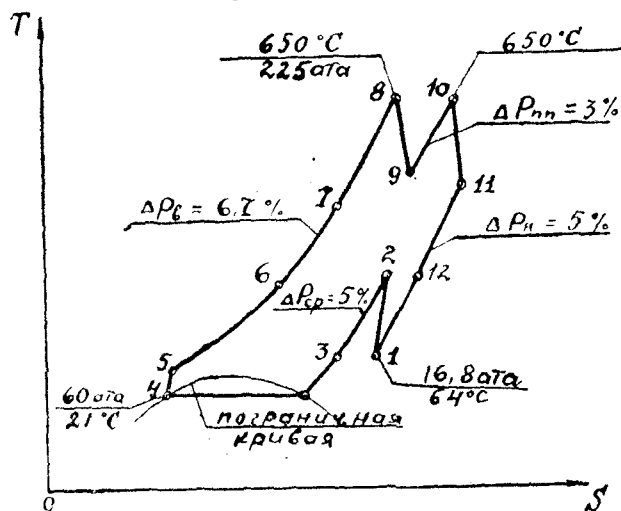


Рис. 4. Цикл углекислотной установки с комбинированной регенерацией на диаграмме T-S.

Кпд машин $\eta_{01T} = \eta_{01K} = 0,9$; $\eta_{01H} = 0,82$ $\eta_{MT} = \eta_{MK} = \eta_{MH} = 0,995$.

При применении углекислоты в качестве рабочего тела цикл с комбинированной регенерацией работает при высоких давлениях 240 ÷ 17 ата, что обеспечивает высокую теплопередачу в регенераторах и позволяет снизить температурные напоры без чрезмерного повышения поверхностей нагрева.

В этих условиях снижение кпд установки из-за наличия разности температур в регенераторах минимально.

Все отмеченные принципиальные особенности цикла, в котором объединяются преимущества паротурбинного и газотурбинного циклов, создают условия для достижения высокого кпд установок при его применении. Так при начальных параметрах 225 ата 650°/650°C кпд нетто углекислотной установки по схеме рис. 3 и 4 на твердом топливе составляет 45%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гохштейн Д. П. Энтропийный метод расчета энергетических потерь. Госэнергоиздат, 1951.
2. Гохштейн Д. П. и Верхивкер Г. П. Проблема повышения кпд паротурбинных электростанций. Госэнергоиздат, 1960.
3. Гохштейн Д. П. Авторское свидетельство № 59491, кл. 14h, 6 от 31 марта 1941 г.
4. Дехтярев В. Л. Тезисы доклада на расширенном заседании постоянной комиссии ГНТК СМ УССР по внедрению газовых турбин и парогазового цикла в энергетику Украины. Изд. ГНТК СМ УССР, Одесса, 1959.

ОЛЕСЕВИЧ Е. К.

СНИЖЕНИЕ КОНЦЕВЫХ ПОТЕРЬ В ПРОФИЛЬНЫХ РЕШЕТКАХ ТУРБОМАШИН

Причиной концевых потерь являются вторичные вихри, возникающие из-за разности давлений на спинке и на вогнутой части лопатки.

Снижение концевых потерь может быть достигнуто оребрением торцевых стенок криволинейного канала профильной решетки. Ребра должны располагаться по линиям основного тока (рис. 1).

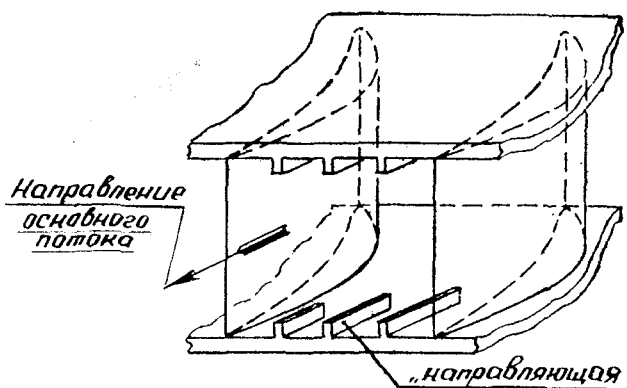


Рис. 1. Оребренная профильная решетка.

Поскольку вторичные вихри развиваются интенсивнее всего возле выхода из решетки, то установка ребер предполагается именно возле концов торцевых поверхностей. Малая кривизна линий основного тока на выходе способствует простоте технологии изготовления оребрения.

Ребра, не оказывая почти никакого влияния на основной поток, будут препятствовать развитию интенсивного вторичного вихря, направление которого перпендикулярно ребрам. Вторичный вихрь раздробится на мелкие вихри, ограниченные «направляющими», которые играют роль своеобразных лабиринтовых уплотнений (рис. 2). Скорость распространения вторичного вихря по торцевой поверхности должна будет значительно уменьшиться. Тем самым снизятся потери на трение от вторичного вихря. Уменьшится его влияние на ядро потока.

Такой характер течения в настоящее время может быть обоснован результатами работ, проведенными в Центральном котлотурбинном ин-

Работа выполнена на кафедре теплотехники под руководством доктора технических наук профессора Гохштейна Д. П.

ституте [1] по испытанию оребренного диффузора. В нашем случае оребрение может оказать более эффективное влияние на повышение к п д, так как ребра — «направляющие» будут препятствовать только развитию вторичных вихрей, не оказывая сопротивления движению основного потока. В диффузоре ЦКТИ оребрение оказывает сопротивление не только вторичным вихрям, но и основному потоку.

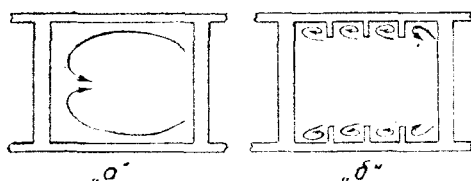


Рис. 2. Характер вторичных вихрей в профильной решетке:
а — не оребренной,
б — оребренной.

Предлагаемое оребрение проточной части применимо для любых решеток профилей всех турбомашин. Особенно большое значение оно должно иметь для повышения к п д ступеней некоторых типов турбин, работающих на новых рабочих телах (в частности, для турбин на углекислоте). Как показали расчеты мощных углекислотных турбин, вопросы прочности требуют применения в таких турбинах ступеней с большими абсолютными хордами профилей. При сохранении рекомендуемого оптимального относительного шага такие ступени имеют минимально возможное число лопаток. Их относительная высота $\frac{1}{b}$ может быть равной и даже меньше 1. Большая хорда, большой абсолютный шаг ступеней турбин нового типа должны вызывать интенсивное развитие вторичных парных вихрей. Особенно усиление их будет наблюдаться на периферийной торцевой поверхности, где направление вторичного вихря совпадает с направлением относительного вихря. Следовательно, в ступенях с малым числом лопаток особенно необходима установка оребренного бандажа.

Оребрение торцевых поверхностей профильных каналов должно иметь большое значение также для повышения к п д ступеней скорости — колес Кертиса, имеющих небольшую относительную высоту.

В колесах Кертиса происходит слияние двух вторичных вихрей в ядре потока. Тем самым увеличивается толщина пограничного слоя на спинке лопатки и ухудшается к. п. д. решетки [2]. Уничтожение интенсивных вторичных вихрей, уничтожение причины концевых потерь вызывает повышение к п д проточной части. Так как колеса Кертиса в современных турбинах срабатывают около 15% всего теплового перепада, то повышение их к. п. д. должно вызвать значительное повышение к. п. д. всей турбины.

В настоящее время мы не можем дать точных рекомендаций для выбора форм и геометрических размеров оребрения. Оптимальные значения их для определенного типа турбомашин могут быть получены опытным путем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мигай В. К. Повышение эффективности диффузоров путем установки поперечного оребрения. «Теплоэнергетика», № 4, 1961.
2. Щегляев А. В. Паровые турбины, 1955.

ТИЩЕНКО Б. С.

ПРИБЛИЖЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЫГОРАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА ТОЩЕГО УГЛЯ И АНТРАЦИТА

Вопросы горения топлива в пылевидном состоянии рассматриваются во многих исследованиях — в основном лабораторных и теоретических [1, 2]. Однако, применение результатов этих исследований для практических целей весьма затруднительно, так как условия проведения опытов на лабораторных установках, как правило, отличаются от условий работы реальных топок.

В других случаях предложенные методики расчета выгорания пылеугольного факела сложны для практики [3] и результаты расчетов по этим методикам не всегда совпадают с действительными значениями механического недожога топлива q_4 . Так, после привлечения к обработке дополнительных промышленных опытов авторы методики [3] были вынуждены уменьшить значения энергии активации для тощего угля и антрацита на 20 %, а предэкспоненциальных множителей — в 5 и 3 раза [4].

О важности борьбы с механическим недожогом и, в связи с этим, о необходимости создания соответствующей методики, которая была бы лишена вышеуказанных недостатков, говорит тот факт, что основная масса тепловых электростанций высокого давления при работе на тощем угле и антраците имеет горючих в уносе $C \approx 20\%$; еще хуже дело обстоит на блоках среднего давления, где нередко C достигает $30 \div 40\%$ [5].

Из-за отсутствия приемлемой методики расчета выгорания пылеугольного факела известны случаи, когда персонал электростанции неправильно оценивает рост величины q_4 , приписывая последние ухудшение качества топлива, хотя увеличение q_4 произошло из-за нарушения эксплуатационных условий. В подобных случаях персонал нередко прибегает к неоправданным реконструкциям топок, которые все же не приводят к желательному результату.

Ниже излагается теоретическое обоснование нового метода расчета выгорания пылеугольного факела тощего угля и антрацита, основанного на приближенном анализе механизма протекания процесса горения в топке и учитывающего влияние основных эксплуатационных факторов.

Средний размер частиц измельченного топлива при сжигании пыли тощего угля и антрацита и достигаемый максимальный уровень температур в топках позволяет применить законы химической кинетики к рассмотрению процесса выгорания пылеугольного факела в топках [6]. При этом влияние факторов диффузии учитывается снижением величины энергии активации топлива до величины, соответствующей переходной области горения топлива. Такое представление о процессе горения топ-

лива не вносит в расчет искажений для области температур, характерных для промышленных топок [2, 6].

Для исключения переменного влияния восстановительного процесса на величину энергии активации топлива E рассмотрению подлежат пылеугольные топки, работающие на пыли тощего угля и антрацита при коэффициенте избытка воздуха в топках $\alpha \geq 1,15$.

Тогда скорость химической реакции частицы топлива с газом постоянного давления можно записать [1, 7]:

$$\frac{db}{d\tau} = k_1 \cdot s \cdot e^{-E/RT}, \quad (1)$$

где: b — вес частицы;

τ — время реакции;

k_1 — коэффициент пропорциональности;

S — поверхность реакции частицы;

E — энергия активации, кал/моль;

R — универсальная газовая постоянная, равная ~ 2 [2, 6];

T — температура процесса реакции, $^{\circ}\text{K}$.

Поверхность реакции частицы твердого вещества можно выразить через ее вес следующей зависимостью [8]:

$$S = k_2 \cdot b^{2/3}, \quad (2)$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности зависящей от формы частицы, пористости, удельного веса и размерности физических величин.

Для решения уравнения (1) необходимо определить среднюю температуру процесса, которая учитывала бы выгорание пылеугольного факела.

В качестве такой средней температуры процессов по данным [6, 9, 10] можно принять величину $\bar{T}$:

$$\bar{T}^4 = m \cdot T_0^{4(1-n)} (T'')^{4n}, \quad (3)$$

где: $\bar{T}$ — средняя температура, учитывающая выгорание факела, $^{\circ}\text{K}$;

T_0 — теоретическая температура горения, $^{\circ}\text{K}$;

T'' — температура газов в конце топки, $^{\circ}\text{K}$;

m — коэффициент, равный ~ 1 [6];

n — показатель, который зависит от расположения максимума температур в топке (X_m).

По данным [3, 4] при нижнем расположении горелок в вертикальных топках для случаев сжигания пыли тощих углей и антрацита $X_m \leq 0,3$. В топках с жидким шлакоудалением максимум температур приближается к устью горелок и $X_m = 0,1 \div 0,15$.

При значениях $X_m < 0,3$ величина $n = 0,5 = \text{const}$ [6].

Подставив значения m и n в формулу (3), получим частное ее выражение для рассматриваемых пылеугольных топок [11]:

$$\bar{T} = \sqrt{T_0 \cdot T''} \quad (4)$$

Подстановка в формулу (1) усредненного значения температуры процесса $\bar{T}$ позволяет рассматривать течение химической реакции при этой, а не при текущей температуре. Это обстоятельство упрощает оцен-

ку влияния убыли концентрации кислорода при горении топлива на скорость химической реакции.

По данным [7] (концентрацию кислорода выражаем через коэффициент избытка воздуха в топке α) скорость химической реакции при прочих равных условиях убывает пропорционально выражению

$$\ln \frac{\alpha}{\alpha-1} \quad (5)$$

Температура термического разложения топлива ниже температуры горения коксового остатка. Летучая часть топлива сгорает полностью в случае сжигания пыли тощего угля и антрацита при $\alpha \geq 1,15$. Предлагаемая методика расчета выгорания пылеугольного факела, основанная на уравнении (1), фактически рассматривает выгорание коксового остатка топлива.

Поэтому в качестве начального веса частицы b_n необходимо в уравнение (1) подставлять долю кокса в горючей массе топлива с учетом дополнительного выхода летучих против лабораторных значений [6].

В конце реакции горения величина несгоревшего кокса b_k выражается также в долях от горючей массы топлива. В теплотехнике о степени выгорания топлива в топках при отсутствии химического недожога судят по величине q_4 , которую выразим через b_k :

$$q_4 = b_k \frac{7800(100 - W_p - A_p)}{Q_p^n} (\%), \quad (6)$$

где: W_p — рабочая влага топлива, %;

A_p — рабочая зола, %;

Q_p^n — низшая теплотворность топлива, ккал/кг.

Необходимое время τ для выгорания кокса топлива от величины b_n до b_k определим из уравнения (1), подставляя значения S по уравнению (2) и учитывая уменьшение скорости реакции от убыли концентрации кислорода согласно выражению (5):

$$\tau = \int_{b_k}^{b_n} \frac{\ln \frac{\alpha}{\alpha-1} \cdot e^{\frac{E}{2T}} \cdot db}{k_1 \cdot k_2 \cdot b^{2/3}} \quad (7)$$

Время химической реакции определяется временем нахождения частиц топлива в топке. Так как размеры этих частиц малы, то время их пребывания практически соответствует времени пребывания газов в топке, т. е.

$$\tau = \frac{k_3}{q_v \cdot \alpha \cdot T}, \quad (8)$$

где: k_3 — коэффициент, зависящий от низшей теплотворной способности топлива и величины минимального объема газов при сжигании 1 кг топлива ($\alpha=1$);

q_v — теплонапряжение топочного объема, ккал/м³ч.

После решения уравнения (7) и подстановки полученного значения τ выражение (8) определим величину b_k , которую подставим в выраже-

ние (6). В итоге элементарные преобразования позволили получить следующее окончательное выражение для оценки q_4 :

$$q_4 = \left(A_1 - \frac{A_2}{q_v \cdot \alpha \cdot \lg \frac{\alpha}{\alpha-1} \cdot T \cdot e^{E/2T}} \right)^3 A_3 (\%), \quad (9)$$

где: $A_1 = \sqrt[3]{b_n}$, для антрацита $A_1 = 0,978$, а для тощего угля — 0,951

$$A_2 = \frac{1}{2,3} k_1 \cdot k_2 \cdot k_3;$$

$A_3 = \frac{7800(100 - W_p - A_p)}{Q_p^H}$, для антрацита $A_3 = 100$, а для тощего угля — 105.

В конечной формуле (9) только значения A_2 и E являются неизвестными величинами и подлежат определению опытным путем.

Для переходной области горения углерода кокса нет строго определенной величины энергии активации [2]. По данным [1, 2, 6] для рассматриваемых условий работы пылеугольных топок и марок топлива эта величина равна $E \cong 20000$ кал/моль. Проверка формулы (9) сводится к нахождению и уточнению указанной величины E при переменных значениях q_v , α и T и постоянных значениях A_2 .

Исходя из рассмотрения уравнений (1 ÷ 8), можно сделать вывод, что коэффициент A_2 зависит от физико-химических свойств топлива и его измельчения. Фактически он является мерой реактивности кокса данного вида топлива аналогично характеристике, введенной в [2].

При постоянстве качества топлива по элементарному составу и степени его измельчения при сравнительно большом избытке воздуха в топке $\alpha = 1,2 \div 1,6$ и производстве опытов на одном и том же оборудовании — коэффициент A_2 будет величиной постоянной.

Нами проведена обработка около 160 промышленных опытов наладочных групп ОРГРЭС, Одессаэнерго и собственных при изменении q_4 от 1 до 24%, α от 1,15 до 1,57, T от 1700 до 2000°К, q_v от $75 \cdot 10^3$ до $150 \cdot 10^3$ ккал/м³ч и тонины помола угольной пыли R_{88} от 1 до 16%. При этом согласование опытных данных с расчетными по формуле (9) имеет место при постоянной величине энергии активации для тощего угля и антрацита, равной 21300 кал/моль, что хорошо совпадает с приведенной выше величиной E для рассматриваемой зоны температур по [1, 2, 6].

На рисунках 1 и 2 приведены обработанные результаты испытаний, проведенных на котлах ТП-170 на пыли тощего угля группой наладки Одессаэнерго и на пыли АШ Донецким отделением ОРГРЭС (Государственный трест по организации и рационализации районных электрических станций и сетей).

Через S обозначены все выражения, входящие в формулу (9) кроме A_2 и $e^{E/2T}$.

Для нахождения величины A_2 кроме вышеуказанных 160 опытов были обработаны данные [12, 13, 14]. На рисунке 3 показана зависимость величины A_2 для определенных мест добычи тощего угля от выхода летучих (L_r) и остатка на сите R_{88} и приведены пределы реактивности пыли антрацита, которые обозначены пунктирными линиями I и II.

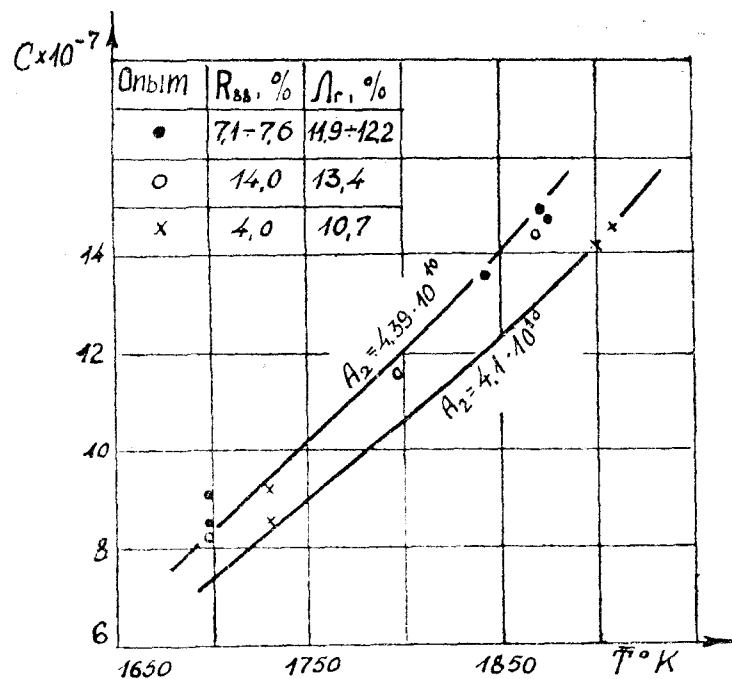


Рис. 1. Подтверждение величины $E = 21300$ кал/моль для тощего угля при различных значениях A_2 опытными данными Одессаэнерго. Линии соответствуют $E = 21300$ кал/моль

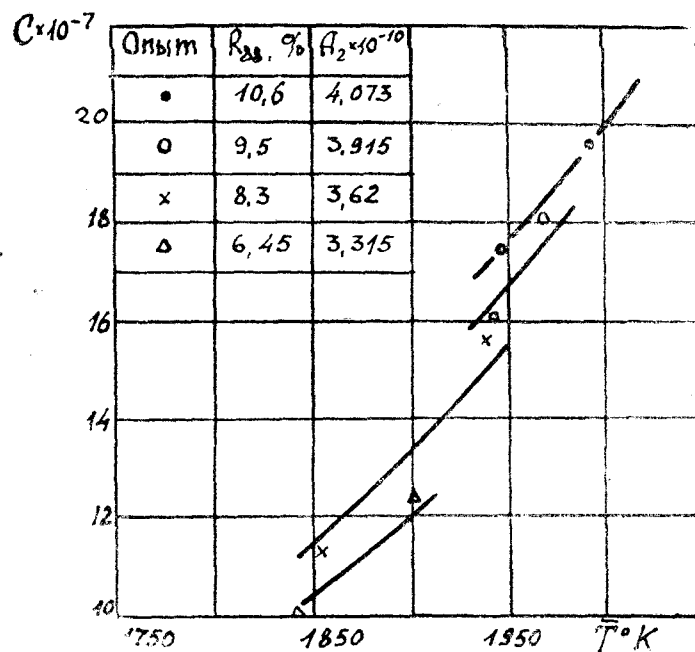


Рис. 2. Подтверждение величины $E = 21300$ кал/моль для АШ при различных значениях $R_{дс}$ опытными данными Донецкого отделения ОРГРЭС. Линии соответствуют $E = 21300$ кал/моль.

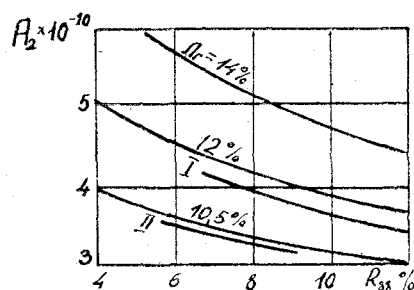


Рис. 3. Зависимость A_2 от величин L_r и R_{aa} для новокрынкинского, булавинского, енакиевского, постпиковского и мануйловского тощих углей и пределы высшей (I) и низшей (II) реактивности пыли АШ.

На рисунке 4 имеет место совпадение результатов зависимости q_4 от α по данным Центрального котлотурбинного института (сплошная линия) с расчетными результатами по формуле (9) (точки) для значений α от 1,1 до 1,4 при $E=21300$ кал/моль.

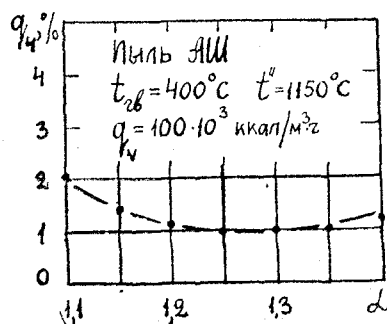


Рис. 4. Совпадение оценки влияния коэффициента избытка воздуха в топке (α) на величину q_4 по методике ЦКТИ и формуле (9).

Аналогичное совпадение показано на рисунке 5, где линиями представлен процесс выгорания пыли антрацита в топке котла ТП-230 Б по данным ЦКТИ. Точками на этой фигуре обозначены значения q_4 , полученные расчетным путем по формуле (9) при $E=21300$ кал/моль.

Таким образом, принимая $E=21300$ кал/моль и A_2 по рисунку 3, можно пользоваться выражением (9) как расчетным.

Данная методика расчета выгорания пылеугольного факела была нами применена в 1958—1959 годах для анализа работы пылеугольных топок котлов Одесской ТЭЦ и нахождения путей снижения q_4 без реконструкций топочных устройств.

До 1958 г. станция пыталась снизить величину q_4 путем реконструкций топок, которые проводились за счет сокращения объема текущих ремонтных работ по эксплуатации.

Уплотняя котлоагрегаты и введя искусственную зашлаковку нижних радиационных поверхностей в топках, в последующие два года повысили $\bar{T}$ в среднем на всех котлах на 50°C , что привело к снижению величины q_4 вдвое против прежних лет. Последнее показано в таблице 1 на примерах котла № 5, у которого среднегодовые значения паровой на-

грузки, тонины помола и качества топлива были примерно одинаковыми в этих годах.

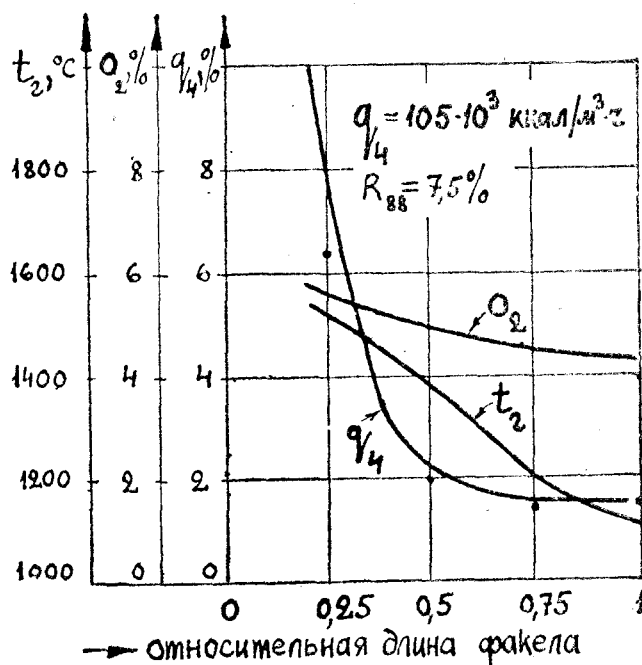


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных данных ЦКТИ с расчетными по формуле (9)

Таблица 1

Год	Какая проведена реконструкция топки	Механический недожог	CO_2 за пароперегревателем, %	CO_2 за воздухоподогревателем, %	Температура уходящих газов, °C	Кпд котла (брутто), %
1954	Снижение средних боковых горелок	7,5	14,2	—	184	81,5
1955	Утепление холодной воронки	5,14	14,3	—	189	83,6
1956	Транспорт пыли горячим воздухом	7,5	14,1	12,5	172	83,5
1957	Жидкое шлакоудаление	6,9	14,7	12,4	166	85,5
1958	Не было реконструкции	4,6	14,7	12,4	159	87,9
1959	Не было реконструкции	3,1	14,2	12,5	154	89,2

Для большей убедительности в таблице 2 приведены среднегодовые данные содержания горючих в уносе блоков котлов 80 ати и 100 ати за период 1956—1959 годов.

Котлы блока 80 ати имеют температуру горячего воздуха почти вдвое меньшую, чем у котлов блока 100 ати.

Таблица 2

Блок котлов	Содержание горючих в уносе, %			
	1956 г.	1957 г.	1958 г.	1959 г.
80 ати	21,1	21,8	13,0	11,8
190 ати	22,3	22,3	15,3	12

Вывод

1. Предложенная методика расчета выгорания пылеугольного факела для топок, работающих на пыли тощего угля и антрацита, позволяет оценить степень совершенства топочного устройства, реактивность топлива, конструктивные и эксплуатационные мероприятия для снижения механического недожога топлива.

2. При постоянной степени измельчения топлива величина A_2 характеризует реактивность кокса данного топлива и может быть определена по графикам, аналогичным рисунку 3.

3. На основании проведенного анализа и полученных опытных данных величина энергии активации кокса тощего угля и антрацита может быть принята $E=21300$ кал/моль.

4. Предложенная простая методика для оценки q_4 согласуется с опытными данными с точностью $\pm 20\%$ и может быть применена для оперативного контроля топочных процессов в эксплуатационных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предводителей А. С., Хитрин Л. Н., Цуханова О. А., Колодцев Х. И., Гродзовский М. К. Горение углерода. Издательство АН СССР, 1949 г.
2. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва. Издательство МГУ, 1957 г.
3. Померанцев В. В., Шагалова С. Л. и Арефьев К. М. Приближенная методика расчета выгорания пылеугольного факела. «Теплоэнергетика», № 11, 1958 г.
4. Шагалова С. Л. и Арефьев К. М. Анализ влияния параметров на величину механического недожога в камерных топках. «Теплоэнергетика», № 2, 1960 г.
5. Союзглавэнерго. Обзор технико-экономических показателей и анализ топливоиспользования на районных тепловых электростанциях СССР за 1960 г. Госэнергоиздат, 1961 г.
6. Кнофре Г. Ф. Топочные процессы. Госэнергоиздат, 1959 г.
7. Райдил Э. К. Химия поверхностных явлений. Издательство ОНТИ—Химтеорет. Ленинград, 1936 г.
8. Ромадин В. П. Пылеприготовление. Госэнергоиздат, 1953 г.
9. Поляк Г. А. и Шорин С. Н. О теории теплообмена в топках. Известия ОТН АН СССР, № 12, 1949 г.
10. Гурвич А. М. и Блох А. Г. О температуре топочного пространства. «Энергомашиностроение», № 6, 1956 г.
11. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1949 г.
12. Сборник статей под редакцией К. Ф. Родаттиса. Сжигание антрацитового штыба (АШ) в топках с утепленными воронками. Госэнергоиздат, 1956 г.
13. Бурцев В. Я., Павленко Л. И. и Рукованов Б. П. Сжигание АШ в топках котлов ТП-230-2. «Электрические станции», № 10, 1953 г.
14. Алексеев В. А. и Крюков А. И. Испытание двухступенчатой схемы пылесжигания. «Электрические станции», № 10, 1953 г.

БАХТИОЗИН Р. А., ГОРБИС З. Р.

**О КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛООТДАЧЕ ПОТОКА
ГАЗОГРАФИТОВОЙ ВЗВЕСИ В ПРОДОЛЬНО ОРЕБРЕННЫХ
КАНАЛАХ**

1. Постановка вопроса

Процессы теплообмена двухфазных потоков газозвеси со стенкой находят все большее применение в технике ввиду того, что запыление газа твердыми частицами увеличивает теплоотдачу.

Для выяснения возможностей повышения компактности поверхностей нагрева, продольно омываемых потоком газозвеси, необходимы исследования интенсивности конвективной теплоотдачи в оребренных каналах.

Целью настоящей работы явилось исследование данного вопроса применительно к вертикальным продольно оребренным трубам, расположенным в каналах кольцевого сечения.

В настоящее время данные по изучаемому вопросу в литературе отсутствуют.

Исследование процесса теплоотдачи между газозвесью и оребренным вертикальным каналом очень сложно. Этот процесс является результатом сложного теплообмена, который определяется одновременно протекающими различными явлениями: наличием в потоке поперечных градиентов концентраций и температур частиц, пульсацией компонентов потока, столкновением частиц между собой и со стенкой, различием абсолютных скоростей газа и твердых частиц (скольжение фаз), своеобразным перераспределением профиля скоростей и температур несущей фазы и др. Некоторые из указанных факторов способствуют турбулизации потока и повышают коэффициент конвективной теплоотдачи, но все они вносят дополнительные погрешности в измерения и усложняют изучение вопроса.

В данном исследовании рассматривается случай теплоотдачи при сравнительно низких температурах потока газозвеси, когда имеет место конвективная теплоотдача.

Для выявления влияния геометрических характеристик каналов и действия значительных добавок твердой фазы в газовый поток исследуется теплообмен при числах Рейнольдса примерно постоянных, но при сравнительно высоких концентрациях (до 40) и многократном изменении геометрического симплекса.

Работа выполнена на кафедре теплотехники под руководством доктора технических наук профессора Гахштейна Д. П.

Исследуемый процесс конвективного теплообмена описывается соответствующей системой дифференциальных уравнений гидродинамики и теплопроводности потока газовой взвеси [1].

Экспериментальное исследование и обобщение опытных данных проведено на базе основных положений теории подобия [2, 3]. При этом полученная система уравнений совместно с условиями однозначности приводит на основе π -теоремы к следующему критериальному уравнению:

$$Nu_n = f\left(\mu, Re, Re_c, P_r, \frac{D}{d_r}, \frac{\delta_p}{h}, \frac{c_q}{c_r}, \frac{\lambda_p}{\lambda_r}, \frac{\lambda_c}{\lambda_r}\right), \quad (1)$$

где: $Nu_n = \frac{\alpha_n D}{\lambda_r}$ — критерий Нуссельта для запыленного потока;

$Re = \frac{V_r \cdot D}{\nu}$ — критерий Рейнольдса для газовой фазы;

$Re_c = \frac{V_{ви} \cdot d_c}{\nu}$ — критерий Рейнольдса для твердой фазы;

$\mu = \frac{G_c}{G_r}$ — весовая расходная концентрация, $\frac{\text{кг/час}}{\text{кг/час}}$;

$P_r = \frac{\nu}{a}$ — критерий Прандтля;

D, d_c — эквивалентные диаметры канала и частиц, м;
 δ_p — толщина ребра, м;

C_q, C_r — теплоемкость твердой и газовой фаз, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{С час}}$;

$\lambda_p, \lambda_c, \lambda_r$ — теплопроводность материала ребер, частиц и газа, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^\circ\text{С час}}$;

$V_{ви}$ — взвешивающая скорость частиц, м/сек;

V_r — средняя абсолютная скорость газа, м/сек.

Выражение (1) служило исходным при экспериментальном исследовании конвективного теплообмена с оребренной стенкой.

До проведения опытов, для предварительного выявления роли факторов, определяющих интенсивность конвективного теплообмена газовой взвеси с поверхностью нагрева, была установлена на основе гидродинамической теории теплообмена следующая приближенная зависимость [3]:

$$Nu_n / Nu_r = 1 + m \frac{C_q}{C_r} \mu, \quad (2)$$

где: $Nu_r = \frac{\alpha_r \cdot D}{\lambda_r}$ — критерий Нуссельта для чистого газа;

m — коэффициент Гастерштадта, покрывающий собой влияние различных аэродинамических и геометрических факторов.

Коэффициент Гастерштадта, согласно данным теории подобия и эксперимента, определяется зависимостью вида:

$$m = f\left(Re, Re_c, \frac{D}{d_c}, \frac{h}{d_c}\right) \quad (3)$$

Таким образом, согласно выражениям (2) и (3), интенсивность теплообмена запыленного потока выше теплоотдачи чистого газа на вели-

чину, зависящую от концентраций, чисел Рейнольдса, отношения теплоемкостей и геометрических симплексов.

Экспериментальная проверка приведенных положений проведена для области концентраций меньше 40.

2. Методика эксперимента и опытная установка

Методика эксперимента основана на следующем:

1. Теплоотдача газозвеси рассматривается как составная часть теплопередачи к движущейся в цилиндрическом канале воде.

2. Ввиду того, что нагрев вести проще и надежнее в отдельном нагревателе, то в теплообменном участке тепловой поток направлен от газозвеси к оребренным стенкам канала.

3. Исследование теплопереноса проводилось при стационарном тепловом и аэродинамическом режиме.

4. В соответствии с вышеприведенными соображениями исследовалось влияние на теплообмен концентрации, размера частиц, геометрических размеров канала и характеристик оребрения.

Указанные положения использованы при создании экспериментальной установки, которая выполнена в виде контура замкнутого по твердой фазе и разомкнутого по газу.

Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

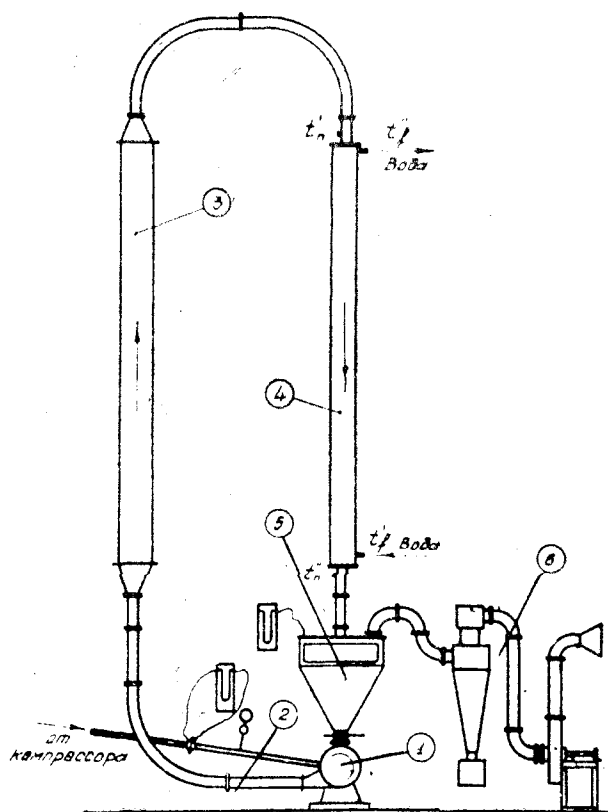


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

В питателе 1 графитовые частицы, поступающие из бункера 5, и воздух, поступающий от компрессора через ресивер и воздухоочиститель, образуют газографитовую взвесь, которая после разгонного участка 2 поступает в электронагреватель 3 и далее — в теплообменник 4. В теплообменнике нагретая газовзвесь омывает оребренный стержень, который изнутри охлаждается водой. Из теплообменника взвесь поступает в бункер-сепаратор 5, в котором графит выпадает в нижнюю часть бункера, а воздух выбрасывается через аспирационную систему 6 в атмосферу.

Теплообменный участок был выполнен сменным, что позволило исследовать темы типов оребренных каналов на чистом воздухе и четыре типа каналов с газовзвесью. Типы каналов и их характеристики приведены на рис. 2 и в таблице 1. Исследовалось 6 типов каналов со сплошными продольными ребрами и один канал с прерывистыми ребрами. Ребра выполнялись из 1,5 мм листовой стали. В стержне фрезеровались продольные канавки глубиной в 1,4—1,6 мм, куда вставлялись ребра и заливались оловом. Это обеспечивало надежный контакт между ребром и стержнем.

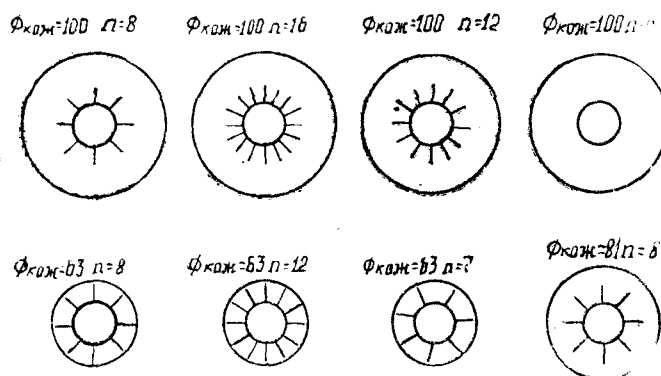


Рис. 2. Типы оребренных каналов.

Таблица 1

Характеристики продольно оребренных каналов
(длина стержня 2980 мм, диаметр стержня 33 мм)

Тип канала	Диаметр кожуха, мм	Число ребер, шт.	Высота ребер, мм	Гидравлич. диаметр, мм	Термич. диаметр, мм	Общая поверхн., м ²	Поверхн. основная, м ²	Поверхн. ребер, м ²	Сечение по газу, м ²	Сечение по воде, м ²	Коэффициент оребрения	Характер оребрения
1	63	7	12,0	19,0	32,8	0,73	0,309	0,421	0,00212	0,00056	2,6	ребра прерывистые
2	100	8	15,0	41,8	80,0	1,024	0,309	0,715	0,00687	0,00056	3,33	ребра сплошные
3	100	12	15,0	34,6	58,0	1,382	0,309	1,073	0,00671	0,00056	4,48	„
4	100	16	15,0	29,0	44,6	1,738	0,309	1,436	0,00651	0,00056	5,63	„
5	81	8	15,0	28,0	48,5	1,024	0,309	0,715	0,00418	0,00056	3,33	„
6	63	12	11,5	13,8	21,0	1,148	0,328	0,820	0,00202	0,00056	3,5	„
7	63	8	12,7	17,4	29,0	0,802	0,309	0,493	0,00217	0,00056	2,88	„

3. Обработка опытных данных

Согласно принятой методике, опытный коэффициент конвективной теплоотдачи $\alpha_{оп}$ определяется из опыта по расчету на всю поверхность нагрева по формуле [2]:

$$\alpha_{оп} = \frac{1}{\frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_f} k_{ор} - \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} k_{ор}}, \quad (4)$$

где: k — коэффициент теплопередачи, определенный для полной поверхности нагрева $F_{общ.}$, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ час}}$;

α_f — коэффициент теплоотдачи от стенки к воде, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ час}}$;

$k_{ор}$ — коэффициент оребрения, определяемый как отношение $\frac{F_{ор}}{F_f}$ поверхности нагреваемой газовой массой к поверхности, охлаждаемой водой;

$\delta_{ст}$ — толщина стенки, м;

$\lambda_{ст.}$ — коэффициент теплопроводности материала стенки, $\frac{\text{ккал}}{\text{м } ^\circ\text{C} \text{ час}}$.

Для нашего случая, где тепловоспринимающая поверхность выполнена с развитым оребрением, поверхности нагрева стержня и ребер будут работать в неодинаковых температурных и аэродинамических условиях. Поэтому, чтобы правильно проводить сравнение различно оребренных поверхностей нагрева необходимо опытные значения коэффициента теплоотдачи со стороны газовой массы привести к одной и той же основной — неоребренной поверхности нагрева [5]:

$$\alpha_{пр} = \frac{\alpha_{оп} F_{общ.}}{(E \cdot F_{реб.} + F_{осн.}) \psi} = \frac{\alpha_{оп}}{E_1}, \quad (5)$$

где $\alpha_{пр}$ — коэффициент теплоотдачи, приведенный к основной — неоребренной поверхности стержня, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ час}}$;

$F_{общ.}$ — полная поверхность нагрева, равная $F_{реб.} + F_{осн.}$, м^2 ;

$F_{реб.}$ — поверхность нагрева ребер, м^2 ;

$F_{осн.}$ — поверхность нагрева стержня, м^2 ;

ψ — коэффициент, учитывающий неравномерность теплообмена по поверхностям из-за аэродинамических факторов. $\psi = 0,9$ по литературным данным [5];

E — коэффициент эффективности ребер, определяется по формуле [5, 6]:

$$E = \frac{\text{th} \left(h \sqrt{\frac{2\psi\alpha_{оп}}{\delta_p \lambda_p}} \right)}{h \sqrt{\frac{2\psi\alpha_{оп}}{\lambda_p \delta_p}}}; \quad (6)$$

E_1 — средневзвешенная эффективность ребер.

Тогда $Nu_n^{пр.}$ определится по формуле:

$$Nu_n^{пр.} = \frac{\alpha_{пр.} \cdot D}{\lambda_r} = \frac{\alpha_{оп.} \cdot D}{E_1 \cdot \lambda_r}. \quad (7)$$

Согласно полученной зависимости (2) интенсивность теплообмена газозвеси характеризуется отношением Nu_n/Nu_r .

В литературе отсутствуют обобщенные зависимости для определения Nu_r для продольно оребренных каналов кольцевого сечения при турбулентном режиме движения. Поэтому в исследовании большое внимание уделено опытному определению коэффициента конвективной теплоотдачи стенки с чистым газом α_r и соответствующих чисел Нуссельта. Для неоребренных цилиндрических каналов расхождение опытного значения α_r с величиной, определенной по известной зависимости $Nu=0.018 Re^{0.8}$ [2], не превышало $\pm 4\%$. Это также позволило оценить точность принятой методики.

Опытные значения Nu_r в зависимости от Re для исследованных типов оребрения представлены на рис. 3. При обработке результатов экс-

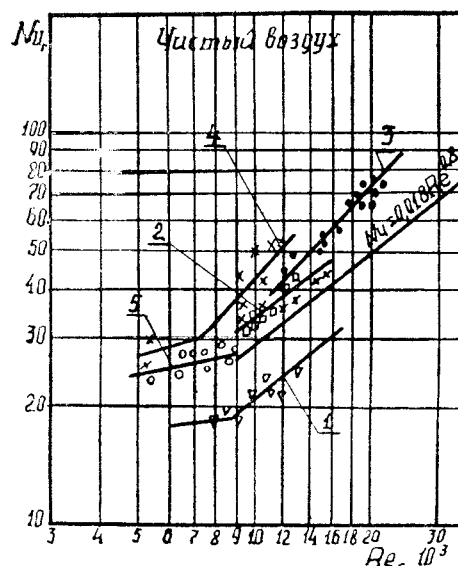


Рис. 3. Теплоотдача чистого воздуха в оребренных каналах. 1. $Nu_r = f(Re_r)$ для канала 63×33 , 12 ребер. 2. То же, для каналов 63×33 , 8 ребер и 81×33 , 8 ребер. 3. То же для 63×33 , 7 прерывистых ребер. 4. То же для 100×33 , 8 ребер. 5. То же, для канала 100×33 , 12 и 16 ребер. Снятые с графика значения Nu умножить на 1,11.

перимента по теплообмену стенки с чистым воздухом для определения Re использован гидравлический диаметр оребренного канала. В области турбулентного движения газа характер кривых для всех оребренных сплошными продольными ребрами каналов обобщается кривой, полученной по выражению $Nu=0,021 Re^{0.8}$. Для каналов, оребренных прерывистыми ребрами, кривая идет несколько круче, так как сказывается турбулизирующее влияние прерывистых ребер. В области переходного режима движения для значений числа Re до 6000—8000 кривая изменения $Nu=f(Re)$, более пологая.

Обобщение опытных данных по конвективному теплообмену газозвеси со стенкой в вертикальных продольно оребренных каналах кольцевого сечения проведено согласно формуле (2). При этом значения величин Nu_r принимаются по рис. 3.

В опытах использовались два размера частиц искусственного графита Новочеркасского электродного завода — 0,4 мм и 0,7 мм, полученные рассевом заводского графитового боя.

Экспериментальная установка обеспечила изменение определяющих величин в следующих пределах:

- концентрация от 2 до 30 $\frac{\text{кг/час}}{\text{кг/час}}$
- критерий Рейнольдса по газу от 7300 до 12100;
- геометрический симплекс $\frac{D}{d_{\text{ч}}}$ — от 114 до 200;
- число ребер от 8 до 16;
- коэффициент оребрения от 3,33 до 5,63;
- симплекс $\frac{D}{D_p}$ — от 1 до 1,6;

диаметр стержня при всех опытах составлял 33 мм.

Результаты обработки опытных данных по теплоотдаче газографитовой взвеси приведены на рис. 4 и каналам 6,7.

На основе обработки поля опытных точек методов наименьших квадратов формула (2) приведена к следующей расчетной зависимости:

$$\frac{Nu_{\text{н}}}{Nu_{\text{ч}}} = 1 + 1,62 \cdot 10^{-10} \cdot Re_{\text{г}}^{1,5} \left(\frac{D_{\text{г}}}{d_{\text{ч}}} \right)^2 \frac{C_{\text{г}}}{C_{\text{ч}}} \mu^{0,47}$$

Опыты проводились при сравнительно невысоких скоростях воздуха и значительных концентрациях, что привело к пульсации потока и, как следствие, к разбросу точек. Точность определения по формуле (8) $\pm 17\%$. Этот разброс также объясним нестрогим постоянством критерия Рейнольдса.

Аналог коэффициента Гастерштадта, согласно (3), зависит от Re , $Re_{\text{ч}}$ и геометрических симплексов $\frac{D}{d_{\text{ч}}}, \frac{h}{d_{\text{ч}}}$. В формуле (8) он зависит

только от $\frac{D_{\text{г}}}{D_{\text{г}}}$ и Re , что может быть объяснено незначительными изменениями значения, что может быть объяснено незначительными изменениями величины Re и $Re_{\text{ч}}$, так как применялись только две фракции твердых частиц, близкие по размеру.

Изменение величин, характеризующих геометрию оребрения, учитывается тем, что критерий Нуссельта определен по коэффициенту теплоотдачи $\alpha_{\text{пр}}$, зависящему от этих характеристик.

Расчетная зависимость (8) обобщает опытные данные в широком диапазоне изменения геометрических характеристик канала и значений концентрации, так как по сравнению с выражением (2) в формуле (8) показатель степени при μ меньше, то необходимо указать на следующее важное обстоятельство: запыление газового потока твердыми частицами в условиях внешнего теплообмена и обтекания оребренной поверхности нагрева повышает относительную интенсивность теплопереноса ($Nu_{\text{н}}/Nu_{\text{г}}$) в меньшей степени, чем в условиях обтекания неоребранных цилиндрических каналов и каналов кольцевого сечения. Действительно, как было нами ранее установлено:

для трубчатых цилиндрических каналов [4, 7]

$$Nu_{\text{н}}/Nu_{\text{г}} = 1 + 6,7 Re^{-0,30} Re_{\text{ч}}^{-0,33} \frac{C_{\text{ч}}}{C_{\text{г}}} \mu \quad (9)$$

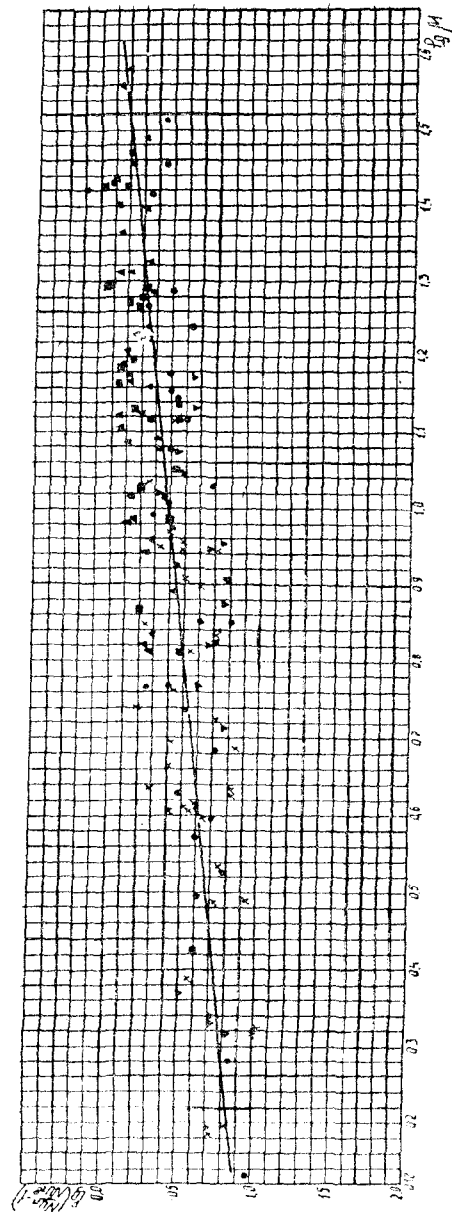


Рис. 4. Влияние запыленности потока на относительную эффективность теплоотдачи к оребренной поверхности.

- × — для канала 100/33, 8 ребер; × — для канала 100/33, 12 ребер;
- — для канала 100/33, 16 ребер; ○ — для канала 81/33, 8 ребер;

для кольцевых каналов [5]

$$\frac{Nu_n}{Nu_{\text{ч}}} = 1 + 0,37 Re^{-2,7} \cdot Re_{\text{ч}}^{0,7} \left(\frac{D_{\text{т}}}{d_{\text{ч}}} \right)^{0,6} \frac{C_r}{C_{\text{ч}}} \mu, \quad (10)$$

концентрация μ в расчетную формулу входит в первой степени.

Это уменьшение эффекта интенсификации теплообмена (в изученных оребренных каналах) может быть объяснено предполагаемым оттеснением графитовых частиц от пристержневой (теплообменной) зоны, характерной резко возросшими из-за оребрения сопротивлениями, во внешнюю зону (к кожуху), практически не участвующую в теплообмене.

В дальнейшем необходимо проверить предположение об оттеснении частиц графита к стенке кожуха в кольцевых продольно-оребранных каналах путем исследования коаксиальных каналов с внешним и внутренним теплоотводом.

Кроме того, необходимо провести серию опытов при более высоких значениях концентрации и для большего диапазона изменений Re .

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбис З. Р. Критериальное уравнение конвективного теплообмена в двухфазных потоках типа «газовзвесь». Известия АН СССР, ОТН, № 9, 1958 г.
2. Михеев М. А. Основы теплопередачи. ГЭИ, 1956 г.
3. Горбис З. Р. О механизме теплоотдачи дисперсных потоков. Тезисы докладов совещания по тепло- и массообмену. Минск, 1961 г.
4. Бахтиозин Р. А., Горбис З. Р. Экспериментальное исследование конвективной теплоотдачи запыленных потоков. Тезисы докладов совещания по тепло- и массообмену. Минск, 1961 г.
5. Кузнецов Н. В. Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов. ГЭИ, 1958 г.
6. Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче. ГЭИ, 1959 г.
7. Горбис З. Р., Бахтиозин Р. А. Исследование конвективной теплоотдачи газо-графитовой взвеси в условиях внутреннего обтекания вертикальных каналов. «Атомная энергия», том. 12, вып. 5, 1962 г.

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ, ТЕХНОЛОГИЯ

КОВТУН А. П.

К ВОПРОСУ О НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ, ОГРАЖДЕННОЙ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНАМИ

Рассмотрим случай, когда сыпучая среда, засыпанная на горизонтальную плоскость $a-a'$ (рис. 1), будет ограничена одной вертикальной стеной $c-c'$. По мере увеличения высоты слоя сыпучей среды от нуля до H , вследствие растущих объемных и реактивных сил, происходит деформация связей в контактах между частицами внутри среды и между частицами и стеной $c-c'$ [1].

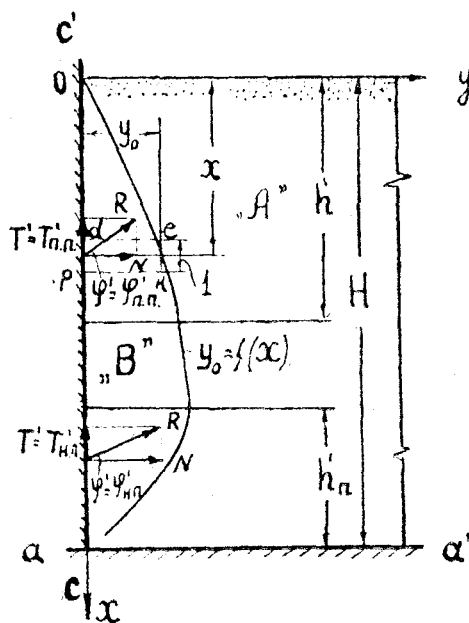


Рис. 1.

С увеличением высоты слоя до некоторого предельного значения h'_n неполные силы трения покоя в контактах между частицами и стеной возрастут до величины полных сил трения, т. е. будет иметь место явление предварительного смещения, которое на высоте h'_n и выше перейдет в относительное смещение [2]. Смещение среды вниз при наличии распора N вызовет на вертикальной стене $c-c'$ трение T' , в силу которого реак-

Работа выполнена на кафедре механизации и автоматизации производства под руководством доктора технических наук профессора Платонова П. Н.

ция стены R в каждой точке на высоте $h \neq 0$ будет направлена под соответствующим углом внешнего трения φ' , а нормальная и тангенциальная составляющие ее связаны отношением

$$\frac{T'}{N} = \operatorname{tg} \varphi' \quad (1)$$

Сила трения T' в пределах высоты h'_n зависит от величины предварительного смещения « Δ » и изменяется в соответствии с ним от $T'=0$ при $h=0$ до величины полной силы трения покоя $T'=T'_{n.n.}$ при $h \geq h'_n$. Всем промежуточным значениям высот $0 < h < h'_n$ будут соответствовать неполные силы трения покоя $T'=T'_{n.n.}$ [$0 < T'_{n.n.} < T'_{n.n.}$]. В соответствии с изменением силы трения $T'_{n.n.}$ будет изменяться и угол трения $\varphi'_{n.n.}$ [$0 < \varphi'_{n.n.} < \varphi'_{n.n.}$].

На участке высотой $H-h'_n$, в силу наличия необратимых перемещений сыпучего тела относительно вертикальной стены, угол внешнего трения φ' , при условии постоянной плотности укладки частиц, будет постоянным и равным $\varphi'_{n.n.}$.

Направленные вверх силы трения T' выполняют роль сил поддержания, а величина их, при передаче через слой однородной сыпучей среды, изменяется по линейному закону от значения $T'=N \operatorname{tg} \varphi'$ у стены до нуля на некотором расстоянии y_0 . Следовательно, в массиве сыпучей среды, ограниченном вертикальной стеной, имеются две области «А» и «В». Область «А» — не подвержена влиянию сил трения T' и, следовательно, вертикальные давления q и горизонтальные N в каждой точке этой области будут равны:

$$\left. \begin{aligned} q_{(A)} &= \gamma x \\ N_{(A)} &= \gamma x \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где x — глубина,

φ — угол внутреннего трения,

γ — объемный вес сыпучего.

Область «В» — подвержена влиянию сил трения T' , и, следовательно, вертикальное давление по мере приближения к стене $s-s'$ будет уменьшаться по некоторому закону. Учитывая, что $N_{(A)}=N_{(B)}=N$, можем записать

$$q_{(A, B)} = N \psi(y), \quad (3)$$

где $\psi(y)$ некоторая функция, зависящая от y , φ' , φ .

Граница между областями «А» и «В» определится кривой

$$y_0 = f(x).$$

На основании результатов экспериментального исследования можно полагать, что вес сыпучего в области «В» уравнивается силами трения, возникающими между стеной и сыпучей средой. Тогда, для элемента $d \in k p$, выделенного у стены на глубине x , у которого $dp = ek = l$, а $de = pk = y_0$ (рис. 1), можно записать:

$$T' - \gamma y_0 = 0.$$

Подставляя значение $T' = N \operatorname{tg} \varphi'$ и решая относительно y_0 , получим уравнение кривой, разграничивающей области «А» и «В»:

$$y_0 = x \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi' \quad (4)$$

Для определения функции $\psi(y)$ воспользуемся уравнениями состояния сыпучей среды, полученными Гениевым [3].

В общем случае для плоской задачи имеем в каждой точке движущейся сыпучей среды пять неизвестных функций:

$$\bar{Y}_y = \bar{Y}_y(x, y, t); \bar{X}_x = \bar{X}_x(x, y, t); \bar{X}_y = \bar{X}_y(x, y, t);$$

$$V_x = V_x(x, y, t); V_y = V_y(x, y, t)$$

— три компонента напряжения [два нормальных и один касательный] и две проекции вектора скорости на оси x и y . Напряжение $\bar{Y}_y$ соответствует распору, $\bar{X}_y$ — сдвигающим поперечным силам, $\bar{X}_x$ — вертикальному давлению, причем большему из двух возможных при данном распоре $\bar{Y}_y$

Неизвестные функции $(\bar{X}_x, \bar{Y}_y, \bar{X}_y, V_x, V_y)$ связаны системой уравнений [2]:

$$\bar{X}_x - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{X}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{X}_y}{\partial y} \right) = \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} \quad (5)$$

$$\bar{Y}_y - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{X}_y}{\partial x} + \frac{\partial \bar{Y}_y}{\partial y} \right) = \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y}; \quad (6)$$

$$(\bar{X}_x - \bar{Y}_y)^2 + 4\bar{X}_y^2 = \sin^2 \varphi (\bar{X}_x + \bar{Y}_y + 2k \operatorname{ctg} \varphi)^2; \quad (7)$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0; \quad (8)$$

$$\frac{2\bar{X}_y}{\bar{X}_x - \bar{Y}_y} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \pm \frac{\partial V_x}{\partial x} \operatorname{tg} \varphi}{\frac{\partial V_x}{\partial x} \mp \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \operatorname{tg} \varphi}$$

Здесь ρ — плотность среды,

k — предельное напряжение сцепления,

$\bar{X}$, $\bar{Y}$ — соответствующие проекции массовых сил, положительные направления которых совпадают с положительными направлениями осей координат.

Системе уравнений (5), (6), (7), (8), (9)

при $f' = \operatorname{tg} \varphi' \leq \operatorname{tg} \varphi$,

$$k=0,$$

$$V_x = V_y = 0$$

и граничным условиям

$$\bar{X}_y(0) - f' \bar{Y}_y = 0,$$

$$\bar{X}_y(y_0) = 0$$

удовлетворяют следующие функции:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_y &= M_1 \\ \bar{X}_x &= M_1 \psi(y) \\ \bar{X}_y &= M_1 \zeta(y)\end{aligned}\quad (10)$$

$$\text{где } \psi(y) = \frac{1}{\cos^2 \varphi} (1 + 2 \sin \varphi \sqrt{1 - \xi^2 m^2 + \sin^2 \varphi}); \quad (11)$$

$$\zeta(y) = f' \xi; \quad (12)$$

$$M_1 = y_0 \frac{g \rho}{f'}; \quad (13)$$

$$\xi = \frac{y_0 - y}{y_0}; \quad m = \frac{f'}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (14)$$

Решение (10), точно удовлетворяющее исходной системе уравнений и граничным условием, характеризуется неравномерным законом распределения вертикального напряжения $\bar{X}_x$ по горизонтальному сечению, достигающего максимального значения на границе областей «А» и «В» (т. е. при $y = y_0$).

Для случая, когда сыпучая среда ограждена двумя параллельными стенами, расположенными на относительно небольшом расстоянии друг от друга, картина напряженного состояния останется такой же, только глубина h_A области «А» будет зависеть от расстояния между стенами «а» и определится из выражения (4), если положить $y_0 = \frac{a}{2}$ и решить относительно $x = h_A$ (рис. 2):

$$h_A = \frac{a}{2 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi'} \quad (15)$$

Уравнение (4), определяющее границу между областями «А» и «В», получено из предположения, что вес сыпучего тела, находящегося в области «В» полностью уравновешивается трением о стены. Тогда вертикальная нагрузка $Q'_{b-b'}$ на погонную единицу поперечного сечения $e-b'$, проведенного на глубине $h \leq h_A$ при условии, что торцевые стены значительно удалены, будет:

$$Q'_{b-b'} = \gamma \left(ha - 2 \int_0^h y_0 dx \right) = \gamma \left(ha - 2 \int_0^h n f' x dx \right),$$

где

$$n = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right); \quad f' = \operatorname{tg} \varphi'$$

Полагая в первом приближении, что n и f' постоянные, получим

$$Q'_{b-b'} = \gamma ha \left(1 - \frac{n f'}{a} h \right). \quad (16)$$

Для случая пространственной осесимметричной задачи, когда сыпучее находится в круглом цилиндрическом сосуде диаметром d , область «А» заключена в объеме «V», образованном вращением кривой $r_\theta = f'(z)$,

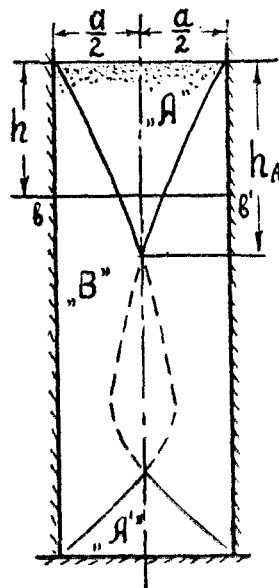


Рис. 2.

$$r_0 = \frac{d}{2} \sqrt{1 - \frac{4nf'}{d}} z. \quad (17)$$
$$h_A = z_{\max} = \frac{d}{4nf'} \quad (18)$$

69

$$\dot{Q}_{c-c'} = \gamma V = \gamma \pi \int_0^h r_0^2 dz$$

Полагая, как и ранее, что n и f' постоянные, получим:

$$Q_{c-c'} = \gamma h \frac{\pi d^2}{4} \left(1 - \frac{2nf'}{d} h\right). \quad (19)$$

Напряжения $\bar{R}_r$, $\bar{Z}_z$, $\bar{R}_z$, $\bar{\Theta}_\theta$, действующие в каждой точке сыпучей среды, заключенной в круглый цилиндрический сосуд и находящейся в состоянии покоя, либо связанного движения с постоянной скоростью V , суть функции:

$$\bar{R}_r = \bar{R}_r(r, z); \bar{Z}_z = \bar{Z}_z(r, z); \bar{R}_z = \bar{R}_z(r, z); \bar{\Theta}_\theta = \bar{\Theta}_\theta(r, z).$$

Отметим, что искомые напряжения в области «В» при фиксированном значении z зависят только от r :

$$\bar{R}_r = \bar{R}_r(r); \bar{Z}_z = \bar{Z}_z(r); \bar{R}_z = \bar{R}_z(r); \bar{\Theta}_\theta = \bar{\Theta}_\theta(r).$$

Система уравнений состояния сыпучей среды [3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{R}_r}{\partial r} + \frac{\partial \bar{R}_z}{\partial z} + \frac{\bar{R}_r - \bar{\Theta}_\theta}{r} - \bar{R} &= 0; \\ \frac{\partial \bar{R}_z}{\partial r} + \frac{\partial \bar{Z}_z}{\partial z} + \frac{\bar{R}_z}{r} - \bar{Z} &= 0; \\ (\bar{Z}_z - \bar{R}_r)^2 + 4\bar{R}_z^2 &= \sin^2 \varphi (\bar{Z}_z + \bar{R}_r)^2 \end{aligned}$$

и граничным условиям

$$\bar{R}_z \left(\frac{d}{2} \right) - f' R_r \left(\frac{d}{2} \right) = 0; \bar{R}_z(r_0) = 0$$

удовлетворяет следующая система функций:

$$\left. \begin{aligned} \bar{R}_r = \bar{\Theta}_\theta &= M_2 \\ \bar{Z}_z &= M_2 \psi(r) \\ \bar{R}_z &= M_2 \zeta(r) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

где

$$\psi(r) = \frac{1}{\cos^2 \varphi} (1 + 2 \sin \varphi \sqrt{1 - \xi^2 m^2 + \sin^2 \varphi}); \quad (21)$$

$$\zeta(r) = f' \xi; \quad (22)$$

$$M_2 = g \rho \frac{d^2 - 4r_0^2}{4f'd} \quad (23)$$

$$\xi = \frac{2(r - r_0)}{d - 2 \cdot r_0}; m = \frac{f'}{\tan \varphi} \quad (24)$$

Следовательно, здесь также как и в случае, когда сыпучее ограждено двумя параллельными стенками, вертикальное напряжение Z_z распреде-

лено по сечениям неравномерно, достигая максимального значения на границе областей «А» и «В» (т. е. при $r=r_0$).

Статической интерпретацией решения пространственной осесимметричной задачи является напряженное состояние круглого в плане свода очерченного кривой

$$Z = r' \frac{(r-r_0)^2}{d-2r_0}$$

вокруг оси Z.

Напряжение $\bar{R}_r$ соответствует радиальному усилию, $\bar{\Theta}_\theta$ — кольцевому, $\bar{R}_z$ — поперечным силам, $\bar{Z}_z$ — вертикальному усилию, причем большему из двух возможных при данном радиальном $\bar{R}_r$.

Для проверки полученных теоретических зависимостей в соответствии с предложенной методикой измерения давлений в сыпучих средах плавающими датчиками [2, 4] были получены напряжения $\bar{Z}_z$ и $\bar{R}_r$ в поперечных сечениях столба нормального песка (ГОСТ 6139—52), находящегося в круглом цилиндрическом сосуде $d = 315$ мм и высотой $H = 1500$ мм. Загрузка производилась по центру «струей» (средний коэффициент плотности укладки $K = 0,58$) и «дождем» ($K = 0,64$).

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 4 и 5. Из приведенных данных видно, что в случае загрузки сосуда «струей» (рис. 4) по высоте столба сыпучей среды имеются характерные участки I, II и III, высоты которых соответственно равны h_n , $H-h_n-h'_n$, h'_n ($h_n \approx h_A$, $h'_n \approx h'_A$).

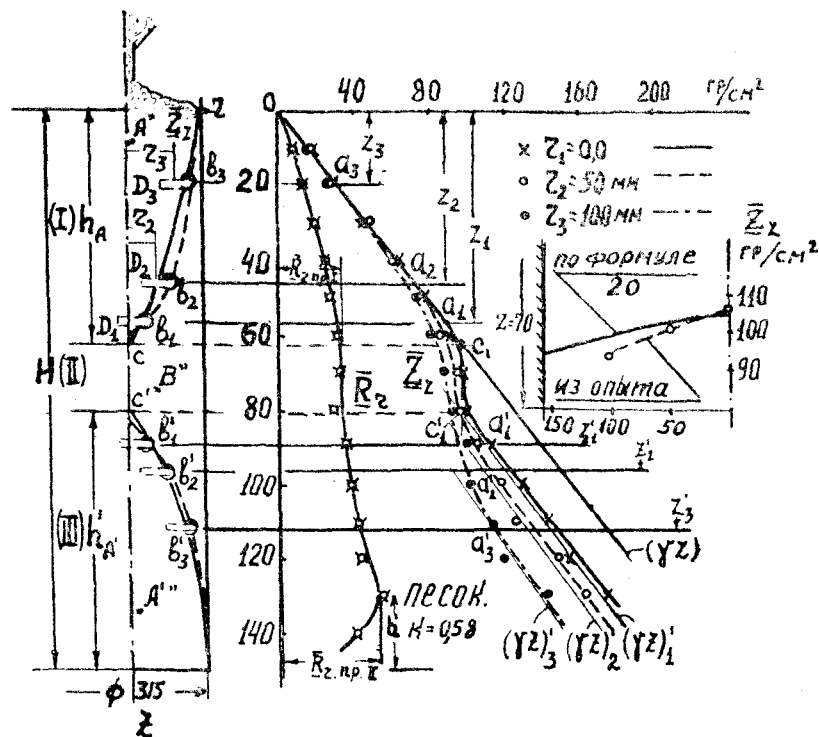


Рис. 4.

Напряжение $\bar{Z}_z$ при $r_1=0$ (т. е. по оси симметрии сосуда) на участке I растет линейно с глубиной, а при подходе к участку II, начиная с точки a_1 , лежащей на прямой (γz) несколько уменьшается. Это понижение напряжений $\bar{Z}_z$ (по данным опытов) объясняется тем, что датчик D_1 на этой глубине оказывается частично в области «В». На участке II, находящемся полностью в области «В», напряжение $\bar{Z}_z$ остается примерно постоянным. На участке III, начиная с точки a_1 , лежащей на прямой $(\gamma z)'_1$, напряжение $\bar{Z}_z$ продолжает расти так же линейно с глубиной.

При $r_2=50$ мм и $r_3=100$ мм характер изменения напряжений $\bar{Z}_z$ остается таким же, только точки a_2 и a_3 , начиная с которых происходит отклонение кривой напряжения $\bar{Z}_z$ от прямой (γz) , находятся на меньших глубинах (z_2, z_3).

Напряжение $\bar{R}_r$ на участке I растет по мере заглубления с некоторым затуханием обусловленным уменьшением коэффициента бокового давления $n = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$, величина которого зависит от угла внутреннего трения φ , и достигает на глубине h_A первого предельного значения $\bar{R}_r$ при r_1 . На участке II $\bar{R}_r = \bar{R}_r$ при r_1 остается постоянным, а на участке III, начиная с высоты h'_A продолжает расти и достигает второго предельного значения на высоте h' . Начиная с высоты h' , по мере приближения к твердому дну, наблюдается резкое падение распора, которое объясняется влиянием дна сосуда.

На основании полученных данных были построены кривые, разграничивающие области «А» и «В» (рис. 4, пунктир). Действительно, точки b_1, b_2, b_3 и b'_1, b'_2, b'_3 лежат на границах областей «А» и «В». Ординаты этих точек равны ординатам (глубинам) соответствующих точек a_1, a_2, a_3 и a'_1, a'_2, a'_3 , а абсциссы соответственно $r_1 + \frac{D}{2}, r_2 + \frac{D}{2}, r_3 + \frac{D}{2}$ (D — диаметр датчика).

Кривые границ областей, вычисленные по формуле (17) и нанесенные сплошной линией, весьма близки к экспериментальным точкам (рис. 4). Величина n , входящая в расчетную формулу (17), определялась путем деления величины $\bar{R}_r$ на соответствующее значение $\bar{Z}_z(0)$. Величина f' определялась настенным датчиком [4], установленным на стене прямоугольного сосуда. Хорошее совпадение кривых, разграничивающих области «А» и «В», и экспериментальных точек позволяет считать, что уравнение (17) отвечает действительности.

Аналогичная картина получена при загрузке сосуда «дождем» (рис. 5). В силу более высокой плотности укладки сумма глубин областей «А» и «В» оказалась большей, чем высота сосуда. Подтверждением служит то, что напряжения $\bar{Z}_z$ и $\bar{R}_r$ по оси симметрии растут непрерывно почти по всей высоте сосуда.

Сравнивая эпюру напряжений $\bar{Z}_z$ (рис. 4), вычисленную по формуле (20), с эпюрой, полученной непосредственно из опытов, можно видеть полнейшее их совпадение. Изложенное позволяет считать, что решение (20) отвечает действительности.

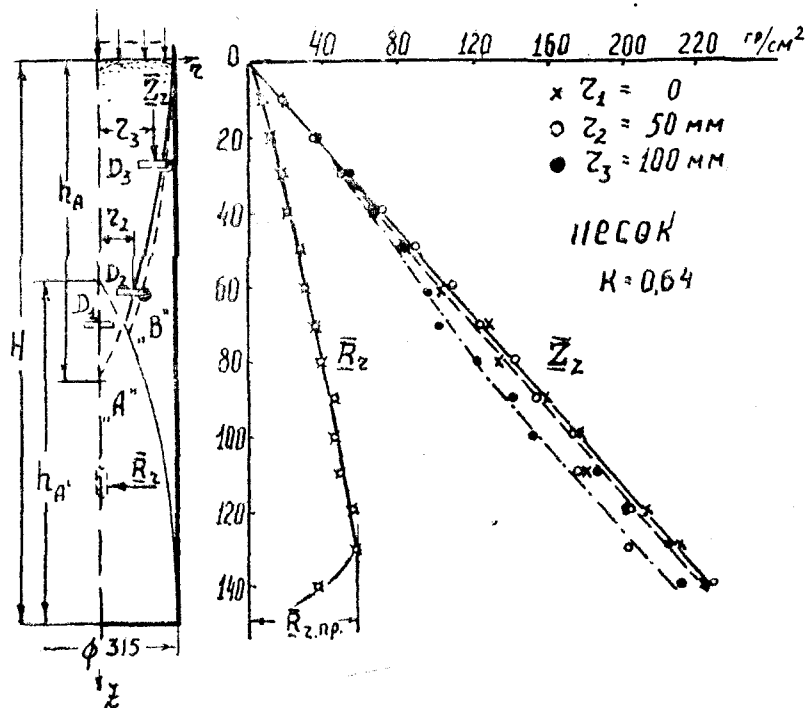


Рис. 5.

В сыпучей среде, ограниченной вертикальной стеной, имеют место две области «А» и «В» с различным механизмом передачи давлений.

В области «А» среда подвержена влиянию только сил тяжести, а в области «В» — еще и сил трения, возникающих между сыпучим и стеной. Граница между этими областями для плоской задачи определяется кривой

$$y_0 = x \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi'.$$

В случае, когда сыпучее ограничено двумя параллельными стенами, отстоящими друг от друга на расстоянии «а», или заключено в круглый цилиндрический сосуд диаметром «d», глубина области «А» определяется выражением:

$$h_A = \frac{a}{2 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi'};$$

$$h_A = \frac{d}{4 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi'}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Анато́льев А. В., Плато́нов П. Н. Труды Одесского технологического института, том 9, 1958 г.
 2. Ковтун А. П., Плато́нов П. Н. Измерение давления сыпучего тела по началу перемещения. «Известия высших учебных заведений. Пищевая технология», № 1, 1961 г.
 3. Генийев Г. А. Вопросы динамики сыпучей среды, Госстройиздат, 1958 г.
 4. Ковтун А. П., Плато́нов П. Н. Методы и приборы измерения давлений в сыпучих телах. Передовой научно-технический опыт, филиал ВИНТИ, тема 34, 1959 г.
-

ГЕОРГИ Н. Б.

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МОЙКИ ПШЕНИЦЫ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА

На современных предприятиях по переработке пшеницы в муку осуществляют мойку ее в целях интенсификации очистки покрова зерна от пыли и микроорганизмов, а также для увлажнения зерна перед кондиционированием. Применяемые для этой цели моечные машины недостаточно эффективны.

В настоящее время в технике для интенсификации процесса мойки и очистки деталей широко применяется ультразвук, рациональность применения которого подлежала исследованию для интенсификации процесса мойки пшеницы.

В этих целях были проведены экспериментальные исследования по мойке пшеницы в сосуде с сетчатым днищем при частоте ультразвука 15, 20, 30 и 50 кгц. Указанные частоты создавали магнитострикционные вибраторы, которые были подключены к ультразвуковому генератору, имеющему мощность на выходном каскаде 1,5 квт.

Мойку порции пшеницы проводили в порционной моечной установке (см. рис. 1), которая имела цилиндрическую ванну 1, в нижней части которой посредством фланцевого соединения 2 закреплен корпус 3 с вмонтированным в него сердечником магнитострикционного вибратора 4. Под основанием магнитостриктора приклеена пористая резина 6 толщиной 8 мм, предназначенная для излучения ультразвука в одном направлении [1]. Для охлаждения магнитостриктора во время его работы через штуцер 7 подается вода, удаляемая из корпуса 3 через трубку 8 со штуцером 9.

В верхней части магнитостриктора припаяна мембрана 5 из нержавеющей стали толщиной 2 мм, которая передает колебания воде, налитой в моечную ванну.

Для проведения опытов навеску пшеницы в 50 г помещали в цилиндрический сосуд, дно которого выполнено из металлотканого сита с размером ячеек 1×1 мм. Сосуд с зерном вносили в моечную ванну с водой, уровень которой был на 10 мм выше уровня обрабатываемого зерна. После обработки воду сливали в колбу, затем ее взбалтывали и путем фильтрации определяли количество пыли, отмытой с поверхности зерновок пшеницы. Для этого фильтры высушивали до постоянного веса. По разности весов фильтра до и после фильтрации определяли вес осадка. Затем фильтры с осадком сжигали в муфельной печи для определения зольности осадка.

Работа выполнена на кафедрах физики и технологического оборудования под руководством доцентов Ройха И. Л. и Котляра Л. И.

A technical cross-sectional drawing of a vacuum furnace. The main chamber is labeled 1. A horizontal partition, labeled 5, separates the upper chamber from the lower furnace section. On the left side of the partition, there is a flange or seal assembly labeled 2 and 3. The furnace section contains a vertical cylindrical core, labeled 4, which is surrounded by a helical heating coil, labeled 6. A thermocouple, labeled 8, is positioned to the right of the core. At the bottom of the furnace section, there is a base assembly with two electrical connections. Connection 7 is on the left, leading to a plug labeled 9. Connection 9 is on the right, also leading to a plug labeled 9. The entire unit is shown in a cross-section with hatching indicating different materials.

С целью установления продолжительности центрифугирования при числе оборотов ротора 1500 об/мин были проведены опыты, результаты которых представлены на рис. 2. После этого продолжительность центрифугирования во всех последующих опытах была установлена 5 минут.

Перед проведением экспериментов путем четырехкратной мойки пшеницы водой определяли первоначальную запыленность покрова зерновок.

где: P_y — осадок на фильтре, полученный при мойке пшеницы с применением ультразвука, г;

P_n — первоначальное содержание пыли в такой же навеске пшеницы, г.

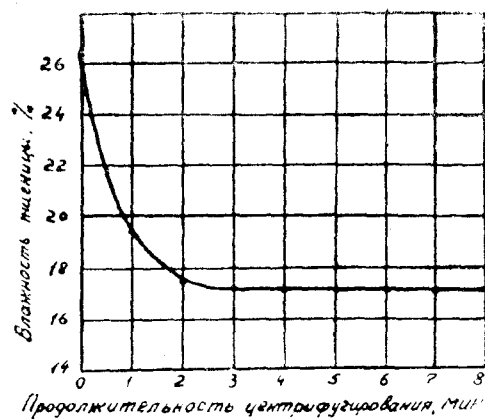


Рис. 2. Изменение влажности пшеницы в зависимости от продолжительности центрифугирования после мойки лопастной мешалкой. Время обработки 30 сек.; температура воды 18°C; исходная влажность пшеницы 16,6 %.

Первая серия опытов была проведена с целью установления влияния частот ультразвука 15, 20, 30 и 50 кгц на эффективность мойки пшеницы. Для сравнения такую же порцию зерна подвергали мойке в таком же по диаметру сосуде при помощи лопастной мешалки, вращающейся со скоростью 210 об/мин. Результаты экспериментальных исследований приведены в виде графиков на рис. 3. Из рассмотрения графических зависимостей следует, что при всех продолжительностях обработки от 5

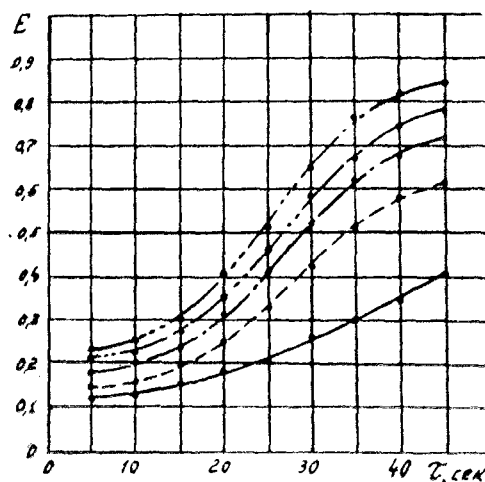


Рис. 3. Изменение эффективности мойки пшеницы в зависимости от частоты ультразвука и продолжительности обработки. Удельная акустическая мощность ультразвукового поля $N_y \approx 8$ вт/см², толщина слоя зерна $h = 7$ мм, запыленность пшеницы $P = 0,12$ %, количество мойшей воды $Q_B = 400$ см³.

..... частота 15 кгц, — · — частота 20 кгц, — · — частота 30 кгц, · · · · частота 50 кгц, ————— контрольная мойка.

до 45 сек. эффективность мойки с применением ультразвука частотой 15 кгц выше по сравнению с более высокими частотами. При продолжительности обработки 45 сек. показатель E выше, чем при контрольной мойке примерно в 2,5 раза.

Интенсивная мойка пшеницы с применением ультразвука объясняется тем, что при растяжении жидкости ультразвуковой волной образуются кавитационные пузырьки, которые при последующем сжатии ее лопаются, и наблюдается действие местных гидравлических ударов на поверхности оmyваемых зерновок. Такое гидродинамическое воздействие на зерновки приводит к интенсификации процесса очистки покрова их от пылевых отложений как с доступных частей, так и трудно доступных (складчатых). Температура воды при работе магнитостриктора повышалась примерно на 1°C .

Для получения более полного представления о влиянии ультразвука на процесс мойки пшеницы были проведены опыты при частоте 15 кгц с изменением продолжительности обработки в пределах 15—120 сек. с диапазоном 15 сек. Эффективность мойки пшеницы с помощью ультразвука в данной серии опытов оценивали обобщенным показателем, включающим эффективность мойки E , влажность и зольность зерна, зольность осадка на фильтре. Условия опытов приведены на рис. 4. Из рассмотрения графических зависимостей (рис. 4) следует, что с увели-

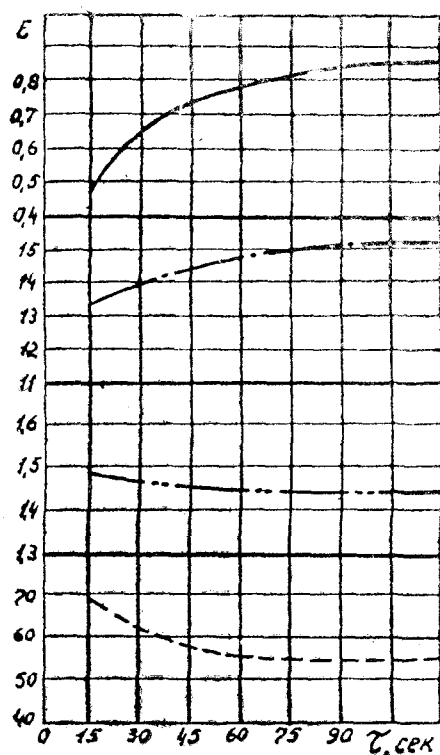


Рис. 4. Изменение эффективности мойки, влажности и зольности зерна, зольности осадка в зависимости от продолжительности обработки ультразвуком.

Исходная влажность пшеницы 12%, зольность 1,57%; $N_y \approx 8$ вт/см², $h = 7$ мм, $P = 0,02$ %, $Q_p = 400$ см³.

— эффективность мойки. — · — влажность зерна, — · — зольность зерна, — — — зольность осадка.

чением продолжительности обработки в интервале 15—60 сек. наблюдается резкое повышение эффективности мойки. Дальнейшее повышение продолжительности обработки до 120 сек. приводит к незначительному увеличению этого показателя. При увеличении продолжительности обработки влажность зерна повышается с 13,4% до 15,3%. Это обусловлено тем, что при воздействии ультразвуковых волн вода интенсивнее проникает в зерновку пшеницы.

В связи с тем, что с увеличением продолжительности обработки возрастает эффективность мойки, происходит дальнейшее снижение зольности зерна.

Из проведенных экспериментальных исследований можно сделать предварительный вывод, что ультразвук может быть применен для интенсификации процесса мойки пшеницы. Кроме того, для уменьшения технологически нерационального переувлажнения зерна, обработку следует вести в течение 30—35 сек., хотя это приводит к снижению показателя Е на 15—20%.

Для проверки полученных результатов была проведена серия экспериментов по мойке с помощью ультразвука рядовой пшеницы, перерабатываемой в октябре—ноябре 1961 г. на мелькомбинате № 2 в г. Одессе. Сравнение проводили с комбинированной моечной машиной ЗКМ-60. Полученные результаты показывают, что зольность зерна в комбинированной моечной машине (включая отжимную колонку) снижается примерно на 0,06%, в то время как применение ультразвука для мойки пшеницы приводит к снижению зольности примерно на 0,10%.

Таким образом, полученные предварительные результаты дают основание считать, что применение ультразвука рационально для интенсификации процесса мойки пшеницы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гершгал Д. А. и Фридман В. М. Ультразвуковая аппаратура. Госэнергоиздат. М.—Л., 1961.
-

ВАЙНБЕРГ А. А.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИГУРНОПЛАСТИНЧАТОГО ВОРОХООЧИСТИТЕЛЯ

Интенсификация рабочих процессов очистки свежееубранного зерна от крупной примеси является одной из актуальных технических задач. Особенно большие трудности встречаются при первичной очистке зерна, поступающего непосредственно от комбайнов в хлебозаготовительную систему в восточных районах страны. Это объясняется тем, что на Востоке период уборки зерна совпадает с обильным выпадением осадков, что влечет за собой большое содержание сырой крупной солоmistой примеси в высоковлажном зерне комбайнового обмолота.

Как известно, существующие зерноочистительные машины, успешно справляющиеся с очисткой сухого и даже влажного зерна, резко снижают свою производительность и эффективность действия при очистке сырого высокочистительного зерна.

К числу основных причин низкой эффективности действия ситовых сепараторов для первичной очистки высоковлажного зерна от крупной солоmistой примеси следует отнести несоответствие принципа их действия физико-технологическим свойствам обрабатываемого материала. Технически рациональное разделение последнего на составляющие возможно лишь при следующих условиях:

- а) весьма интенсивном протекании процессов стратификации и сепарации под действием динамических, фрикционных и макрогеометрических факторов;
- б) незабываемости отверстий разделяющей поверхности;
- в) возможности оперативного регулирования рабочего размера и формы отверстий в разделяющем органе.

В этой связи в Одесском технологическом институте была проведена опытно-конструкторская и научно-экспериментальная работа по изысканию нового рабочего органа сепаратора-ворохоочистителя. Сконструированный ворохоочистительный рабочий орган отличается технологически высокой эффективностью и производительностью по подаче при поточном перемещении трудно сепарируемого материала, что обеспечивается дифференцированным механическим воздействием на смесь, исходя из изменяющихся физических свойств ее на пути от приемного к сходовому концу сепаратора.

Рабочий орган (рис. 1) по длине разбит на три технологически взаимосвязанные зоны:

подготовительная зона для интенсивного самосортирования и расслоения смеси;

Работа выполнена на кафедре технологического оборудования под руководством кандидата технических наук доцента Котляра Л. И.

рабочая зона для отделения в виде проходового продукта нижнего слоя, состоящего, главным образом, из зерна;

контрольно-сходовая зона для направления в сходовой продукт крупных солоmistых примесей, обладающих сравнительно малым удельным и объемным весом, большими, чем зерновки, размерами, а в проходовой продукт — невыделенной в рабочей зоне части зерновок и мелких солоmistых примесей.

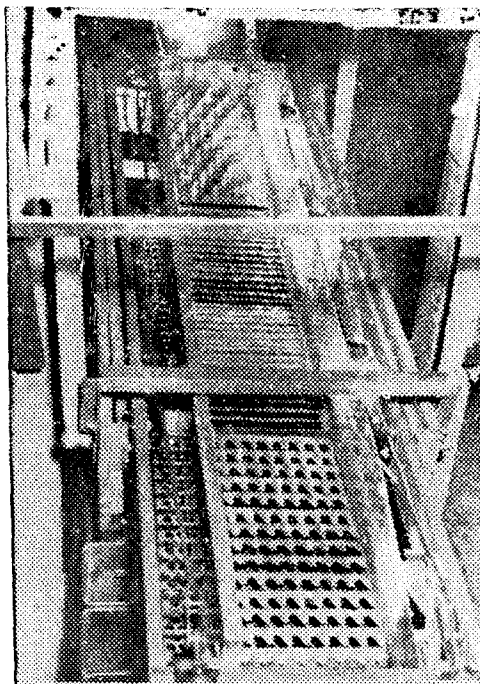


Рис. 1. Рабочий орган сепаратора-ворохоочистителя.

Подготовительная зона представляет сплошной металлический лист с размещенными на нем в шахматном порядке четырехгранными стратифицирующими призмами с основанием в виде параллелограмма, острые углы которого соразмерены в направлении движения материала. При поступательно-возвратном движении рабочего органа призмы разрыхляют нижние слои, способствуют разрушению сводов, создают в смеси пустоты, заполняемые затем удобообтекаемыми зерновками, имеющими сравнительно с солоmistыми примесями больший удельный вес и меньшие линейные размеры.

Рабочая зона состоит из закрепленных на коленчатых осях фигурных стратифицирующих элементов, совокупно образующих своеобразное сито с оперативно регулируемыми параметрами: высотой и углом атаки указанных элементов, живым сечением жалюзийной решетки. Экспериментально избранная в качестве наиболее рациональной гребенчатая форма скругленных выступов способствует непрерывному рыхлению зерна и солоmistых примесей; последние в результате этого образуют верхний слой, подвижный в продольном и поперечном направлениях, а для зерна создаются условия интенсивного просеивания.

Контрольно-сходовая зона состоит из стратифицирующих элементов с оперативно регулируемым углом наклона их; конструкция этих эле-

ментов аналогична гребенкам, применяемым в зерноочистке самоходных комбайнов С-4. Углы атаки и форма последних способствуют подбрасыванию и ускоренному перемещению крупных солоmistых примесей в сборник для схода, а также частичному выделению в проход зерновок и мелких примесей.

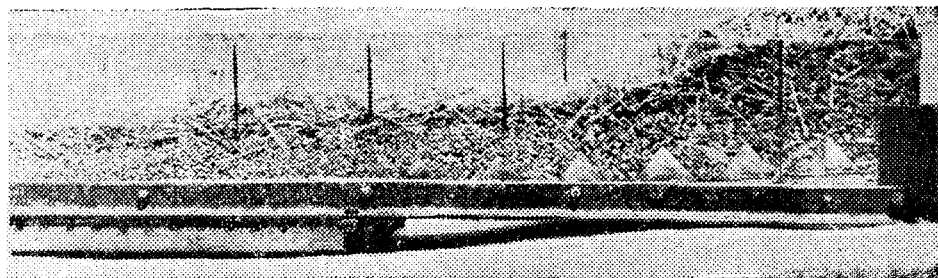


Рис. 2. Расслоение зерновой смеси.

Таким образом, на смесь при ее перемещении от приемного к сходовому концу рабочего органа, совершающего гармонические поступательно-возвратные качания вдоль горизонтальной прямой, действуют переменные по модулю и направлению силы; последние обуславливают своеобразное гравитационное обогащение, по характеру и кинетике процесса трактуемое нами «динамической отсадкой» частиц с различными размерами, формой и удельным весом. Этому способствует беспорядочное движение частиц в условиях гравитационного поля и неравномерно напряженного состояния смеси. Механическое взаимодействие между частицами приводит к изменению их кинематического состояния и количества движений.

Непрерывное влияние на смесь стратифицирующих элементов рабочего органа исключает возможность совместного с ним движения частиц сепарируемого материала. Под влиянием указанных элементов, ориентированные в направлении абсолютного перемещения смеси и расположенные в верхних слоях солоmistые примеси перемещаются более свободно и поэтому быстрее, чем опустившиеся через «постель» зерновки; последние перемещаются стесненно в практически ограниченных стратифицирующими элементами ячейках. Наоборот, в отстающем движении против стратифицирующих элементов солоmistые примеси перемещаются медленнее; это обуславливает повышение равномерности их распределения по ширине рабочего органа под действием одностороннего давления смеси, непрерывно подаваемой питателем. В связи с изложенным можно заключить, что в предлагаемой системе создаются условия для интенсивного выделения зерна в проход, а солоmistых примесей в сход. Поворотные стратифицирующие элементы в зависимости от интенсивности подачи смеси, физических свойств ее, а также от соотношения зерновой и солоmistой составляющих, могут быть оперативно ориентированы относительно линии качания рабочего органа так, чтобы обеспечить технологически оптимальный режим рабочего органа. На рис. 2 представлено сфотографированное в различных зонах рабочего органа расслоение смеси влажностью 30% при весовом содержании в ней 6% солоmistых примесей.

Таким образом, рабочий орган сепаратора-ворохоочистителя обеспе-

чивает дифференцированное механическое воздействие стратифицирующих элементов на обрабатываемую зерновую массу для сепарирования ее при различных режимах, соответствующих изменяющимся физико-технологическим свойствам ее при перемещении по рабочему органу.

Результаты научно-экспериментального исследования ворохоочистительного рабочего органа, проведенные в лабораторных (рис. 3) и в

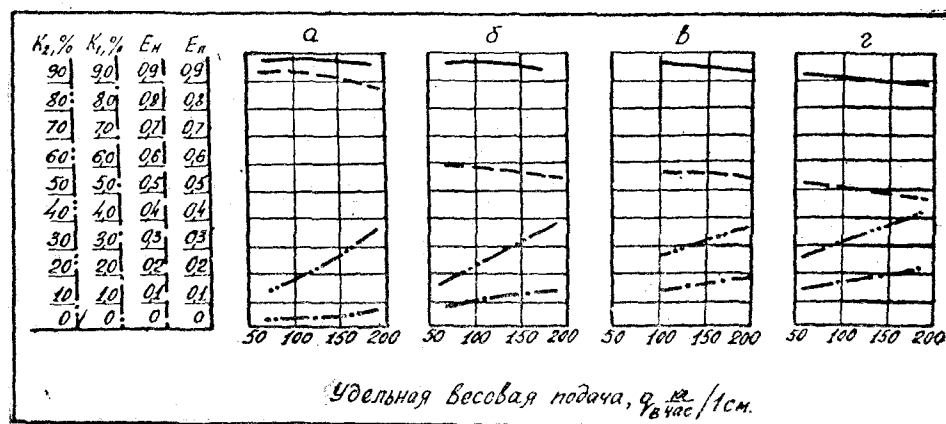


Рис. 3. Результаты лабораторных исследований.
Состав исходной смеси:

- а) пшеница рядовая—94%, ворох—6%. Средневзвешенная влажность смеси 12%;
 б) пшеница рядовая—90%, ворох—10%. Средневзвешенная влажность смеси 12%;
 в) пшеница рядовая—80%, ворох—20%. Средневзвешенная влажность смеси 12%;
 г) пшеница рядовая—80%, ворох—20%. Средневзвешенная влажность смеси 30%.

— Условие опытов: $a = 15$ мм, $n = 400$ кач/мин; $\alpha = 2^\circ$; $\beta = 10^\circ$; $\gamma_1 = \gamma_2 = 80^\circ$; $\gamma_3 = 45^\circ$; $\gamma = 15^\circ$.

Условные обозначения:

E_n = вес проходовой фракции в $\frac{\text{проходе}}{\text{исходном продукте}}$;

E_n = вес сходовой фракции в $\frac{\text{сходе}}{\text{исходном продукте}}$;

K_1 = вес $\frac{\text{сходовой фракции в проходе}}{\text{прохода}}$, %;

K_2 = вес $\frac{\text{зерна в сходе}}{\text{схода}}$, %.

производственных (рис. 4) условиях, показали, что он вполне удовлетворительно справляется с поставленной перед ним задачей — очисткой высокозасоренного крупной примесью сырого зерна при технологической эффективности, определяемой высоким отбором крупной соломистой примеси. При этом мелкие соломистые примеси в зерне могут быть удалены в пневмосепарирующих устройствах при скорости воздушного потока 6—7 м/сек.

Подводя итоги, можно указать, что выполненное научно-экспериментальное исследование эффективности действия предлагаемого рабочего органа ворохоочистителя в широком диапазоне изменения нагрузочных, кинематических, геометрических параметров сепаратора и физико-технологических свойств обрабатываемой смеси, позволяет рекомендовать следующий режим:

весовая подача смеси на 1 погонный см приемного фронта ворохо-

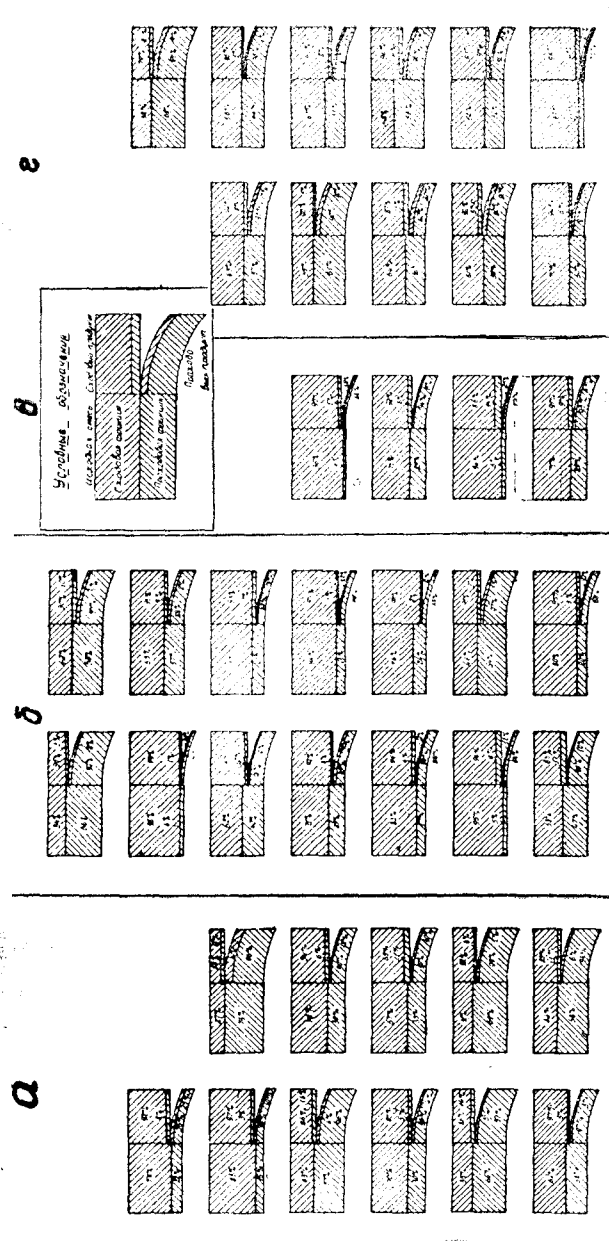


Рис. 4. Результаты производственных испытаний рабочего органа сепаратора-ворохоочистителя.

Удельная ресовая подача $\frac{\text{кг}}{\text{час} \cdot \text{см}}$:

- а) 400—500; б) 500—600;
- в) 600—700; свыше 700.

очистителя $400 \div 500$ кг/час при напряженности 1 м^2 рабочей поверхности его $15 \div 18$ т/час;

частота и амплитуда качаний рабочего органа, соответственно $n = 400$ кач/мин и $a = 15$ мм, т. е. $an = 6$ м/мин;

ориентация рабочего органа в пространстве, определяемая углом наклона его к горизонту $\alpha = 2^\circ$ и отклонением шарнирных подвесок в их среднем положении от вертикали $\beta = +10^\circ$;

при общей длине рабочего органа 1800 мм длины подготовительной, рабочей и контрольно-сходовой зон соответственно 400, 800 и 600 мм;

возможность оперативного отклонения стратифицирующих элементов от вертикали в пределах $\gamma_1 \div \gamma_4$ от 10 до 80° на каждом участке рабочей и контрольно-сходовой зоны.

Высокая удельная весовая подача позволяет использование нового рабочего органа как в высокопроизводительных зерноочистительных машинах элеваторной промышленности, так и средней производительности — в сельском хозяйстве. Конструктивное решение рабочего органа создает материальные предпосылки для автоматического регулирования режима очистки путем изменения угла атаки элементов в зависимости от загрузки машины.

СОЛОИД С. А.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЦЕПТОВ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ

Наукой и практикой кормления сельскохозяйственных животных установлено, что наилучшее использование питательных веществ достигается при скормливании им комбинированного корма, в котором недостающее количество питательных веществ, содержащихся в обычных кормах, дополняется за счет введения в него специальных добавок. Этим объясняется то значение, которое придается комбикормам в семилетнем плане развития народного хозяйства страны (производство комбикормов должно быть доведено до 18—20 млн. тонн против 3,2 млн. тонн в 1957 году).

Получение максимального эффекта в животноводстве при скормливании комбикормов обусловлено:

а) выбором нужных ингредиентов (главным образом исходят из имеющихся в наличии); б) определением процентного содержания каждого ингредиента в смеси в целом и соотношения их между собой; в) учетом экономических факторов (стоимость, трудоемкость и др.). В разных условиях критерии эффективности могут быть различными, а это существующая методика составления рецептов комбикормов не учитывает.

В исследовании, применяя современные методы аналитического исследования, даются необходимые рекомендации для отыскания наиболее оптимального варианта рецептуры комбикормов при выполнении основных требований зоотехнии. Поставленная задача может быть сформулирована коротко так: найти рецепт комбикорма при соблюдении всех перечисленных ранее условий, определяющих наиболее эффективное использование сырья при приготовлении комбикормов. В данном случае мы принимаем оценку питательных свойств комбикормов в кормовых единицах за основную, поскольку таковая в настоящее время широко распространена. Если наукой будет предложена более полная оценка, то ее можно использовать аналогично. Излагаемая методика по мере накопления наукой новых данных дает возможность вводить их в расчет. Чем больше научно обоснованных ограничений, налагаемых в каждом частном случае на комбикорм, будет учитываться при расчете, тем ближе к оптимальному будет рассчитываемый рецепт, и, значит, тем больше будет экономический эффект. Математически эту задачу можно записать следующим образом [1]. Пусть дано i видов кормов и j питательных веществ, заключенных в них; a_{ij} — будет означать количество питательного вещества j , содержащееся в единице веса корма i

Работа выполнена на кафедре механизации и автоматизации производства под руководством доктора технических наук профессора Платонова П. Н.

(см. табл. 1); k_i — оценку единицы веса корма в кормовых единицах; c_i — стоимость единицы веса корма и b_j — количество перевариваемого животным данного питательного вещества j , которое должно содержаться в 100 весовых единицах комбикорма. Тогда x_i — количество ингредиента i , численно равное процентному содержанию его в комбикорме. Все рассматриваемые величины по смыслу не могут быть отрицательными.

Таблица 1

Ингредиенты		П и т а т е л ь н ы е в е щ е с т в а								Число кормовых единиц, содержащихся в 1 единице ингредиента	Стоимость одной единицы ингредиента
		1	2	3		j		m			
1	Овес	a_{11}	a_{12}	a_{13}		a_{1j}		a_{1m}	k_1	C_1	
2	Ячмень	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2j}		a_{2m}	k_2	C_2	
3	Кукуруза	a_{31}	a_{32}	a_{33}		a_{3j}		a_{3m}	k_3	C_3	
.	.								.	.	
.	.								.	.	
i	Отруби	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}		a_{ij}		a_{im}	k_i	C_i	
.	.								.	.	
.	.								.	.	
.	.								.	.	
p	Мел	a_{p1}	a_{p2}	a_{p3}		a_{pj}		a_{pm}	k_p	C_p	
Всего в 100 единицах комбикорма должно содержаться вещества j		b_1	b_2	b_3		b_j		b_m			

В 100 весовых единицах комбикорма должно содержаться данного питательного вещества j в количестве, не превосходящем $\bar{b}_j$ и не меньшим $\underline{b}_j$, т. е.:

$$\underline{b}_j \leq \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq \bar{b}_j, \text{ где } j=1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

При составлении рецепта комбикорма может иметь место случай, когда присутствие в смеси каких-либо ингредиентов x_i должно быть не большим определенного количества $x_{i\max}$ и не меньшим $x_{i\min}$. Если $x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}$, то, подставляя в неравенства (1) переменную

$$\bar{x}_i = x_i - A_i, \quad (2)$$

где $A_i = x_{i\min}$,

получим систему неравенства вида

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \bar{x}_i \leq \bar{b}_j - \sum_{i=1}^n a_{ij} A_i, \quad (3)$$

в которой уже $0 \leq \bar{x}_i \leq x_{i\max} - A_i$.

Такие пределы изменения x_i при расчете более удобны.

Поскольку расчет ведется на 100 весовых единиц комбикорма, необходимо добавить следующее уравнение:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 100. \quad (4)$$

Число кормовых единиц, содержащихся в 100 единицах комбикорма,

$$K = \sum_{i=1}^l k_i x_i \quad l < n \quad (5)$$

Стоимость C такого количества комбикорма будет:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (6)$$

Задача определения рецепта комбикорма сводится к решению системы неравенств вида (1—4) плюс функции-критерия, которая должна достигать экстремума при соответствующих значениях x_i , удовлетворяющих системе (1—4).

Рассмотрим следующие варианты задачи.

I. Найти рецепт самого дешевого комбикорма. В этом случае к системе (1, 4) добавляем функцию-критерий стоимости C при наложении ограничения на число кормовых единиц смеси (не менее K_0), т. е.

$$C = \sum_{i=1}^n c_i x_i = C_{\min} \quad (7)$$

$$\text{при} \quad \sum_{i=1}^l k_i x_i \geq K_0 \quad l < n$$

II. Найти рецепт комбикорма, содержащий максимальное количество кормовых единиц. Здесь к системе (1, 4) добавляем функцию-критерий K и ограничение по стоимости (не более C_0), т. е.

$$K = \sum_{i=1}^l k_i x_i = K_{\max} \quad l < n \quad (8)$$

$$\text{при} \quad \sum_{i=1}^n c_i x_i \leq C_0$$

III. Найти рецепт комбикорма, в котором на единицу стоимости приходилось бы максимальное число кормовых единиц (величиной, обратной последней, является минимальная стоимость одной кормовой единицы данного комбикорма). К системе (1, 4) добавляем функцию-критерий, которая имеет вид:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^l k_i x_i}{\sum_{i=1}^n c_i x_i} = Q_{\max} \quad (9)$$

Последний критерий определяет минимальную стоимость одной кормовой единицы составляемого комбикорма и является показателем экономической эффективности корма.

Для решения первых 2 вариантов задачи могут быть использованы методы линейного программирования [1, 2, 3]. В силу нелинейности (9), 3-й вариант не решается методами линейного программирования. Решение этого варианта было получено с помощью математической модели типа МПТ-8.

Проиллюстрируем вышеизложенное на примере. Возьмем рецепт № 12/14 комбикорма для откорма крупного рогатого скота (взрослого), в который входит 6 ингредиентов (см. табл. 2).

Таблица 2

№ п. п.	Ингредиенты	Кормовых единиц в 1 кг	Перевариваемого протеина, %	Клетчатки, %	Натрия, г/кг	Калия, г/кг	Кальция, г/кг	Фосфора, г/кг	Стоимость, руб. за тонну	Согласно рецепту 12/14	Максимальная норма, %
1	Зерно пшеничное	1,195	11,7	2,1	1,59	4,55	0,59	4,79	67	10	30
2	Ячмень	1,225	7,53	4,9	0,4	4,57	0,86	5,43	67	10	30
3	Отруби пшеничные	0,78	13,8	8,5	0,58	8,79	2,4	8,78	30	60	60
4	Зерновые отходы (50--70)	0,76	11,5	2	0,3	5,3	5,1	2,2	47	17	30
5	Мел	—	—	—	3,4	4,94	369,5	1,78	14,2	2	2
6	Соль	—	—	—	67,2	—	—	—	23,4	1	1
В 100 кг комбикорма должно быть согласно 12/14 рецепту		83,92	12,158	6,14	433,9	718,58	984,2	669,96	3,99	—	—

Согласно ГОСТу на рецепт № 12/14 положено на 100 кг комбикорма [4, 5]:

- 1) кормовых единиц — не менее 75;
- 2) отношение перевариваемого протеина к числу кормовых единиц — не менее 100 г на кормовую единицу;
- 3) клетчатки — не более 12%;
- 4) отношение натрия к калию, содержащихся в комбикорме, должно быть в пределах 0,5—0,7. Выберем это отношение равным 0,6;
- 5) отношение фосфора к кальцию должно быть в пределах 0,55—0,9. Выберем это отношение равным 0,7.

Учитывая эти ограничения и данные таблицы 2, систему (1, 4) запишем в виде:

$$\begin{aligned}
 1. & 1,195x_1 + 1,225x_2 + 0,78x_3 + 0,76x_4 \geq 75 \\
 2. & \frac{0,117x_1 + 0,0753x_2 + 0,138x_3 + 0,115x_4}{1,195x_1 + 1,225x_2 + 0,78x_3 + 0,76x_4} \geq 0,1 \\
 3. & 0,021x_1 + 0,049x_2 + 0,085x_3 + 0,02x_4 \leq 12 \\
 4. & \frac{1,59x_1 + 0,4x_2 + 0,58x_3 + 0,3x_4 + 3,45x_5 + 367,2x_6}{4,55x_1 + 4,57x_2 + 8,79x_3 + 5,3x_4 + 4,94x_5} = 0,6 \\
 5. & \frac{4,79x_1 + 5,43x_2 + 8,78x_3 + 2,2x_4 + 1,78x_5}{0,59x_1 + 0,86x_2 + 2,4x_3 + 5,1x_4 + 369,5x_5} = 0,7 \\
 6. & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 100 \\
 7. & 12. \quad x_1 \leq 30; \quad x_2 \leq 30; \quad 20 \leq x_3 \leq 60; \quad x_4 \leq 30; \quad x_5 \leq 2; \quad x_6 \leq 1;
 \end{aligned} \quad (I)$$

Из уравнения (4—I):

$$10^3x_6 = 3,1046x_1 + 6,3780x_2 + 12,7832x_3 + 7,8431x_4 - 1,3235x_5 \quad (1')$$

Из уравнения (5—I) найдем

$$10^3x_5 = 17,0397x_1 + 18,7955x_2 + 27,6404x_3 - 5,3334x_4 \quad (2')$$

Подставляя (1') и (2') в (6—I), найдем

$$x_4 = 99,7506 - 1,0176x_1 - 1,0226x_2 - 1,0378x_3 \quad (3')$$

1) Допустим, для общности, что x_3 имеет отличное от нуля $x_{3 \min} = 20$.

Подставляя (1'—3') в систему (I), получим систему:

$$\left. \begin{aligned} 1. & 0,4216x_1 + 0,4478x_2 - 0,0087x_3 \geq 0,8105 \\ 2. & 4,2186x_1 + 8,7081x_2 - 1,9526x_3 \leq 389,0273 \\ 3. & 0,0648x_1 + 2,8548x_2 + 6,4244x_3 \leq 1000,4988 \\ 4. & 99,7506 - 1,0176x_1 - 1,0226x_2 - 1,0378x_3 \leq 30 \\ 5. & -532,0099 \cdot 10^{-3} + 22,4670 \cdot 10^{-3}x_1 + 24,2494 \cdot 10^{-3}x_2 + 33,1754 \cdot 10^{-3}x_3 \leq 2 \\ 6. & 783,0580 \cdot 10^{-3} - 4,9062 \cdot 10^{-3}x_1 - 1,6745 \cdot 10^{-3}x_2 + 4,5997 \cdot 10^{-3}x_3 \leq 1 \\ 7. & x_1 \leq 30 \\ 8. & x_2 \leq 30 \\ 9. & 20 \leq x_3 \leq 60 \end{aligned} \right\} \text{ (II)}$$

Учитывая последние три неравенства системы (II), исключаем второе и третье неравенства, так как:

1. При: $x_1=30$; $x_2=30$; $x_3=0$; $26,0820 \geq 0,8105$ исключать нельзя.
2. При: $x_1=30$; $x_2=30$; $x_3=0$; $387,8010 \leq 389,0273$ исключаем
3. При: $x_1=30$; $x_2=30$; $x_3=60$; $473,0520 \leq 1000,4988$ исключаем.
4. При: $x_1=0$; $x_2=0$; $x_3=20$; $78,9946 \leq 30$ исключать нельзя.
5. При: $x_1=30$; $x_2=30$; $x_3=60$; $2,86 \leq 2,0$ исключать нельзя.
6. При: $x_1=0$; $x_2=0$; $x_3=60$; $1,0590 \leq 1$ исключать нельзя.

В последнем уравнении системы (II) переменная x_3 ограничена не только сверху, но и снизу. Введем новую переменную

$$x_3 = z_3 + 20 \quad (4')$$

Тогда с учетом вышесказанного система (II) запишется так:

$$\left. \begin{aligned} 0,4216x_1 + 0,4478x_2 - 0,0087z_3 & \geq 0,9845 \\ 1,0176x_1 + 1,0226x_2 + 1,0378z_3 & \geq 48,9946 \\ -0,4906x_1 - 0,1675x_2 + 0,4600z_3 & \leq 12,4948 \\ 0,2247x_1 + 0,2425x_2 + 0,3318z_3 & \leq 18,6850 \\ x_1 \leq 30; x_2 \leq 30; z_3 & \leq 40 \end{aligned} \right\} \text{ (III)}$$

Функции-критерии (7), (8) и (9) согласно таблице 2 запишутся следующим образом:

$$C = 6,7x_1 + 6,7x_2 + 3,0x_3 + 4,7x_4 + 1,42x_5 + 2,34x_6 \quad (5')$$

$$K = 1,195x_1 + 1,225x_2 + 0,78x_3 + 0,76x_4 \quad (6')$$

$$Q = \frac{1,195x_1 + 1,225x_2 + 0,78x_3 + 0,76x_4}{6,7x_1 + 6,7x_2 + 3,0x_3 + 4,7x_4 + 1,42x_5 + 2,34x_6} \quad (7')$$

Выражая (5'), (6') и (7') через x_1 , x_2 , z_3 , получим:

$$C = 433,5071 + 1,9377x_1 + 1,9242x_2 - 1,8199z_3 \quad (8')$$

$$K = 75,6365 + 0,4216x_1 + 0,4478x_2 - 0,0087z_3 \quad (9')$$

$$Q = \frac{75,6365 + 0,4216x_1 + 0,4478x_2 - 0,0087z_3}{433,5071 + 1,9377x_1 + 1,9242x_2 - 1,8199z_3} \quad (10')$$

Для нахождения максимума Q воспользуемся методом градиента [6], который заключается в том, что в точке M_0 (см. рис. 1) отыскивается направление градиента Q , т. е. направление наискорейшего ее изменения. Совершив «шажки» вдоль осей координат и найдя частные произ-

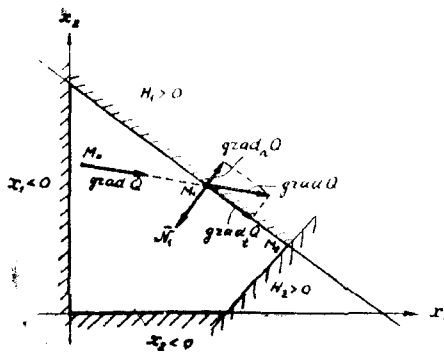


Рис. 1

Нам требуется найти максимум функции

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^l k_i x_i}{\sum_{i=1}^n c_i x_i} \quad \begin{array}{l} k_i = \text{Const} \\ c_i = \text{Const} \\ x_i \geq 0 \end{array}$$

Кроме того, наложены ограничения:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j, \dots, \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j \quad \begin{array}{l} a_{ij} = \text{Const} \\ b_j = \text{Const} \end{array} \quad (10)$$

Так как функция Q непрерывна и дифференцируема в любой точке пространства $\{x_i\}$, то можно определить вектор градиента

$$\text{grad } Q = \nabla Q = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Q}{\partial x_i} \bar{i}_i, \quad (11)$$

где $\bar{i}_i$ — орты, т. е. единичные векторы осей координат.

Граница области допустимых значений x_i , определяемая соответствующим неравенством (10), имеет вид равенства

$$H_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i - b_j = 0 \quad (12)$$

Это уравнение гиперплоскости в пространстве $\{x_i\}$. Условие

$$H_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i - b_j < 0 \quad (13)$$

имеет место с одной стороны от этой гиперплоскости. Определим теперь вектор $\bar{N}_j$, нормальный к j пограничной линии $H_j = 0$ и направленный внутрь дозированной области. В качестве такового вектора можно, очевидно, избрать $(-\text{grad } H_j)$, т. е.

$$\bar{N}_j = -\text{grad } H_j = -\sum_{i=1}^n a_{ij} \bar{i}_i \quad (14)$$

Определим m величин $\delta_1, \dots, \delta_m$ следующими условиями:

водные $\frac{\partial Q}{\partial x_i}$, можно определить направление градиента (при нахождении минимума Q нужно сделать небольшое перемещение в сторону, противоположную направлению градиента, т. е. в направлении наибольшего уменьшения функции Q). Попадаем в точку M_1 . Здесь, определив новое направление градиента, перемещаемся в новую точку M_2 и т. д. При наличии функции Q , заданной формулой (10'), составляющие градиента есть заранее известные функции точки.

$$\delta_j = \begin{cases} 0, & \text{если } H_j < 0 \\ 1, & \text{если } H_j > 0 \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{Пусть имеем вектор } \bar{f} = K \operatorname{grad} Q + \sum_{j=1}^m \delta_j \bar{N}_j \quad (16)$$

Пользуясь уравнениями (11, 14), находим

$$\bar{f} = \sum_{i=1}^n \left(K \frac{\partial Q}{\partial x_i} - \sum_{j=1}^m \delta_j a_{ij} \right) \bar{i}_i \quad (17)$$

Составляющие вектора $\bar{f}$ зависят от координат точки в пространстве $\{x_i\}$. Положение точки в пространстве $\{x_i\}$ выражается радиусом-вектором

$$\bar{r} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \bar{i}_i \quad (18)$$

Скорость изображающей точки выражается вектором

$$\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{dt} \quad (19)$$

Допустим, что собрана модель, для которой уравнение движения имеет вид

$$\frac{d\bar{r}}{dt} = \gamma \bar{f}, \quad (20)$$

где $\gamma = \text{Const}$.

Из формулы (16) следует, что внутри допустимой области скорость $\frac{d\bar{r}}{dt}$ будет направлена по $\operatorname{grad} Q$, т. е. в направлении наибольшего возрастания Q . На границе допустимой области траектория изображающей точки становится более сложной, но, как показано ниже, в общем, проходит вдоль границы, не заходя заметно в «запрещенную» область.

Уравнения (20) может быть записано для координат x_i , если учесть (17), следующим образом:

$$\frac{dx_i}{dt} = \gamma \left(K \frac{\partial Q}{\partial x_i} - \sum_{j=1}^m \delta_j a_{ij} \right) \quad (21)$$

Изображающая точка движется в допустимой области со скоростью $\gamma K \frac{\partial Q}{\partial x_i}$ до тех пор, пока она не достигнет некоторой j -й границы. Например, на рис. 1 изображающая точка движется по линии градиента $M_0 M_1$, ортогональной линиям $Q = \text{const}$, до точки M_1 , лежащей на границе $H_1 = 0$ (отрезок $M_0 M_1$ представляет собой отрезок кривой в случае нелинейной функции Q). Начиная от точки M_1 , скорость движения определяется уже не вектором $\gamma K \operatorname{grad} Q$, а

$$\gamma (K \operatorname{grad} Q + \bar{N}_j) = \gamma (K \operatorname{grad} Q - \operatorname{grad} H_j) \quad (22)$$

Условимся, что $N_j = |\bar{N}_j|$ больше, чем нормальная к гиперплоскости $H_j = 0$ составляющая вектора $K \operatorname{grad} Q$. Разложим вектор $\operatorname{grad} Q$ в точке M_1 на две составляющие: нормальную к гиперплоскости $H_j = 0$ со-

ставляющую $\text{grad}_n Q$ и тангенциальную, т. е. лежащую в этой плоскости составляющую $\text{grad}_t Q$. Согласно условию

$$|\bar{N}_j| > |K \text{grad}_n Q| \quad (23)$$

резльтирующий вектор $\gamma (K \text{grad}_t Q - \bar{N}_j)$ будет иметь тангенциальную составляющую $K \text{grad}_t Q$ и нормальную составляющую $\bar{N}_j - K \text{grad}_n Q$, направленную внутрь «дозволенной» области. Таким образом, точка, сохраняя движение вдоль границы со скоростью $\gamma K \text{grad}_t Q$, одновременно оттолкнется от границы, удаляясь от нее со скоростью $\gamma (\bar{N}_j - K \text{grad}_n Q)$. Если в системе имеются неучтенные уравнением (20), но достаточно малые постоянные времени, то процесс будет протекать следующим образом: система «по инерции» зайдет чуть за пределы дозволенной области, затем вернется обратно в дозволенную область, опять пойдет к границе и т. д. В итоге возникнет «дрожание» малой амплитуды на границе с уравнением $N_j = 0$. Однако одновременно будет происходить и движение вдоль $N_j = 0$ со скоростью $\gamma K \text{grad}_t Q$ до тех пор, пока

$$K \text{grad}_t Q \cdot \bar{N}_j < 0 \quad (24)$$

Условия (23) можно переписать при наличии (24) так:

$$-K \text{grad}_t Q \cdot \bar{N}_j < N_j^2 \quad (25)$$

Если подставить сюда выражение (11) и (14), то придем к условию, налагаемому на K :

$$K < \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}{\sum_{i=1}^n a_{ij} \frac{\partial Q}{\partial x_i}} \quad (26)$$

Это условие должно удовлетворяться для каждого j , чтобы подобное движение могло иметь место вдоль любой из границ $N_j = 0$. На рисунке 1 изображающая точка будет из положения M_1 двигаться со скоростью $\gamma K \text{grad}_t Q$ в положение M_2 , где она остановится, так как начнет «отскакивать» как от границы $N_1 = 0$, так и от границы $N_2 = 0$. В итоге (в двухмерном случае) изображающая точка будет «дрожать» возле M_2 . Таким образом, максимум Q , если он соответствует именно этой точке, будет найден. Уравнения (13), (15) и (21) могут быть воспроизведены на электронной модели. Применим эту методику к третьему варианту задачи¹. Для удобства набора задачи в уравнении (10') уменьшим знаменатель в 4 раза, что правомерно, поскольку нас не интересует в данном случае абсолютная величина максимума Q , а только набор x_i , при котором Q достигает максимума. Тогда, округляя, получим

$$Q = \frac{75,64 + 0,422x_1 + 0,448x_2 - 0,0087z_3}{108,38 + 0,484x_1 + 0,481x_2 - 0,455z_3} \quad (11')$$

Составляющие градиента Q будут:

$$Q = \frac{a + ax_1 + bx_2 + cx_3}{\beta + kx_1 + mx_2 + nx_3}$$

¹ Задача была поставлена на модели совместно с инж. Плотняковым В. А.

Обозначим: $\beta + kx_1 + mx_2 + nx_3 = \Sigma$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_1}{\partial x_1} &= \frac{(am - kb)x_2 + (an - kc)x_3 + (a\beta - ka)}{\Sigma^2} = \frac{\Sigma_1}{\Sigma^2} \\ \frac{\partial Q}{\partial x_2} &= \frac{(bk - ma)x_1 + (bn - mc)x_3 + (b\beta - ma)}{\Sigma^2} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma^2} \\ \frac{\partial Q}{\partial x_3} &= \frac{(ck - na)x_1 + (cm - nb)x_2 + (c\beta - na)}{\Sigma^2} = \frac{\Sigma_3}{\Sigma^2} \end{aligned} \right\} \quad (12')$$

Согласно (12') составляющие градиента будут:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial x_1} &= \frac{-0,0138x_2 - 0,1878x_3 + 9,1266}{(108,38 + 0,484x_1 + 0,481x_2 - 0,455z_3)^2} = \frac{\Sigma_1}{\Sigma^2} \\ \frac{\partial Q}{\partial x_2} &= \frac{0,0138x_1 - 0,1996z_3 + 12,1714}{(108,38 + 0,484x_1 + 0,481x_2 - 0,455z_3)^2} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma^2} \\ \frac{\partial Q}{\partial x_3} &= \frac{0,1878x_1 + 0,1996x_2 + 33,4733}{(108,38 + 0,484x_1 + 0,481x_2 - 0,455z_3)^2} = \frac{\Sigma_3}{\Sigma^2} \end{aligned} \right\} \quad (13')$$

Для набора на модели уравнений желательно, чтобы коэффициенты уравнений были ближе к единице. Для этого первое неравенство системы (III) умножим на 2, второе — на 0,8, третье — на 2, четвертое — на 3:

$$\left. \begin{aligned} -0,843x_1 - 0,896x_2 + 0,0174z_3 &\leq -1,969 \\ -0,814x_1 - 0,818x_2 - 0,830z_3 &\leq -39,196 \\ -0,981x_1 - 0,335x_2 + 0,920z_3 &\leq 24,99 \\ 0,674x_1 + 0,727x_2 + 0,995z_3 &\leq 56,06 \\ x_1 &\leq 30 \\ x_2 &\leq 30 \\ z_3 &\leq 40 \end{aligned} \right\} \quad (IV)$$

Согласно (13) и (IV) имеем:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= -0,843x_1 - 0,896x_2 + 0,0174z_3 + 1,969 \\ H_2 &= -0,814x_1 - 0,818x_2 - 0,830z_3 + 39,196 \\ H_3 &= -0,981x_1 - 0,335x_2 + 0,920z_3 - 24,99 \\ H_4 &= 0,674x_1 + 0,727x_2 + 0,995z_3 - 56,06 \end{aligned} \right\} \quad (14')$$

Последние три ограничения (для x_1 , x_2 и z_3) зададим с помощью схемы, приведенной на рис. 3. Здесь максимально допустимые значения x_1 , x_2 и z_3 задаются с помощью переменного сопротивления R . Справа на рисунках 2 и 3 представлена зависимость выходного напряжения

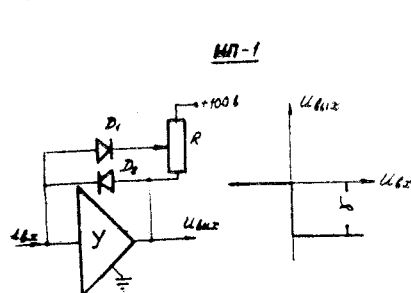


Рис. 2

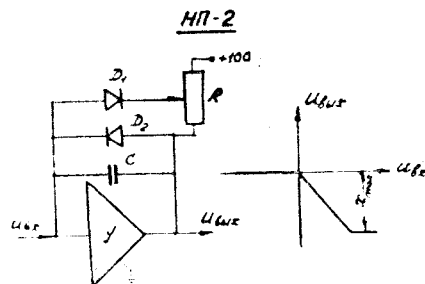


Рис. 3

$U_{\text{вых}}$ от входного $U_{\text{вх}}$, пропорциональных $-\frac{dx_i}{dt}$ и $-x_i$ (см. также НП-2-1 ÷ 3 на рис. 4).

Величины $\delta_1 \div \delta_4$ получаем согласно (15) с помощью НП-1-1 ÷ 4 (см. рис. 2 и 4). С помощью суммирующих блоков 3 ÷ 8 (см. рис. 5) мы получаем числители выражений $\frac{\partial Q}{\partial x_1}$ (см. 13')), с помощью 1-2 получаем знаменатель этих функций. На блоке нелинейности БН, воспроизводящем характеристику $\frac{1}{\Sigma^2}$, и блоках произведения БП-1 ÷ 3 получаем величины $\frac{\Sigma_1}{\Sigma^2}$, $\frac{\Sigma_2}{\Sigma^2}$ и $\frac{\Sigma_3}{\Sigma^2}$, пропорциональные $\frac{\partial Q}{\partial x_1}$, $\frac{\partial Q}{\partial x_2}$ и $\frac{\partial Q}{\partial x_3}$. Диапазон изменения $\frac{1}{\Sigma^2}$ лежит в пределах:

при $x_1=0, x_2=0, z_3=40, \Sigma=90,18$
 при $x_1=30, x_2=30, z_3=0, \Sigma=137,33$

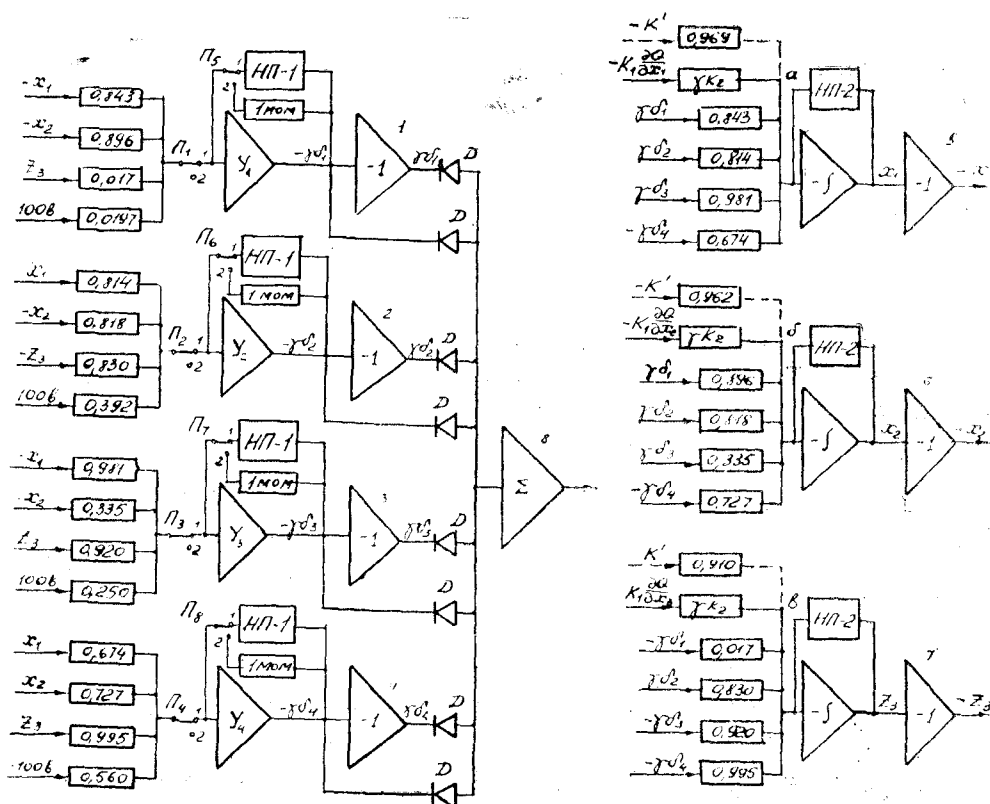


Рис. 4

Д — диод. НП — нелинейный преобразователь.
 П — переключатель. У — усилитель постоянного тока.

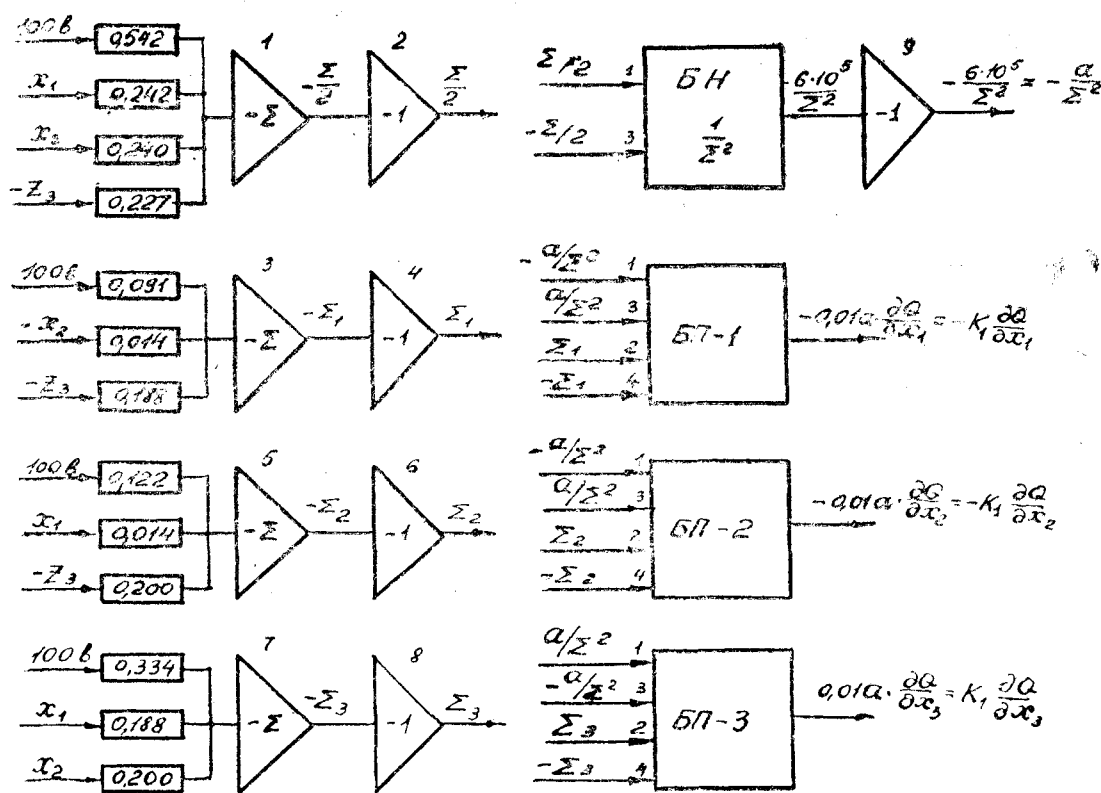


Рис. 5

БП — блок произведения. БН — блок нелинейности.

Σ	90	100	110	120	130	140
Σ^2	8100	10000	12100	14400	16900	19600
$\frac{6 \cdot 10^5}{\Sigma^2}$	74,07	60,00	49,59	41,67	35,50	30,61
Таблица набора блока БН, воспроизводящего функцию $\frac{1}{\Sigma^2}$						
$0,5 \Sigma$	45	50	55	60	65	70
$6 \cdot 10^5 \frac{1}{\Sigma^2}$	74,1	60,0	49,6	41,7	35,5	30,6

Начальные значения x_1 , x_2 и x_3 брались самыми различными для того, чтобы убедиться в отсутствии локальных минимумов функции Q в допустимой области $\{x_i\}$.

На рис. 6 представлена осциллограмма проекций траекторий изображающей точки с координатами (x_1, x_2, z_3) на плоскость x_2, z_3 при различных начальных ее координатах в третьем варианте задачи; на рис. 7 — во втором варианте задачи.

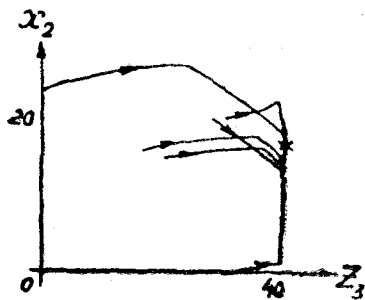


Рис. 6

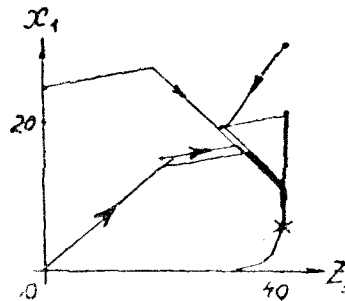


Рис. 7

На рис. 4 и 5 все обратные связи, соединяющие точки схемы с одинаковыми обозначениями, для наглядности опущены.

Значения x_1, x_2 и z_3 , полученные на модели (3-й вариант), соответственно равны (на рис. 6 точка помечена крестом):

$$x_1 = 6,1; \quad x_2 = 16,85; \quad z_3 = 40; \quad \delta_{1,2} = 0; \quad \delta_{3,4} \neq 0;$$

$$\gamma = 10; \quad K_1 = \frac{6 \cdot 10^5}{10^2} = 6000; \quad \gamma K_2 = 0,3; \quad K' = \gamma K_1 K_2 = 180.$$

Значения x_1 и x_2 можно уточнить, используя уравнения, для которых удовлетворяются ограничения ($\delta_i \neq 0$), т. е.

$$\begin{aligned} -0,981x_1 - 0,335x_2 + 0,920z_3 &= 24,99 \\ 0,674x_1 + 0,727x_2 + 0,995z_3 &= 56,06 \\ z_3 &= 40. \end{aligned}$$

Откуда

$$x_1 = 6,452 \quad x_2 = 16,36.$$

Уточнение можно произвести с помощью той же схемы (см. рис. 4) методом минимизации. Для этого переключатели Π_1, Π_2, Π_7 и Π_8 нужно перевести из положения 1 в положение 2 и, устанавливая на интеграторах НП—2—1÷3 с помощью схемы задания начальных условий напряжения, равные x_1, x_2 и $z_3 = 40$ в., добьемся минимума ($N_3 + N_4$) на выходе усилителя 8. При этом напряжения на интеграторах НП—2—1 и НП—2—2 равны уточненным значениям

$$x_1 = 6,3; \quad x_2 = 16,7.$$

Для оценки правильности решения третьего варианта задачи на модели были поставлены одновременно первый и второй ее варианты (см. стр. 3). Решения этих вариантов задачи были предварительно получены с помощью метода обратных матриц [3].

Структурная схема решения первого варианта задачи представлена на рис. 4. Она отличается от схемы решения третьего варианта тем, что здесь в точки а, б и в подаются напряжения, пропорциональные γK через масштабные делители, на которых установлены коэффициенты функ-

ции-критерия при соответствующей переменной, так как $\frac{\partial Q}{\partial x_i} = c_i$ (обозначено пунктирной линией).

Для первого варианта значения переменных, полученных на модели, были:

$$\begin{array}{llll} z_3 = 40(40) & \delta_3 \neq 0 & & \\ x_1 = 11(12,0387) & \delta_1 = 0 & K' = 50 \text{ в.} & K' = 2\gamma K \\ x_2 = 0(0) & \delta_2 = 0 & \gamma = 100 & \\ & \delta_4 = 0 & & \end{array}$$

(в скобках для сравнения записаны расчетные значения x_1 , x_2 и z_3).

Для второго варианта:

$$\begin{array}{llll} x_2 = 12,1(11,86) & \delta_1 \neq 0 & K' = 5 \text{ в.} & K' = 2\gamma K \\ z_3 = 40(40) & \delta_2 = 0 & \gamma = 10. & \\ x_1 = 7,4(7,99) & \delta_3 \neq 0 & & \\ & \delta_4 = 0 & & \end{array}$$

γ и K выбирались таким образом, чтобы соблюдалось условие (23), иначе изображающая точка попадает в «запрещенную» область и не сможет двигаться вдоль соответствующей границы. В этом случае нужно уменьшить величину K .

По найденным значениям x_1 , x_2 и z_3 , используя исходные уравнения (1', 2', 3'), находим x_4 , x_5 и x_6 , и по известному теперь набору ингредиентов определяем величины, характеризующие составленный комбикорм и соответствие их требованиям ГОСТ'а. Для сравнения эти данные сведены в таблицу 3.

Из таблицы 3 видно, что в первом варианте («самый дешевый рецепт») выпадает ценный, хотя и самый дорогой, ингредиент ячмень (см. столбец «ингредиенты, %»); число кормовых единиц самое низкое среди сравниваемых рецептов. Это означает, что здесь функция-критерий определяет условие, которое является допустимым, но не достаточным для получения оптимального одновременно и с точки зрения питательности и с точки зрения стоимости комбикорма.

Последнее должно относиться и ко второму варианту («максимальное число кормовых единиц при $C \leq C_0$ »), поскольку постановка задачи в этом варианте аналогична постановке ее в первом варианте.

Наиболее полно учитывается как питательность, так и стоимость комбикорма в третьем варианте, так как несмотря на более высокую общую его стоимость, стоимость одной кормовой единицы в этом случае наиболее низкая среди сравниваемых рецептов (см. столбец таблицы 3 «Число кормовых единиц, приходящихся на 1 коп.»).

Полученные результаты показывают, что поставленная задача получения оптимального рецепта кормовой смеси в случае небольшого числа ингредиентов (до 8—10) и с точностью (по процентному содержанию ингредиентов в комбикорме), лежащей в пределах $0,5 \div 1,5\%$, может успешно решаться с помощью математических машин непрерывного действия описанным выше способом,

Таблица 3

Критерий эффективности	Ингредиенты,						На 100 кг комбикорма							Отношение прева- ренного протеина к числу кормовых единиц	Отношение натрия к калию	Отношение фосфора к кальцию	Стоимость 100 кг комбикорма, коп. (старые цены)	Число кормовых единиц, приходя- щихся на 1 коп.
	зерно пше- ничное	ячмень	отруби пшеничные	зерновые отходы	мел	соль	кормовых единиц	переваривае- мого про- теина	клетчатки	натрия	калия	фосфора	кальция					
Рецепт по ГОСТу	10	10	60	17	2	1	83,92	12,158	6,14	433,9	718,58	669,96	984,2	0,145	0,604	0,681	399	0,2103
Самый дешевый рецепт	12,04	0	60	25,23	1,73	1	80,36	12,590	5,86	434,6	724,45	643,05	918,66	0,157	0,6	0,7	384	0,2093
Максимальное чис- ло кормовых единиц при $S \leq S_0$	7,99	11,86	60	17,23	1,92	1	83,96	12,089	6,19	421,25	718,76	670,76	958,24	0,144	0,6	0,7	399	0,2104
Максимальное чис- ло кормовых единиц на единицу стои- мости	6,46	16,34	60	14,20	2	1	85,33	11,899	6,32	429,97	716,64	681,26	973,36	0,139	0,6	0,7	405	0,2109

Если же рецепт содержит большее количество ингредиентов, и предъявляются более жесткие требования к точности расчета с большим количеством налагаемых условий, то это может быть сделано с помощью быстродействующих цифровых вычислительных машин, работающих по специальной программе, в основу разработки которой может быть положен приведенный выше метод. Одна такая электронная модель или цифровая машина сможет обслуживать несколько комбикормовых предприятий, даст возможность оперативно учитывать конкретные заводские условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Герчук Я. П. Применение линейного программирования за рубежом. Сб. статей, 1959.
 2. Под ред. ак. Немчинова, Применение математики в экономических исследованиях. М., 1959.
 3. Под ред. Куна Г. У. и Таккера А. У. Линейные неравенства и смежные вопросы. ИЛ, 1959.
 4. Демидов П. Г. Технология комбикормового производства. М., 1954 г.
 5. Герасимов С. Я. и Пусеп Ф. А. Комбинированные корма, ч. 1 и 2, М., 1959.
 6. Фельдбаум А. А. Вычислительные устройства в автоматических системах. М., 1959.
-

МАЛАХОВЦЕВ В. П.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНА ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Измельчение различных материалов и продуктов зачастую производится на машинах ударного действия как, например, молотковых дробилках, центробежных измельчителях, получающих все более широкое распространение, и др.

Для возможности конструирования измельчающих машин ударного действия необходимо иметь исходные данные для выбора скорости соударения рабочего органа и измельчаемых частиц материала. Величина этой скорости должна определяться из уравнения количества движения. Считая начальную скорость зерна в направлении ударного импульса равной нулю, это уравнение можно записать в виде:

$$mV = P_{\text{ср}}\tau, \quad (1)$$

где: m — масса частицы,

V — ее конечная скорость,

$P_{\text{ср}}$ — средняя сила взаимодействия частицы и рабочего органа,

τ — время соударения.

Для задания необходимой скорости рабочего органа машины при определенном режиме обработки зерна нужно получить данные о величине силы $P_{\text{ср}}$ и времени τ соударения. Тогда при известной массе зерна получим возможность легко определить скорость. Исследования академика А. Н. Динника [1] для нашего случая непригодны, т. к. им исследовались соударения стальных шаров, близких к идеально упругим, скорости были невысокими — до 600 см/сек, опыт прекращался, как только появлялись следы остаточных деформаций. Окружные же скорости рабочих органов машин для измельчения зерна достигают 70—80 м/сек и выше, кроме того, зерно резко отлично по физическим свойствам, от которых во многом зависят искомые параметры.

Таким образом, задачей настоящей работы является определение силы и времени удара зерна с целью исследования характера изменения их в зависимости от вариации скорости соударения и влажности. Кроме того, практический интерес представляет степень измельчения зерна при изменении указанных выше параметров.

Работа выполнена на кафедре сопротивления материалов под руководством доктора технических наук профессора Е. Б. Лунца.

1. Схема установки и методика исследования

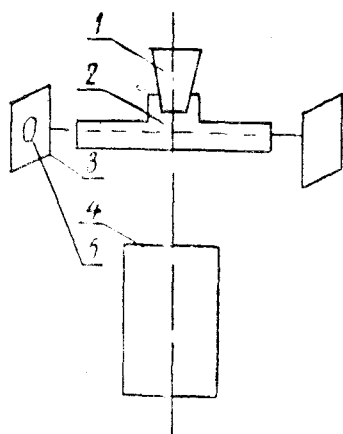


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.
1. Приемная воронка. 2. Ротор.
3. Козырьки (20 шт. по окружности).
4. Электромотор. 5. Датчик.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Зерно из приемной воронки 1 поступает в каналы быстро вращающегося ротора 2 и выбрасывается на козырьки 3, установленные по окружности. Этим создаются условия ударного нагружения зерна. Пользуясь выводами классической теории удара [2], мы можем записать среднее значение силы взаимодействия для случая соударения частицы с неподвижной преградой:

$$P_{\text{ср}} = \frac{mV(1+K)}{\tau}, \quad (2)$$

где: K — коэффициент восстановления при ударе, принимаем его для зерна пшеницы равным 0,3.

Скорость частицы в момент соударения определяется из рассмотрения кинематических параметров установки. Относительная скорость зерна в трубке будет равна

$$V_r = \omega \sqrt{r^2 - r_0^2},$$

где: r_0 — начальный радиус-вектор частицы,
 r — текущий радиус-вектор частицы.

Полную скорость частицы получим из выражения:

$$V = \sqrt{(\omega r_{\text{max}})^2 + V_r^2 + 2\omega r_{\text{max}} V_r \cos \alpha},$$

где: ω — угловая скорость ротора машины,
 V_r — относительная скорость частицы в канале,
 α — угол между вектором переносной и относительной скорости.

Для экспериментального определения силы удара применен датчик из пьезокерамики титаната бария, конструкция которого показана на рис. 2. Благодаря практической безинерционности, пьезодатчики считаются лучшими преобразователями при измерении сил и ускорений. Титанат бария имеет линейную зависимость между давлением P на пьезокерамику и количеством электрических зарядов q :

$$q = d \cdot P,$$

где d — пьезомодуль, равный $1,2 \cdot 10^{-9}$ к/кг.

Кроме того, это выражение показывает, что величина зарядов не зависит от геометрических размеров кристалла. На основании рассмотрения общей теории вибрографа в литературе [3] имеются необходимые и достаточные условия, гарантирующие правильное воспроизведение пьезодатчиком исследуемого процесса:

$$1) \ 25f^2 \leq \frac{K_1 + K_2}{m_1},$$

$$2) \ 25f^2 \leq \frac{K_3}{m_1 + m_2},$$

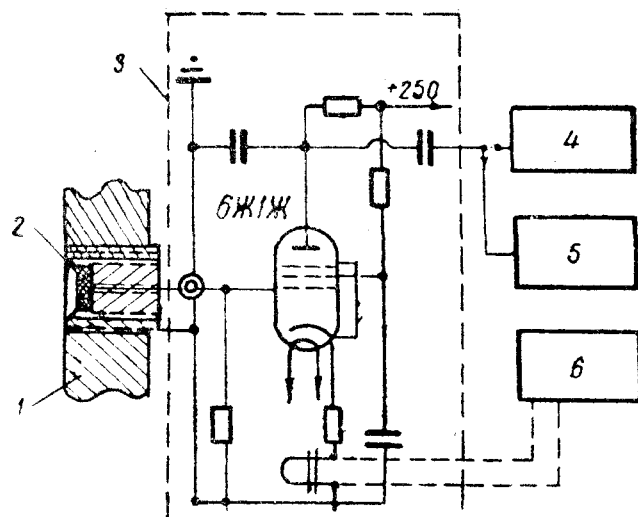


Рис. 2. Схема измерения силы удара с помощью пьезодатчика
1. Козырек, воспринимающий удары зерна. 2. Пьезодатчик. 3. Входной каскад.
4. Ламповый вольтметр. 5. Катодный осциллограф. 6. Шлейфный осциллограф.

где: f — наибольшая частота регистрируемого процесса;
 m_1 — масса чувствительного элемента датчика,
 m_2 — масса корпуса датчика,
 K_1 — жесткость прижимающей пружины,
 $K_2 = \frac{F \cdot E}{h}$ — жесткость пьезоэлектрических пластин (F — их площадь, h — высота),
 K_3 — жесткость крепления датчика.

Проверяя по этим критериям датчик, мы получаем следующие результаты: верхний предел измеряемых частот $f_1 \leq 600$ кГц, при этом полагаем $K_1 \rightarrow 0$; $f_2 \leq 63 \sqrt{K_3}$, т. е. жесткость крепления датчика должна быть максимально большой, что предусматривается при его установке.

Сигнал, снимаемый с пьезодатчика, попадает на каскад, собранный на лампе типа 6Ж1Ж по схеме катодного повторителя (рис. 2). При напряжении от 0,1 до 2,7 вольт, подаваемых на вход каскада, наблюдается удовлетворительная стабильность коэффициента усиления ($K=2,4$) без искажения формы сигнала. Среднеквадратическое отклонение его оказалось равным 0,3, что составляет 12,5%:

$$K = (2,4 \pm 0,3).$$

Тарировка пьезодатчика производилась электродинамическим способом [4] на вибростенде. Датчик выворачивался из козырька 1 (рис. 2) и закреплялся на столе вибростенда вместе с присоединенной массой m . Тарировка производилась при изменении частот f колебаний стола от 20 до 80 гц и изменении амплитуд стола от 0,1 до 0,7 мм. Чувствительность датчика определялась по выражению:

$$\gamma = \frac{U}{P} = \frac{250 \cdot U}{m \cdot f^2 \cdot A},$$

где: u — напряжение в вольтах, регистрируемое по ламповому вольтметру,

m — вес присоединенной массы, кг,

f — частота колебаний, гц,

A — амплитуда колебаний, мм.

Амплитудная и частотная характеристика пьезодатчика совместно с измерительным каналом показана на рис. 3. Очевидно, что отклонения чувствительности датчика не превышают 10%.

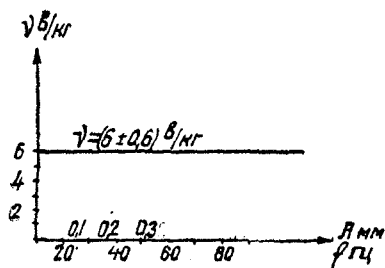


Рис. 3. Амплитудная и частотная характеристика пьезодатчика.

Подготовленную к опыту пшеницу определенной влажности помещаем в приемное устройство машины. Устанавливаем необходимую окружную скорость ротора с помощью тахометра и включаем подачу зерна. По ламповому вольтметру отмечаем наибольшее значение напряжения. После остановки машины выбираем зерно из сборника для ситового анализа. Опытная навеска составляет

300 граммов и пропускается за 10 секунд. Определение степени разрушения производилось по методу С. Д. Хусида [5]. Приближенный объем зерновки

$$V = \frac{4}{3}abc,$$

где: a , b , c — средние размеры зерна.

Находим диаметр равновеликого шара:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}},$$

Средний размер частицы продукта разрушения d_c определяется по выражению:

$$d_{cp} = \frac{N \cdot n + O \cdot o + \dots + Q \cdot q}{100},$$

где: n , o , ... q — процентное содержание зерна на данном номере сита,

N , O , ... Q — средний размер частицы на сите, полученный как среднее арифметическое размеров ячеек двух соседних сит.

Отношение $i = \frac{D_{cp}}{d_{cp}}$ мы в дальнейшем называем степенью измельчения.

Ударному нагружению подвергались три сорта пшеницы первой группы стекловидности урожая 1957 года: Одесская 3, Одесская 16 и «Южанка».

2. Результаты экспериментов и выводы

Характер изменения P_{cp} и τ , как функции скорости, влажности и размера частиц, виден на рис. 4. При скорости 80—85 м/сек. сила ударного разрушения достигает максимального значения. При скоростях более высоких происходит некоторое уменьшение сил за счет увеличения времени соударения при интенсивном процессе разрушения зерна. Из этого же графика виден рост степени измельчения i при росте скорости

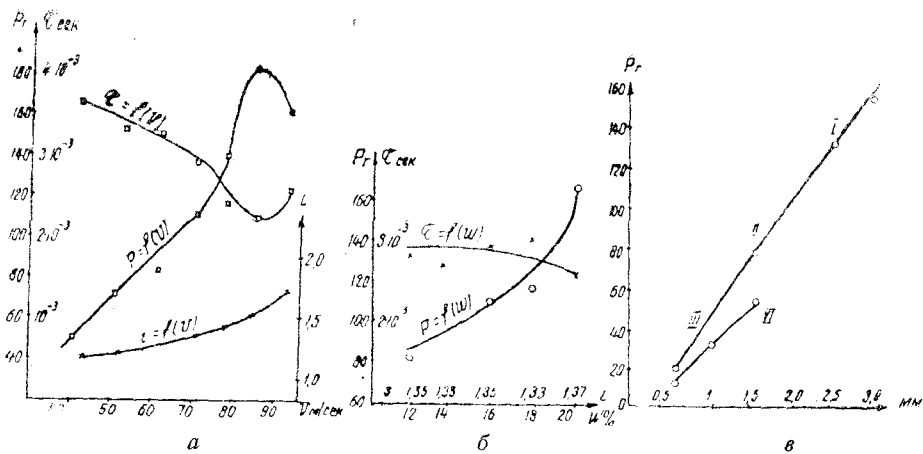


Рис. 4. Зависимость силы и времени удара от скорости, влажности и размера частиц.

(Рис. 4а). Для достижения одной и той же степени разрушения зерна низкой и высокой влажности для последней требуется более высокая сила удара, что согласуется с общим представлением о влиянии влажности на физические свойства материала (рис. 4б). На рис. 4в показана зависимость силы удара от размеров частиц и от числа проходов через установку (от I до VI). Один и тот же размер частиц при V и VI проходе при прочих равных условиях имеют меньшую силу удара, чем при II и III проходе. Это обстоятельство говорит о происходящем процессе предварительного разрушения зерна, об образовании трещин, уменьшении прочности конструкции в целом. Получив экспериментально значения сил при ударе зерна пшеницы разной влажности, мы подсчитали по формуле (2) значения соответствующего времени соударения. Проведенная запись импульса тока на шлейфном осциллографе показала (рис. 5), что время удара, определенное экспериментально, оказалось того же порядка 0,001—0,003 сек. что и получено по формуле (2).

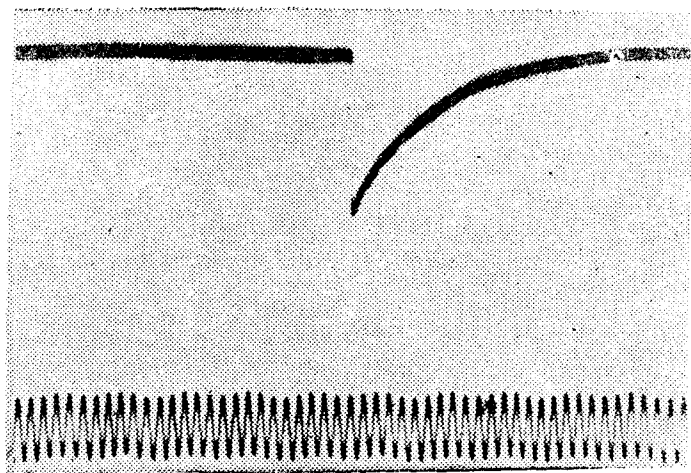


Рис. 5. Фотография импульса тока при ударе зерна о пьезодатчик.

Таким образом, в настоящей работе показаны некоторые физические свойства зерна в условиях динамического нагружения. Необходимая скорость молотков дробилки для получения степени измельчения $i \approx 1,4$ при «однократном» ударе должна достигать, например, при измельчении пшеницы «Южанка» влажностью 17,8% и стекловидностью 92 %:

$$V = \frac{P_{\text{ср}} \cdot \tau}{m(1+K)} \approx 78 \text{ м/сек.}$$

Однако в существующих молотковых дробилках при такой скорости достигается более высокая степень измельчения за счет многократного соударения, скалывания и истирания частиц. Подчас на излишнее переизмельчение тратится большое количество энергии, которую можно экономить, используя метод ударного измельчения, положенный в основу работы нашей лабораторной установки. Предварительные исследования эффективности такого метода измельчения и шелушения зерна дали положительные результаты. Опыты подтверждают высказанное еще в прошлом веке мнение, что высокодисперстное измельчение зерна пшеницы при ударе должно произойти при скорости близкой к 150 м/сек. В расчете на это и нужно проектировать центробежные измельчающие машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Динник А. Н. Избранные труды, том 1, АН УССР, Киев, 1952.
2. Воронков И. М. Курс теоретической механики. М., 1953.
3. Рудашевский Г. Е. Приборы и стенды. Пьезокерамические вибродатчики. Тема 1 № П-56-477. АН СССР, 1956.
4. Иориш Ю. И. Измерение вибраций. Машгиз, 1956.
5. Хусид С. Д. Измельчае зерна на молотковых мельницах. 1947..

ЛЕВЧИШИНА Р. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗ ТРОСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО В ТЕЧЕНИИ ВЕГЕТАЦИИ

В настоящее время ставится вопрос об использовании тростника при производстве целлюлозы и в гидролизной промышленности. При этом некоторые части тростника, составляющие примерно 30 % (листья, рубашки, метелки), не находят эффективного применения.

Ранее [1, 2] нами было показано, что все макроморфологические части тростника обыкновенного содержат значительное количество гемицеллюлоз. Однако в литературе отсутствуют данные о динамике изменения гемицеллюлоз в течение вегетации тростника и о содержании гемицеллюлоз в различных его макроморфологических частях. Изучение этого вопроса представляет теоретический и практический интерес. Поэтому перед нами стояла задача исследовать динамику накопления гемицеллюлоз во всех макроморфологических частях тростника в период вегетации и изучить их свойства.

Объектом исследования являлись образцы тростника обыкновенного (*Phragmites communis*), взятые с определенных площадок на одном и том же участке в устье реки Днестр в течение вегетации 1959 года (май—июнь—август—октябрь месяцы).

Взятые пробы отражали основные стадии вегетативного развития тростника.

Тростник разрезали на отдельные макроморфологические части, измельчали их и выделяли из них гемицеллюлозы настаиванием с 4%-ным раствором NaOH в течение 72 часов по методике, описанной ранее [2].

Количества извлеченных гемицеллюлоз, рассчитанные в процентах на абсолютно сухое вещество, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Количество гемицеллюлоз, извлеченных щелочью из различных морфологических частей тростника.

Время взятия проб тростника	Выход гемицеллюлоз в % из:			
	листьев	рубашек	междоузлий	узлов
Май	13,80	—	14,60	9,20
Июнь	18,03	18,90	19,63	14,27
Август	16,85	10,10	8,03	10,00
Октябрь	27,78	15,39	9,74	20,22

Работа выполнена на кафедре органической химии под руководством кандидата технических наук доцента Дудкина М. С.

По данным таблицы 1 видно, что тростник на всех стадиях вегетативного развития содержит значительное количество гемицеллюлоз, легко извлекаемых щелочью. Содержание гемицеллюлоз в различных морфологических частях его неодинаково. Количество гемицеллюлоз различно в разные фазы развития тростника. На стадии стеблевания идет накопление гемицеллюлоз, затем количество их снижается, достигая минимума незадолго до конца цветения, после чего следует значительное нарастание гемицеллюлоз. И эта закономерность наблюдается для всех макроморфологических частей тростника.

Количество гемицеллюлоз, извлеченных из стебля, значительно уменьшается в августе месяце и это, вероятно, связано с образованием новой макроморфологической части тростника — метелки. Данные по накоплению гемицеллюлоз в метелке тростника приведены ранее [2]. Количество гемицеллюлоз в ней в этот период, примерно, в два раза больше, чем в стебле. Аналогичные явления наблюдали Х. М. Мирфайзов [3], Л. Ф. Демидовская [4], исследуя тростник Казахстана. А. М. Палеевым [5] установлено, что при созревании ржаного зерна по мере созревания колоса происходит снижение абсолютного содержания клетчатки и гемицеллюлоз в листе и соломе и накопление крахмала и гемицеллюлоз в зерне. Вероятно в тростнике происходит аналогичный процесс перехода гемицеллюлоз из стебля и листьев в метелку.

Выделенные гемицеллюлозы характеризовались по химическому составу (Р. В., моносахаридный состав, лигнин, зола), по величине молекулярного веса, степени полимеризации и оптической активности.

1. Определение моносахаридного состава

Для определения моносахаридного состава гемицеллюлозы гидролизовали 1 N H₂SO₄ при температуре 100° в течение 3,5 часов.

Методом бумажной хроматографии, разработанным И. З. Емельяновой и Т. А. Батраковой [6], в гидролизатах гемицеллюлоз рубашек, междоузлий, узлов были обнаружены ксилоза, незначительное количество арабинозы и следы двух уроновых кислот. Гидролизаты гемицеллюлоз листьев содержали ксилозу, незначительное количество арабинозы и следы лишь одной уроновой кислоты.

Таким образом, гемицеллюлозы листьев тростника в течение всего вегетационного периода отличаются по химическому составу от гемицеллюлоз остальных макроморфологических частей тростника.

2. Определение Р. В.

В гидролизатах после хроматографического анализа определяли общее количество редуцирующих веществ по Бертрану.

Данные гидролиза гемицеллюлоз тростника приведены в таблице 2.

Таблица 2

Количество редуцирующих веществ в гидролизатах гемицеллюлоз тростника				
Время взятия проб тростника	Количество РВ (%) в гидролизатах гемицеллюлоз			
	листьев	рубашек	междоузлий	узлов
Май	53,14	—	62,69	74,01
Июнь	52,93	61,02	61,40	67,48
Август	47,23	53,54	59,07	67,41
Октябрь	51,40	56,72	67,07	67,71

Из таблицы видно, что количество редуцирующих веществ в гидролизатах гемицеллюлоз, выделенных из всех макроморфологических частей тростника, изменяется в течение вегетации. Так, начиная с мая месяца наблюдается падение количества редуцирующих веществ в гидролизатах гемицеллюлоз вплоть до августа месяца, а затем идет нарастание. Кроме того, количество редуцирующих веществ в гидролизатах гемицеллюлоз неодинаково для различных макроморфологических частей тростника. Наибольшее количество редуцирующих веществ содержится в гидролизатах гемицеллюлоз, выделенных из узлов, а наименьшее — из листьев. И эта закономерность соблюдается в течение всего периода вегетации.

По литературным данным [7] гемицеллюлозы состоят из двух фракций полисахаридов, различающихся способностью к гидролизу. Количественное соотношение этих фракций различно в разных растениях. В связи с этим мы проводили гидролиз в более жестких условиях. Для этого сырые гемицеллюлозы заливали 80%-ной H_2SO_4 и выдерживали 2,5 часа при комнатной температуре. Затем разбавляли пятнадцатикратным количеством воды и кипятили с обратным холодильником 5 часов. Полученные гидролизаты характеризовали, как было описано выше.

Результаты исследований представлены на рис. 1.

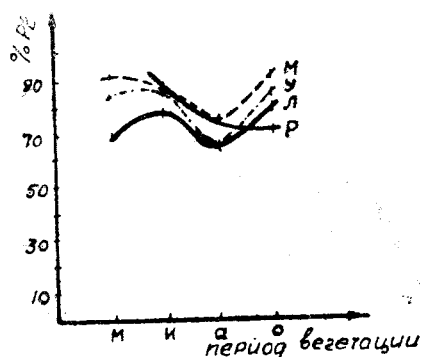


Рис. 1. Зависимость содержания редуцирующих веществ в гидролизатах гемицеллюлоз от периода вегетации тростника.

м — междоузлие, у — узлы, л — листья, р — рубашки; м — май, и — июнь, а — август, о — октябрь.

Для построения графика зависимости содержания редуцирующих веществ в гидролизатах гемицеллюлоз от периода вегетации откладывали на оси абсцисс время взятия проб, а на оси ординат — процент редуцирующих веществ.

Здесь, как и в случае гидролиза гемицеллюлоз 1 N H_2SO_4 , наблюдается падение количества редуцирующих веществ в августе месяце, а затем идет нарастание.

При сравнении результатов гидролиза гемицеллюлоз в разных условиях оказалось, что часть гемицеллюлоз гидролизуются легко, другая часть, составляющая 20—35%, более трудно. Наличие трудногидролизуемых гемицеллюлоз подчеркивают суммарные данные процента лигнина и процента легкогидролизуемых гемицеллюлоз. Это говорит о том, что в этих условиях извлекаются трудногидролизуемые гемицеллюлозы. Наличие трудногидролизуемого ксилана в растительных тканях было показано Х. М. Мирфаизовым и М. И. Гореевым [8], М. С. Дудкиным [9], В. И. Шарковым и В. А. Ефимовым [10], Б. В. Матюшенским и Г. В. Лазурьевским [11].

При щелочном извлечении гемицеллюлоз из тростника одновременно извлекаются лигнин и зола.

3. Определение лигнина

Содержание лигнина в извлеченных образцах гемицеллюлоз определяли по Комарову. Результаты определения лигнина представлены в таблице 3.

Таблица 3

Количество лигнина, извлекаемого совместно с гемицеллюлозами

Время взятия проб тростника	Количество лигнина в % в гемицеллюлозах:			
	листьев	рубашек	междоузлий	узлов
Май	16,86	—	6,89	9,68
Июнь	18,36	10,56	11,07	10,12
Август	26,30	18,90	19,15	19,60
Октябрь	20,77	15,11	12,48	16,75

Как следует из приведенных данных, количество лигнина в выделенных гемицеллюлозах растет в течение вегетации, достигая максимума в августе месяце, а затем уменьшается. Наибольшее количество лигнина на всех стадиях развития тростника содержали гемицеллюлозы листьев.

4. Определение золы

Количество золы в гемицеллюлозах, выделенных из каждой макроморфологической части тростника, растет в процессе вегетации. Данные анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4

Количество золы в гемицеллюлозах тростника.

Время взятия проб тростника	Количество золы в % в гемицеллюлозах:			
	листьев	рубашек	междоузлий	узлов
Май	0,79	—	0,57	1,87
Июнь	0,92	1,42	0,89	0,40
Август	4,13	2,34	1,53	2,73

5. Определение молекулярного веса и степени полимеризации

Молекулярный вес определяли вискозиметрическим методом, для чего использовали 0,2%-ные растворы гемицеллюлоз в 6%-ном растворе NaOH. Результаты определений приведены в таблице 5. Степень полимеризации рассчитывали, исходя из того, что звеном макромолекулы гемицеллюлозы является пентоза (см. данные моносахаридного состава).

Таблица 5

Молекулярные веса и степень полимеризации выделенных гемицеллюлоз

Время взятия проб тростника	листьев		рубашек		междоузлий		узлов	
	молекулярный вес	вычисленная СП	молекулярный вес	вычисленная СП	молекулярный вес	вычисленная СП	молекулярный вес	вычисленная СП
Май	23500	177	—	—	23500	191	27700	209
Июнь	19000	144	26800	202	22900	173	26100	197
Август	17300	130	22900	173	19300	146	23100	175
Октябрь	19400	147	24000	181	22200	168	23600	178

Данные исследования показывают, что молекулярный вес смеси гемицеллюлоз и лигнина тростника колеблется в пределах 17—27 тысяч в зависимости от макроморфологической части тростника и стадии его развития.

Здесь наблюдается та же закономерность, что и в случае изменения общего количества редуцирующих веществ: молекулярный вес гемицеллюлоз уменьшается в течение вегетации, вплоть до августа месяца, а затем наступает его увеличение. Возможно, что снижение величины молекулярного веса к августу месяцу связано с увеличением процентного содержания лигнина.

6. Определение удельного вращения

Для определения удельного вращения готовили 0,2 %-ные растворы гемицеллюлоз в 6 %-ном растворе NaOH. Величину удельного вращения определяли в сахариметре универсального типа «СУ-2» при температуре + 17°.

Исследования показали, что растворы гемицеллюлоз всех периодов развития тростника имеют отрицательную величину удельного вращения, что указывает на наличие β -глюкозидной связи между звеньями макромолекулы [13].

В ы в о д ы

1. Все макроморфологические части тростника содержат значительное количество гемицеллюлоз, легко извлекаемых щелочью.

2. Гемицеллюлозы рубашек, междоузлий, узлов, выделенные в различные периоды вегетации, одинаковы по химическому составу, но несколько отличаются от гемицеллюлоз листьев.

3. Количество редуцирующих сахаров в гидролизатах смеси гемицеллюлоз и лигнина всех частей тростника изменяется в процессе вегетации. Наибольшее количество редуцирующих сахаров в гидролизатах гемицеллюлоз узлов, наименьшее — в листьях. Гемицеллюлозы на всех стадиях вегетации содержат 65—80 % легкогидролизуемых и 20—35 % трудногидролизуемых полисахаридов.

4. Листья, рубашки, метелки содержат значительное количество гемицеллюлоз, а потому могут служить сырьем для гидролизной промышленности для получения простых сахаров.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дудкин М. С., Левчишина Р. В., Медведева Е. И., Горяшина Г. И. Исследования химического состава Днестровского и Дунайского тростника. «Укр. химический журнал» АН УССР, 1961 г.
2. Левчишина Р. В. Исследование гемицеллюлоз тростника. Труды Одесского технологического института, т. XIII, 1960 г.
3. Мирфаизов Х. М. Исследование тростника *Phragmites communis* Frin., произрастающего в Казахстане, как сырья для гидролизной промышленности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. химических наук. Казахский госуниверситет им. С. М. Кирова, 1961.
4. Материалы советско-румынского совещания по обмену опытом в области исследования тростника в целлюлозно-бумажной промышленности, ч. I, 1959.
5. Кретович В. Л. Основы биохимии растений. М., 1956.
6. Емельянова И. З., Батракова Т. А. Журнал прикладной химии, т. 13, 1958.

7. Корольков И. И. К вопросу о переменной скорости гидролиза легкогидролизуемых полисахаридов гемицеллюлоз растительной ткани. Журнал прикладной химии, т. XXXIV, в. 5, 1961.
 8. Мирфаизов Х. М., Горяев М. И. Исследование углеводного состава тростника. «Гидролизная и лесохимическая промышленность», № 3, 1960.
 9. Дудкин М. С. Сравнительное исследование строения ксиланов пленок зерна овса и проса. Тезисы докладов научной конференции по вопросам биохимии зерна. М., 1961.
 10. Шарков В. И., Ефимов В. А. Журнал прикладной химии, т. 21, 1948.
 11. Матюшенский Б. В. и Лазурьевский Г. В. О составе гемицеллюлозной фракции некоторых видов гидролизного сырья. Труды по химии природных соединений, вып. 2. Кишинев, 1959.
 12. Роговин З. Н., Шорыгина Н. Н. Химия целлюлозы и ее спутников. Госхимиздат, 1953.
-

ФИЛОСОФИЯ. ПОЛИТЭКОНОМИЯ

РОЗЕНФЕЛЬД У. Д.

РУССКИЕ РЕВОЛЮЦИОННЫЕ ДЕМОКРАТЫ О САМОБЫТНОСТИ РУССКОЙ МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ

Вопросы исторической оценки той или иной философской теории всегда находились в центре внимания философов. Историко-философские вопросы всегда были и по настоящее время являются одним из аспектов классовой борьбы в философии.

Современные буржуазные философы много внимания уделяют исследованиям по истории философии, в частности, и по истории русской философии.

Современная буржуазная историография на первый план выдвигает труды таких «русских специалистов», как Лосский, Зеньковский и др., всеми силами старающихся извратить смысл русской философии, представить историю русской философии как развитие религиозно-мистических и антиреволюционных теорий¹.

Особенно злобно извращается русская общественно-политическая и философская мысль 60-х годов XIX в., т. к. именно в эти годы жили и творили великие русские революционные демократы — непосредственные предшественники социал-демократии в России.

Русская революционная демократия не только продолжила славные материалистические традиции в философии, но и создала оригинальную историко-философскую школу.

60-е годы XIX века — годы ломки феодального уклада России, годы роста революционной активности народа. Реформа 1861 года — центральное событие исторической жизни России 60-х годов — вызвала острый интерес к историческим вопросам. Вопросы оценки прошедшего России и изучения путей будущего естественно были самыми злободневными в это время. Обостренная классовая борьба вокруг крестьянской реформы нашла свое выражение и в философии. Недаром именно поэтому в 60-е годы пристальное внимание вызывают вопросы истории русской философии. Русские мыслители этого периода не только материалистически или идеалистически решают основные вопросы познания, но также стремятся определить, в чем же смысл развития русской философии, какова вообще была русская философия.

В центре решения этой проблемы находился вопрос о самостоятельности русской философии: была ли философия в России и, если была, то каковы ее отличительные особенности.

Многочисленные представители религиозной мысли России этого периода считают, что философия без религии немыслима. «Философия

¹ См. сб. «Против фальсификаторов истории русской философии», М., 1960.

во все времена выступала из недр религии и первое свое развитие совершала под ее влиянием», — утверждал распространенный журнал «Христианское чтение»¹.

Философия превращалась в покорную служанку богословия, развивающую и подкрепляющую своими теориями божественное откровение.

«Философское знание всегда не полно и ограничено; зато вера обладает полною и всецелою истиною, независимо от всякого частного условия — истина веры есть истина вселенская», — вторит «Духовный вестник»².

Но даже будучи подручной религии, философия в России, считают церковники, весьма слаба и незрела. Собственно, они даже не решаются говорить о русской философской мысли, ибо, по их мнению, современные философы не находят «себе твердой философской почвы в трудах предшествовавших им отечественных мыслителей»³.

Представители религиозной мысли, извращая подлинный смысл русской истории философии, пытаются доказать, что на Руси не было самобытной философской мысли. И если уж в какой-то степени признают наличие некоторых русских философских систем, то выводят их из влияния Запада, превращая русских мыслителей в послушных учеников западных философов.

«Развитие русской мысли, со времен Петра I, постоянно находилось под влиянием современных идей западной, особенно же Германской философии...», — читаем мы в статье «Философский рационализм новейшего времени»⁴.

Один из крупнейших столпов богословия С. С. Гогоцкий в своем многотомном «Философском лексиконе», стоя, разумеется, на религиозно-идеалистических позициях, отмечает, что русская отечественная литература «...крайне скудна философскими сочинениями»⁵. Гогоцкий перечисляет некоторых третьестепенных русских богословов и философов, но ни слова не говорит о представителях русской материалистической философской мысли.

Больше того. Активно отстаивая в статьях «Философского лексикона» идеализм, стараясь всеми силами дискредитировать материализм, Гогоцкий сознательно не говорит о русской материалистической традиции в философии, как бы утверждая, что материализм революционеров-демократов является чужеродным, исключительным явлением в России. Гогоцкий доходит до смешного: он перечисляет множество никому не известных философов, о которых он сам подчас может написать лишь пару слов, а о русских философах почти ничего не говорит; философов-материалистов вообще исключает из истории русской философии.

И это называется объективным, как утверждает Гогоцкий, изучением философских фактов.

В таком же духе препарирует русскую философскую мысль и другой представитель воинствующей половщины — архимандрит Гавриил (В. Н. Воскресенский), который в своих «трудах» требует создания национальной русской философии, в основе которой должны находиться «плодоноснейшие начала — откровение и понятие о Боге»⁶. Эта фило-

¹ «Христианское чтение», 1860, ч. I, стр. 288.

² «Духовный вестник», т. V, 5—8, 1863, стр. 44.

³ «Дух христианина», год первый, отд. I, 1861—62 гг., стр. I.

⁴ «Христианское чтение», ч. I, 1860, стр. 297.

⁵ С. Г., Философский лексикон, т. I, изд. 2, СПб. 1859, предисловие, стр. 111.

⁶ Архимандрит Гавриил, История философии, ч. IV, Казань, 1840, стр. 22 и след.

софия, по мнению автора, должна устранить все недостатки западных материалистических философских систем.

Эти и другие представители воинствующей церкви пытались доказать в условиях обостренной классовой борьбы 60-х годов отсутствие подлинной, самостоятельной, материалистической русской философской и общественной мысли, утверждали инертность, пассивность, религиозную покорность русского народа, т. е. зачеркивали все естественнонаучные и общественные достижения русского народа.

Не лучше вели себя представители либерально-помещичьих группировок. Либералы разыгрывали из себя прогрессистов, патриотов русского народа, создателей передовых философских теорий. Как правило, представители либерализма были активными идеалистами, которые красивыми фразами пытались прикрыть коренную противоположность материализма идеализму. Выдавая себя за патриотов России, они на деле отрицали русскую самобытную философскую мысль, тем самым еще раз показывали свое барствено-помещичье отношение к русскому народу.

«Философия никогда не была у нас предметом серьезного интереса», — пророчествует Кавелин¹.

Кавелин, анализируя западные философские теории, показывает их преемственность, говорит об истории западной философии, т. е. последовательном развитии на протяжении веков определенных, часто прямо противоположных начал. Что же касается русской философии, то «У нас нет и не может быть этого преемства философских воззрений...»².

По мнению Кавелина, и в этом случае он является рупором всей либеральной группировки, «философия завезена к нам из Европы», стала в России «предметом праздного дилетантизма и быстро сменяющейся моды»³. Либералы всегда стремились доказать, что наука, в особенности философия, должна быть надклассовой, должна быть всеобщей примирительницей.

«Наука должна возвышаться над партиями, соединяя их в бескорыстном служении истине», — писал Б. Н. Чичерин⁴.

Однако эта «бескорыстная» истина для того же Чичерина заключалась «...в примирении начала свободы с началом власти и закона»⁵.

А мы уже хорошо знаем смысл и возможность такого примирения!

Если в своих открытых писаниях либералы пытались еще прикрыть свою «всеобщую» истину довольно прозрачными одеждами «охранительного либерализма», то в личной переписке они наглядно раскрыли свое классовое, реакционное лицо.

Так, В. П. Боткин, считающийся в либеральных кругах русского общества признанным авторитетом в области литературы, философии, политики, писал по поводу борьбы вокруг грабительской реформы 1861 г.:

«... правительство представляет собой принцип культуры и цивилизации (и это-то в связи со следствием Муравьева-вешателя по делу Каракозова! — У. Р.), преследуя адептов этого нового варварства»⁶; «Россия погибнет окончательно, единственное ее и **наше** (подчеркнуто

¹ К. Д. Кавелин, Собр. соч., т. 3, СПб, 1899, стр. 271.

² Там же, стр. 274.

³ Там же, стр. 273.

⁴ Б. Н. Чичерин, Опыты по истории русского права, М., 1858, стр. VII—VIII. См. К. Д. Кавелин, Собр. соч., т. 3, стр. 812—813.

⁵ Б. Н. Чичерин, Несколько современных вопросов, М., 1862, стр. 199.

⁶ «Современник», № 8, 1911, стр. 236 (письмо к Тургеневу от 25.8.1866).

нами — У. Р.) спасение, это — жандарм. Это краеугольный камень, главный столп нашего государства»¹.

Русская либеральная мысль 60-х годов фактически, при всей своей мнимой прогрессивности, стоит на одной почве с реакционнейшей русской богословской мыслью в оценке истории русской философии. И для одной и для другой в России не было самостоятельной философской мысли (за исключением, разумеется, русских отцов церкви), а если в России и появлялась философская теория, то она выводилась из западных влияний.

В России еще будет создана, по мнению церковников и либералов, национальная религиозная философия, в корне отличная от философских теорий Запада. Этим пытались обосновать исключительность и спасительность для мира чисто русских христианских начал. Именно здесь точка соприкосновения указанных теорий со взглядами славянофилов, утверждающих, что «характер господствующей философии... зависит от господствующей веры», необходимо «согласить понятие разума с учением веры»². А отсюда уже легко было обосновать различие русской и западной философий как основанных на разных верах и утвердить исключительность, спасительность идей христианского смиренномудрия.

Только революционные демократы в тяжелых подцензурных условиях классово-идеологической борьбы 60-х годов выступили как подлинные патриоты своей Родины. Они сумели обосновать и защитить от нападок самобытную русскую философскую мысль, доказали наличие в России солидной философской традиции. Революционеры-демократы, последовательно отстаивая интересы русского народа в идеологических схватках 60-х годов, на первый план выдвигая идею народности как основу искусства и науки, не могли не коснуться вопросов самостоятельности русской философской мысли. Революционные демократы прекрасно понимали, что все философские достижения русской мысли предыдущих эпох (так же и западноевропейской философской мысли) являются объективным фундаментом, на котором они строят здание своей материалистической и революционной философии.

«Все, чего добились другие, — готовое наследие нам», — писал вождем шестидесятников Н. Г. Чернышевский³.

Выделяя все прогрессивное, что было в русской философии, революционные демократы создавали свое философское учение. При этом они понимали, что в качестве философской основы должна служить не только русская, но и западноевропейская философская мысль, т. к. Запад оказал определенное влияние на развитие русской философии, следовательно, влияние зарубежной философской мысли на русскую должно анализироваться в истории русской философии⁴. Так, Н. Г. Чернышевский в «Очерках гоголевского периода русской литературы», детально анализируя философские взгляды русских последователей немецкой философии (Надеждин и другие), наглядно показывает, как их деятельность подготовила почву для появления самобытной, оригинальной философии В. Г. Белинского.

¹ Цит. у Е. Колбасина «Тени старого «Современника». «Современник», № 8, 1911, стр. 238.

² И. В. Кириевский, О необходимости и возможности новых начал для философии, «Русская Беседа», 1856, отд. II, стр. 23, 27—31.

³ Н. Г. Чернышевский, Полн. собр. соч., т. 5, М., 1950, стр. 391.

См. там же, т. 7, М., 1950, стр. 26—27, 49.

⁴ См. Н. Г. Чернышевский, Полн. собр. соч., т. IV, М., 1948, стр. 503 и след.

Революционеры-демократы неоднократно указывали, что русская философская мысль развивалась в условиях гораздо менее благоприятных, чем в Западной Европе — естественной наследнице греко-римской образованности¹.

Однако, несмотря на все неблагоприятные условия, в России была самобытная материалистическая философская мысль, ярким представителем которой следует считать М. В. Ломоносова.

«Ломоносов начал собой новый период интеллектуальной русской жизни», «Первый момент пробуждения русской мысли выразился полнее всего в Ломоносове», — неоднократно доказывал Н. В. Шелгунов². Больше того, «Именно в Ломоносове полнее всего выразился протест просыпающейся русской мысли против старомосковского мрака... Ломоносов был истинным бойцом за русскую мысль»³.

Исполненная фигура Ломоносова была для революционеров-демократов символом величия 18 века — века коренной ломки общественных отношений России. Если Петр I в корне перестроил русскую жизнь, то тоже для философии (как и для ряда других наук) сделал Ломоносов. Эти два имени у революционеров-демократов стояли всегда рядом как олицетворение прогрессивности русского развития.

Представители разночинной идеологии неоднократно подчеркивали плодотворность соединения философии с естествознанием, с науками.

Вместе с тем революционеры-демократы высоко оценивали и защитника общественной линии в русской философии — первого русского мыслителя-революционера А. Н. Радищева⁴ и продолжателей его дела — декабристов.

Революционная философия 60-х годов сама была достойным продолжением и развитием этих плодороднейших линий в истории русской общественной мысли.

Н. Г. Чернышевский в «Очерках гоголевского периода русской литературы», анализируя русскую философскую мысль начала XIX в., на обширном фактическом материале показывает преемственность философских идей, т. к. «истина не есть исключительная привилегия одного какого-нибудь поколения»⁵. Чернышевский последовательно характеризует, как формируется материалистическая и революционная мысль «неистового Виссариона», который не только встал вровень с передовыми западными философами, но «собственными силами» сумел шагнуть далеко вперед⁶. В данном случае мировоззрение Белинского для революционеров-демократов — воплощение самобытной русской мысли, формирующейся на почве новейших философских теорий России и Запада, т. к. «Личность тут является служительницей времени и исторической необходимости»⁷.

Таким образом, для русских революционных демократов «Наша умственная жизнь не была ни обезьянством, ни вычитанной из иностранных книжек»⁸.

¹ См. Н. В. Шелгунов. Соч., 2 изд., т. I, СПб., 1895, стр. 193—194.

² Там же, стр. 260, 434.

³ Там же, стр. 436.

⁴ См. Н. А. Добролюбов, Избр. философ. произв., т. I, СПб., 1948, стр. 160.

⁵ См. Н. Г. Чернышевский, Полн. собр. соч., т. I, стр. 484.

⁶ Там же, т. 2, М., 1949, стр. 292.

⁷ Там же, т. 3, М., 1947, стр. 205—210, 224.

⁸ Там же, стр. 182.

⁹ Н. В. Шелгунов, Соч., т. I, стр. 430.

¹⁰ См. Н. П. Огарев, Избр. соц.-политич. и философ. произведения, т. I, М., 1952, стр. 196.

В классовых боях 60-х годов одни революционеры-демократы сумели отстоять самостоятельность русской философской мысли от нападков представителей либерально-религиозной идеологии, выдававших себя за патриотов свей Родины и спасителей русской цивилизации. Тем самым они обосновали, в конечном итоге, способность русского народа и его передовых представителей решить революционным путем коренные вопросы экономической и политической жизни России в интересах трудящихся масс.

Революционеры-демократы доказали, таким образом, несостоятельность и антинаучность религиозно-мистической мысли, представителей которой поднимают на щит современные буржуазные «историк» философии.

Обосновав самобытность и оригинальность русской материалистической философии, революционные демократы продолжили лучшие традиции русского материализма.

Шестидесятники отстаивали последовательный философский материализм, резко осуждали любые рецидивы идеализма в материализме. В 60-е годы XIX в. довольно широкое распространение получили сочинения П. Л. Лаврова, считавшегося популяризатором естествознания и претендовавшего на звание материалиста.

Н. Г. Чернышевский, а за ним и М. А. Антонович, критиковали «философию» Лаврова прежде всего за эклектизм.

Революционные демократы наглядно показали, что Лавров хотел соединить несоединимое. Стремление материалистически объяснить мир было погребено под идеалистически предвзятыми идеями. Как совершенно правильно отмечал Д. И. Писарев, «слабая сторона» Лаврова-философа заключалась прежде всего «... в отсутствии определенных и цельных философских убеждений»¹.

Самыми неприятными были для революционной демократии 60-х годов XIX века философы, которые «... не признавая абсолютного, а потом и никакого значения ни за одним из философских принципов... не придерживаются ни одной философской системы, или, лучше сказать, придерживаются всех понемножку»².

Революционные демократы согласны были скорее уважать идеалиста, если он последовательно отстаивал свои взгляды (т. е. имел какие-то, пускай неправильные, но твердые принципы), чем мыслителя эклектически соединяющего в своем мировоззрении подчас прямо противоположные философские начала.

Резко критикуя философские системы идеализма, революционные демократы не закрывают глаза на то положительное, что внес идеализм в мировую философскую мысль.

Русская революционная демократия, тщательно изучая и анализируя многовековую философскую мысль, не может не отметить, что идеалистические системы (особенно немецкого классического идеализма), оставаясь ложными по существу, внесли много ценного в развитие философского сознания человечества. Н. Г. Чернышевский в своих знаменитых «Очерках гоголевского периода русской литературы» (значение которых в становлении русской материалистической философской мысли

¹ Д. И. Писарев, Избранные философские и общественно-политические статьи, М., 1949, стр. 83.

² М. А. Антонович, Избр. философ. соч., стр. 34.

ещё далеко не оценено) показывает созревание русского материализма и революционности в мировоззрении «неистового Виссариона», испытавшего влияние идеалистических идей и успешно преодолевшего их.

Н. Г. Чернышевский наглядно доказал, что эволюция взглядов Белинского прежде всего, конечно, отражала изменяющиеся условия экономического и политического положения русского общества в 30—40 годах XIX века. Но вместе с тем, исключительно много для формирования Белинского, как справедливо отмечает Чернышевский, дала идеалистическая философия, в особенности философия Гегеля.

Попытка ограничить взгляды Белинского лишь гегельянским периодом и представить его послушным аполитичным гегельянцем, которую делают современные буржуазные фальсификаторы¹, была опровергнута еще Чернышевским, доказавшим, что Белинский не только сумел критически переработать философские системы Запада (и идеалистические и материалистические), но «собственными силами» шагнуть далеко вперед.

«С того времени, как представители нашего умственного движения,— справедливо писал Чернышевский,— самостоятельно подвергли критике гегелеву систему, оно уже не подчинялось никакому чужому авторитету»².

Шестидесятники прекрасно понимали, что история философии представляет борьбу различных (материалистических и идеалистических) философских систем:

«В постоянной смене философских систем и непрерывном замещении одних другими и заключается жизнь философии, ее история»³.

Анализируя эту постепенную смену философских теорий другими, революционные демократы постоянно указывают на прогрессивность философских систем материализма.

Шестидесятники резко выступали против философских систем, которым «... удастся приобрести расположение государства и вступить с ним в тесный союз»⁴, а тем самым обеспечить себе «всеобщее» признание.

Религиозная идеалистическая философия освящала угнетение человека человеком, затушевывала противоречия действительности, фактически звала к примирению с существующими порядками.

Церковь и либералы с восторгом приветствовали грабительскую реформу 1861 года.

Реакционность русской религиозно-идеалистической философии постоянно вскрывалась революционными демократами — страстными борцами за счастливую земную жизнь народа.

«Если бы не механические поддержки,— справедливо писал Антонович,— старая (т. е. идеалистическая — У. Р.) философия рушилась бы давно»⁵.

Анализ философских теорий конкретных эпох нужен прежде всего потому, что «философские убеждения составляют корень, от которого идет сила и жизнь во все понятия человека»⁶.

Рассматривая, например, творчество русских писателей, художников, революционные демократы всегда делали упор на мировоззрение автора.

¹ См. сб. «Против современных фальсификаторов истории русской философии» М., 1960.

² Н. Г. Чернышевский, Полн. собр. соч., т. 3, стр. 224.

³ М. А. Антонович, Избранные философские сочинения, стр. 76.

⁴ Там же, стр. 128.

⁵ Там же, стр. 34.

⁶ Там же, стр. 177.

Литературный анализ творений великих русских писателей (Гоголя, Тургенева и др.) в критических разборах шестидесятников всегда опирался на раскрытие философских взглядов этих писателей. Так, Н. Г. Чернышевский в «Очерках гоголевского периода русской литературы», анализируя русскую литературу начала XIX века, рисует широкую картину философской борьбы в России. Характеристика творчества того или иного русского писателя (Надеждин, Полевой и др.) тесно связана в «Очерках» со своеобразием его философских, эстетических взглядов.

Историческое рассмотрение философских теорий и идей показывает, по мнению революционных демократов, что «История есть борьба за прогресс... борьба за то лучшее, к чему стремится человечество»¹.

История развития человеческого общества противоречива и никогда не представляла из себя, как отмечал Чернышевский, «ровный тротуар Невского проспекта». Периоды бурного прогрессивного развития сменялись зачастую годами регресса, реакции и одичания.

Но несмотря на это человечество неуклонно идет вперед, реализуя лучшие свои стремления.

Обязанность каждого прогрессивного мыслителя помогать этому прогрессивному движению человечества к лучшему будущему, ибо «весь смысл искусства и философии в том, чтобы пробуждать от сна задремавшие силы народа»².

Отстаивая самобытность материалистической русской философии, революционные демократы наглядно показали, что подлинная наука сводит «на естественное и историческое все богословское и таинственное»³.

Русская революционная демократия, утверждая оригинальность материалистической русской философии прошлого, выделяла в ней то прогрессивное, что нашло свое воплощение в ее собственной философской концепции, что способствовало переустройству русского общества по «понятиям народа».

¹ Н. В. Шелгунов, Сочинения, т. II, СПб, 1895, стр. 404.

² Н. А. Добролюбов, Избр. философские произведения, т. I, стр. 136.

³ А. И. Герцен, Собр. соч. в 9 томах, т. 7, М., 1958, стр. 110.

БОНДАРЕНКО М. Я.

**МАРКСИСТСКО-ЛЕНИНСКОЕ УЧЕНИЕ О НАЦИОНАЛИЗАЦИИ
ЗЕМЛИ И РЕШЕНИЕ АГРАРНОГО ВОПРОСА
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Претворение в жизнь Программы нашей партии, справедливо названной «Коммунистическим манифестом современной эпохи», требует соединенных усилий рабочего класса и крестьянства нашей страны. Программа КПСС подчеркивает значение проблемы союза рабочего класса и крестьянства, ее теоретическую и практическую значимость в наши дни.

Классики марксизма-ленинизма учат, что исторической миссией пролетариата является освобождение человечества от эксплуатации. Следовательно, главной целью пролетариата является осуществление социалистической революции. Однако, осуществить социалистическую революцию своими собственными силами рабочий класс не может. Естественным союзником рабочего класса в его борьбе является трудящееся крестьянство. К. Маркс подчеркивал, что без поддержки большинства крестьян, без прочного союза пролетариата с трудящимся крестьянством он не сможет одержать победу в грядущей социалистической революции. Маркс говорил, что только когда трудящиеся крестьяне поддержат пролетариат, «**пролетарская революция получит тот хор, без которого ее соло во всех крестьянских странах превратится в лебединую песню**»¹.

Создание прочного союза рабочего класса с основными массами крестьянства зависит от того, сумеет ли рабочий класс правильно решить аграрный вопрос, сумеет ли он осуществить самые насущные требования крестьянства.

Важнейшим средством создания и укрепления союза рабочего класса с крестьянством является национализация земли, ликвидация частной собственности на землю, в которой в равной мере заинтересован рабочий класс и крестьянство.

Идея уничтожения частной собственности на землю возникла задолго до появления марксизма. Для всех буржуазных теорий национализации земли наиболее характерны требования уничтожения частной собственности на землю на условиях выкупа государством земли по ее полной цене; некоторые из них требовали обложения ренты максимальным налогом и т. д.

Работа выполнена на кафедре политической экономии под руководством кандидата экономических наук доцента Жученко В. С.

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс, Избранные произведения, т. I, стр. 299.

Наиболее глубоко обоснована идея национализации земли у Н. Г. Чернышевского, который создал прогрессивную теорию национализации земли. Теория Чернышевского выгодно отличается от всех других теорий национализации земли домарковского периода тем, что содержит вывод о необходимости замены и фермерского, и мелкого частного хозяйства товарищеским производством, в котором будут сочетаться преимущества крупного хозяйства с заинтересованностью работников в своем труде.

И только К. Марксу удалось сорвать с идеи национализации земли буржуазную оболочку, подвести под нее научную базу теории земельной ренты. Впервые требование национализации земли было выдвинуто Марксом и Энгельсом в «Манифесте Коммунистической партии», правда, еще в самой общей форме, без учета конкретных условий отдельных стран. Более полно учение Маркса о национализации земли изложено в III томе «Капитала» и в «Теориях прибавочной стоимости».

Огромный вклад в развитие марксистского учения о национализации земли внес В. И. Ленин, который развил основные положения Маркса о национализации земли и своими многочисленными трудами по аграрному вопросу создал стройную теорию национализации земли.

Марксистско-ленинское учение о национализации земли принципиально отличается от теорий национализации земли буржуазных экономистов и социалистов-утопистов. Марксистская теория национализации земли глубоко научна, основывается на учении Маркса о земельной ренте, революционна по своему характеру и последовательно отражает интересы рабочего класса и трудящегося крестьянства. Она направлена не только против пережитков феодализма в капиталистическом сельском хозяйстве, но и против самого класса капиталистов в целом.

Основные положения марксистско-ленинского учения о национализации земли общеизвестны и потому в данной статье будут рассмотрены только те черты этого учения, которые необходимы для понимания особенностей решения аграрного вопроса в современную эпоху.

К. Маркс и В. И. Ленин подчеркивали, что национализация земли может быть осуществлена буржуазией в ранний период развития капитализма, когда противоречия капитализма еще не развернулись и рабочее движение еще мало развито.

В. И. Ленин показал, что в России к началу XX века сложились именно такие условия, при которых национализация земли стала объективной необходимостью. В России было налицо глубокое противоречие между сравнительно высоким развитием капитализма в промышленности и чудовищной отсталостью деревни, которое объективно требовало быстрого буржуазного развития сельского хозяйства. Это экономическое противоречие вызывало острые социальные противоречия, поднимало на борьбу миллионы русских крестьян. Известно, что русские крестьяне не были собственниками той земли, которую они обрабатывали — собственником этой земли была крестьянская община. Следовательно, в России был такой радикальный буржуа, который не был связан с частной собственностью на землю и не боялся пролетарской революции. Этим радикальным буржуа, по словам Ленина, был русский крестьянин.

Своеобразием аграрной революции в России было требование русских крестьян превратить всю землю, и помещичью и надельную, в общенародную собственность. Ленин показал экономическую основу объективной заинтересованности крестьян в национализации всей земли. За-

интересованность крестьян была обусловлена прежде всего тем, что господство феодальных пережитков в русской деревне ставило непреодолимые препятствия на пути развития капитализма в сельском хозяйстве, закабаляло крестьян.

Национализация земли представляет собой такую меру буржуазного прогресса, которая облегчает переход к социализму, приближает час социалистической революции. По мере осуществления национализации земли и завершения буржуазно-демократической революции обостряются антагонистические противоречия капиталистического общества. Это приводит к перегруппировке движущих сил революции, объективно создает экономическую основу для союза пролетариата и трудящегося крестьянства в борьбе против буржуазии. Наряду с этим и происходит перерастание буржуазно-демократической революции в социалистическую, то есть создаются все условия для немедленного перехода к борьбе пролетариата и беднейшего крестьянства за осуществление социалистической революции. Именно поэтому рабочий класс и партия большевиков были заинтересованы в энергичной поддержке русской «крестьянской аграрной революции» и в руководстве этой аграрной революцией.

Национализация всей земли не является единственно возможным средством осуществления аграрной революции. Это положение является важнейшим моментом в марксистско-ленинском учении о национализации земли. Ленин подчеркивал, что вопрос о форме преобразований должен решаться в каждой стране конкретно-исторически, исходя из интересов социалистической революции.

Марксизм-ленинизм учит, что все страны придут к социализму, но каждая из них внесет свое своеобразие, свою специфику в строительство социализма. Это ленинское положение справедливо и в отношении типа аграрных преобразований. Например, выдвижение требования национализации всей земли в аграрной революции зависит от того, найдет ли это требование поддержку среди широких слоев крестьянства. Эта поддержка зависит не только от степени развития капитализма в сельском хозяйстве, но и от форм крестьянской земельной собственности, традиционной формы землевладения в стране. Только в результате тщательного анализа земельных отношений в стране, после проверки на практике, как относится крестьянство к идее национализации всей земли, можно решать вопрос о возможности выдвижения этого требования.

Ленин подчеркивал, что в определенных конкретно-исторических условиях в стране, в которой среди крестьян развит фанатизм частной собственности, возможно окажется более целесообразным раздел помещичьих земель. В. И. Ленин писал: «От поддержки раздела социал-демократия не может зарекаться. В иной исторический момент, на другой ступени аграрной эволюции раздел может оказаться неизбежным»¹. Таким образом, при определенных условиях, если этого потребуют интересы упрочения союза рабочего класса с крестьянством, партия должна будет осуществить раздел земли. Именно из этого исходили коммунистические и рабочие партии стран народной демократии, когда поддерживали требования крестьян о разделе земли.

И действительно, единственной страной народной демократии, в которой была осуществлена национализация всей земли является Монгольская Народная Республика. Эта отмена (в 1921 г.) частной собственности на землю не уничтожила полностью феодальных отношений,

¹ В. И. Ленин, Соч., т. 13, стр. 266.

так как скот оставался в руках феодалов. Особенностью национализации земли в МНР является то, что она только подорвала основы господства феодалов, оставив в их руках возможность для феодальной эксплуатации аратов.

Во всех других странах народной демократии в конкретно-исторических условиях проведения народно-демократических революций сложились условия более благоприятные для раздела земли в собственность крестьян.

Однако, следует подчеркнуть, что сохранение на определенное время частной собственности на землю не отрицает возможности социалистического развития сельского хозяйства. В кооперативах стран народной демократии фактически обобществлены средства производства, а производственная деятельность и распределение произведенного продукта организованы на социалистической основе. Доход, который крестьяне получают в виде платы за земельный пай представляет собой ничтожную долю в общих доходах членов кооператива. Более того, по мере укрепления общественного хозяйства кооперативов крестьяне постепенно отказываются от выделения части доходов кооператива на оплату земельного пая. Например, если в Венгрии в значительной части кооперативов суммы, выделенные на оплату земельного пая, составили в 1960 г. 7—8% всех распределенных доходов¹, то в Болгарии, хотя устав ТКЗХ предусматривает выделение на оплату земельного пая до 25% доходов кооператива, в 1958 г. фактически на эти цели было выделено менее 2% доходов кооператива. В КНДР вся земля, кроме приусадебных участков, обобществлена в кооперативах. Оплата земельного пая не производится.

Следовательно, если раздел помещичьей земли в собственность крестьян осуществляет народно-демократическая власть, — в таких условиях раздел становится мерой, подготавливающей национализацию земли.

В странах народной демократии в процессе укрепления экономики сельскохозяйственных кооперативов происходит укрепление социалистических черт кооператива, последовательное упрочение социалистических производственных отношений. Крестьяне постепенно отходят от приверженности к частной собственности на землю, и вопрос о национализации земли будет практически решен путем превращения всей земли, обобществленной в кооперативах, в общенародную собственность.

В странах мировой социалистической системы, где, по существу, в той или иной форме разрешен аграрный вопрос, союз рабочего класса и крестьянства получил дальнейшее развитие, превратился в союз, целью которого стало завершение построения социалистического общества. Программа КПСС отмечает, что дальнейшее укрепление нерушимого союза рабочего класса и колхозного крестьянства имеет решающее политическое и социально-экономическое значение для строительства коммунизма в СССР².

Рассмотрим, каковы особенности решения аграрного вопроса в современную эпоху в странах мировой капиталистической системы.

При всем разнообразии капиталистических стран по уровню развития капитализма в сельском хозяйстве, формам землевладения и землепользования все капиталистические страны можно подразделить на два основных типа стран:

1) Капиталистически развитые страны с преобладанием буржуазных

¹ См. «Проблемы мира и социализма», № 6, 1961, стр. 10.

² См. Программа КПСС, 1961, стр. 77.

отношений в сельском хозяйстве. В таких странах феодальные пережитки либо незначительны, либо вовсе отсутствуют, и аграрный вопрос может быть разрешен только пролетарской революцией.

2) Экономически слаборазвитые страны, недавно освободившиеся от колониального гнета или ведущие борьбу за освобождение от него. В сельском хозяйстве этих стран господствуют полуфеодальные отношения и на первое место выдвигаются задачи буржуазно-демократического переворота в сельском хозяйстве.

В данной статье невозможно подробно остановиться на перспективах развития сельского хозяйства высокоразвитых капиталистических стран. Однако, нельзя не сказать хотя бы несколько слов о том, как коммунистические партии этих стран, основываясь на марксистско-ленинском учении о национализации земли, применяют их в конкретно-исторических условиях своих стран.

Особенно интересно проследить, как решен вопрос о национализации земли в программе английской коммунистической партии «Путь Британии к социализму». В свое время Маркс и Энгельс считали Англию страной, наиболее подготовленной для национализации земли. Развитие капитализма в сельском хозяйстве Англии привело к тому, что в английской деревне нет, по существу, класса крестьян. Поэтому коммунистическая партия Англии поставила в программе прямо вопрос о необходимости национализации крупной земельной собственности наряду с национализацией крупной промышленности и банков.

Коммунистические партии других развитых капиталистических стран, активно выступая в защиту интересов трудящихся крестьян, требуя предоставления им земли, считают с психологией крестьян, с их привязанностью к земле и потому с большой осмотрительностью решают вопрос о национализации земли. Считая необходимым предоставление земли тем, кто ее обрабатывает, коммунистические партии капиталистических стран предусматривают в своих программах сохранение крестьянской частной собственности на землю. Например, аграрные программы коммунистических партий Франции и Италии не ставят прямо вопрос о непосредственной национализации земли, а требуют лишь экспроприации крупной земельной собственности (Франция) или ограничения размеров земельной собственности (Италия) с последующей передачей экспроприированной земли безземельным крестьянам. В частности, итальянская коммунистическая партия выдвинула требование передать землю немедленно, навсегда всем нуждающимся с незначительным выкупом, избавить крестьян, получающих землю, от бремени задолженности¹.

Аграрный вопрос в слаборазвитых странах в современную эпоху становится основным содержанием национально-освободительного движения. Развивая отдельные положения марксистско-ленинского учения о национализации земли, Программа Коммунистической партии Советского Союза подчеркивает, что «интересы нации требуют упразднения феодальных порядков и пережитков, проведения радикальных аграрных преобразований с участием всего крестьянства и в его интересах»².

Анализ аграрных преобразований, проводимых в странах Азии, Латинской Америки и в африканских странах, дает возможность выяснить основные закономерности решения аграрного вопроса в слаборазвитых странах. Правящие классы, национальная буржуазия этих стран, как

¹ См. «Мировая экономика и международные отношения», № 2, 1961, стр. 80.

² Программа КПСС, 1961, стр. 45.

правило, стремятся преобразовать сельскохозяйственную экономику путем ее медленного приспособления к потребностям развивающегося капитализма. Прогрессивные силы этих стран борются за радикальные аграрные преобразования, за решение аграрного вопроса путем безвозмездной передачи всей земли крестьянству.

Главной особенностью слаборазвитых стран является господство монополии частной собственности на землю и полуфеодальных отношений в сельском хозяйстве. В таких странах огромное количество земли сконцентрировано у крупных землевладельцев, у латифундистов. Например, как отмечал генеральный секретарь сирийской компартии Халем Багдаш, в Сирии до проведения аграрной реформы 1600 землевладельцев сосредоточили в своих руках 75% орошаемой земли¹. В Ираке в руках крупных землевладельцев, которые составляют 1% населения, было сконцентрировано около 75% всей обрабатываемой земли и только 25% принадлежало крестьянам². На Кубе до революции 0,5% всех хозяйств сосредоточивали в своих руках 36% всех земель, а 3,3% всей земельной площади принадлежало 39% хозяйств³.

Крупные землевладельцы используют землю для полуфеодальной эксплуатации крестьян. В Уругвае $\frac{3}{5}$, а в Венесуэле $\frac{3}{4}$ крестьянских хозяйств — арендаторские. Методами докапиталистических форм эксплуатации у крестьян отнимают 70—80% урожая.

Выход из тупика, в котором находится сельское хозяйство отсталых стран, может быть лишь в радикальном аграрном перевороте, являющемся главным содержанием национальной революции, развертывающейся в ряде экономически отсталых стран. Эта революция является антифеодальной буржуазно-демократической по своему характеру, ибо ее острое внутри страны направлено против помещичьего класса и феодальных пережитков в деревне. Но это в то же время революция антиимпериалистическая, так как без подрыва господства империалистов невозможно уничтожить помещичий строй. Основными движущими силами этой революции являются рабочий класс, возглавляемый коммунистическими и рабочими партиями, крестьянство, составляющее большинство населения слаборазвитых стран, и, наконец, национальная буржуазия, страдающая от конкуренции иностранного капитала и недостаточного развития капитализма в стране.

В слаборазвитых странах, которые добились своей политической независимости, первостепенное значение приобретает решение аграрного вопроса. Быстрое индустриальное развитие этих стран, завоевание ими экономической независимости оказывается невозможным без радикального решения аграрного вопроса. Среди всех этих стран можно выделить три основные группы стран: 1) страны, которые пошли по социалистическому пути; 2) страны, в которых руководство национально-освободительным движением оказалось в руках национальной буржуазии; 3) страны, в которых создались благоприятные условия для некапиталистического развития.

По социалистическому пути пошли те страны, в которых основной движущей силой революции был рабочий класс в союзе с крестьянством при руководящей роли рабочего класса. Такой революционный путь обеспечивает радикальное решение аграрного вопроса в кратчайшие сроки в интересах крестьянства и народа в целом. Для этого нужно

¹ См. «Проблемы мира и социализма», № 1, 1961, стр. 62.

² См. там же, № 3, 1961, стр. 65.

³ См. там же, № 1, 1961, стр. 66.

ликвидировать феодальные пережитки в сельском хозяйстве, уничтожить эксплуатацию крестьянства иностранным капиталом, открыть простор развитию производительных сил в сельском хозяйстве, передать безвозмездно землю крестьянам.

Ярким примером осуществления такого радикального решения аграрного вопроса является принятие закона об аграрной реформе Кубинской народной республикой, где свыше 300 тысяч крестьян не имели земли. Закон об аграрной реформе, проведенный революционным правительством Фиделя Кастро, ликвидировал латифундии и установил максимальный размер землевладения в 30 кабальериа (то есть в 400 га). Земля, превышающая максимальный размер участка, установленный Законом, была распределена среди крестьян, сельскохозяйственных рабочих и солдат Повстанческой армии по 2 кабальериа на семью. Закон запретил издольщину и другие формы эксплуатации и передал землю в собственность тех, кто страдал от безземелья. Экспроприированная и принадлежащая государству земля распределяется бесплатно среди безземельных крестьян (участки до 2 кабальериа). Крестьяне, снимавшие в аренду от 2 до 5 кабальериа, безвозмездно получают в собственность участки земли до 2 кабальериа, а остальную часть земли выкупают. Крестьяне, арендовавшие свыше 5 кабальериа, не получили землю безвозмездно, но смогли купить часть той земли, которую арендовали (в пределах 30 кабальериа).

Осуществление аграрной реформы на Кубе сопровождалось созданием кооперативов и народных имений. В настоящее время (конец 1961 г.) социалистический сектор охватывает 41% используемой в сельском хозяйстве земли (земли кооперативов и народных имений). Мелким собственникам, крестьянам, объединенным в Национальную ассоциацию мелких производителей, принадлежит 39%, и владельцам хозяйств размером от 5 до 30 кабальериа — 20% земли¹.

Аграрная реформа на Кубе привела к ликвидации местных и иностранных латифундистов. Выиграли от проведения реформы, главным образом, крестьяне-бедняки, середняки и сельскохозяйственные рабочие. Более 30 тысяч крестьян революция превратила в собственников обрабатываемой ими земли.

Аграрная реформа, осуществленная в революционной Кубе, представляет собой частичную национализацию земли и раздел земли в личную собственность крестьян. Эта реформа носит последовательный характер — передача земли крестьянам проведена, в основном, без выкупа, в более короткие сроки и более решительно, чем в других странах.

Страны, где руководство национально-освободительным движением оказалось в руках национальной буржуазии, получив политическую независимость, остались в пределах мировой капиталистической системы. Национальная буржуазия направляет развитие этих стран по капиталистическому пути. Национальная буржуазия нерешительна, склонна к компромиссам и уступкам империалистической буржуазии и феодалам. Это накладывает отпечаток на все экономические и социальные преобразования в стране, в том числе и на аграрную реформу.

Национальная буржуазия, придя к власти, стремится умерить революционную борьбу крестьянства частичными уступками и половинчатыми реформами, которые носят, как правило, буржуазный характер.

¹ См. «Проблемы мира и социализма», № 10, 1961, стр. 5.

Почти во всех странах Африки, Азии и Латинской Америки, где проводятся буржуазные аграрные реформы, сельское хозяйство развивается по капиталистическому пути. Такие реформы, по существу, предусматривают ограничение крупного помещичьего землевладения, перераспределение земли в пользу крестьян, посредством выкупа ее у государства и помещиков и ликвидацию некоторых феодальных повинностей. Они проводятся в интересах национальной буржуазии, а не крестьянства, и определяют развитие производительных сил сельского хозяйства на капиталистической основе.

Образцом аграрной реформы такого типа является проведение аграрных преобразований национальной буржуазией Ирака и Египта.

До аграрной реформы 12 тысяч египетских феодалов и помещиков владели около 2 млн. федданов земли, то есть $\frac{1}{3}$ всей обрабатываемой земли (1 феддан = 0,42 га), а 2 млн. крестьянских семей с наделом менее феддана имели около 13% всей обрабатываемой земли. Несколько миллионов крестьянских семей в Египте не имели собственной земли¹.

Согласно аграрной реформе, проведенной в Египте, начиная с 1952 г. крупная феодальная собственность ограничивалась (максимальный размер земли был равен 135 га). Помещики получили за земли, распределенные между крестьянами, выкуп, приближающийся к рыночной цене на землю. В результате проведения аграрной реформы к 1957 г. число мелких землевладельцев с наделами до 5 федданов увеличилось примерно на 328 тысяч человек, около 7% безземельных крестьян получили землю². Крестьяне были в обязательном порядке зачислены в кооперативы, которыми руководят государственные чиновники.

Эта аграрная реформа лишь ограничила, подорвала, но не уничтожила помещичье землевладение и ослабила политическое влияние феодалов. Выплата помещикам большого размера компенсации за отрезанные у них земли свела на нет их экономические потери. Около 6% обрабатываемых земель сохранилось у крупных землевладельцев. 95% землевладельцев имеют наделы менее 5 федданов³.

Выгоды из земельной реформы извлекал, главным образом, египетская буржуазия, ибо в результате осуществления реформы создались благоприятные условия для широкого развития капиталистических отношений в деревне.

Примерно так же решает аграрный вопрос иракская национальная буржуазия, которая пыталась привлечь крестьянство законом о земельной реформе.

Таким образом, опыт Ирака и Египта свидетельствует о том, что национальная буржуазия не способна радикально решить аграрный вопрос.

Наконец, нельзя не остановиться хотя бы в нескольких словах на тех странах, для которых в настоящее время становится возможным, как отмечает Программа КПСС, некапиталистический путь развития. В докладе «О Программе Коммунистической партии Советского Союза» на XXII съезде КПСС Н. С. Хрушев говорил о том, что «международное рабочее движение имеет теперь в своем распоряжении... опыт перехода к социализму экономически слаборазвитых стран, минуя капиталистическую стадию развития...»⁴.

¹ См. «Проблемы мира и социализма», № 1, 1961, стр. 62.

² См. «Экономика сельского хозяйства», № 4, 1961, стр. 119.

³ См. там же.

⁴ Н. С. Хрушев. О Программе КПСС, 1961, стр. 13.

К числу таких стран относятся Гвинея, Мали. В Гвинее совершенно отсутствует частная собственность на землю. Почти повсюду существует коллективная собственность на землю, сохранившаяся от родового строя. Только в Верхней Гвинее у племени малинке наблюдается развитие некоторых форм семейной собственности.

Все это облегчает преобразование аграрных отношений в гвинейской деревне. И хотя еще трудно судить о том, как будут осуществляться аграрные преобразования, однако в Гвинее складываются благоприятные условия для осуществления национализации всей земли. В Гвинее не проведена еще непосредственно аграрная реформа, но там упразднена система местных вождей, назначавшихся французскими властями. Поля, которые принадлежали этим вождям и обрабатывались исполщиками, стали коллективной собственностью.

В стране сейчас существует 67 государственных плантаций и 2440 коллективных полей, доходы с которых идут на общественные нужды (на покрытие коллективных расходов деревни и на налоги)¹. В сельском хозяйстве начинают создаваться некоторые виды кооперативов. В Верхней Гвинее, где начали возникать различные формы семейного присвоения земли, некоторые земли были перераспределены в пользу менее обеспеченных крестьян. Аналогичные аграрные отношения сложились в малийской деревне.

Говоря об историческом опыте республик Советского Востока и Монгольской Народной Республики, которые добились большого прогресса, идя некапиталистическим путем, Ю. Цеденбал подчеркивает, что успешное некапиталистическое развитие слаборазвитых стран Африки и Азии может стать возможным лишь в том случае, если сложится классовый союз рабочего класса СССР и других социалистических стран с крестьянством отсталых стран, который будет осуществляться в международном масштабе².

Сегодня в условиях назревшей возможности социалистического развития сельского хозяйства даже в экономически отсталых странах сущность классовой борьбы в странах, освободившихся от колониального ига, объективно состоит в борьбе капиталистического и некапиталистического путей развития. В этом также находит свое выражение борьба двух общественных систем — социализма и капитализма.

¹ См. «Мировая экономика и международные отношения», № 7, 1961, стр. 110.

² См. «Проблемы мира и социализма», № 3, 1961, стр. 11, 17.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
1. Вознесенский Г. П. О рациональном оребрении ребристого листа	5
2. Линкова Г. Г. Исследование влияния жесткости консольно закрепленной борштанги на чистоту обработанной поверхности при тонкой расточке	13
3. Ревва В. Ф. Применение виброгасителей сухого трения для уменьшения колебаний борштанг алмазно-расточных станков	17
4. Греков Г. М. Применение изотермической закалки для открытых зубчатых колес из чугуна	23
5. Верхивкер Г. П., Шевченко Г. З. О повышении КПД мощных газотурбинных установок	31
6. Дехтярев В. Л. К созданию экономичного цикла теплосиловой установки	39
7. Олесевич Е. К. Снижение концевых потерь в профильных решетках турбомашин	45
8. Тищенко Б. С. Приближенная методика расчета выгорания пылеугольного факела тощего угля и антрацита	47
9. Бахтиозин Р. А., Горбис З. Р. О конвективной теплоотдаче потока газографитовой взвеси в продольно оребренных каналах	55
10. Ковтун А. П. К вопросу о напряженном состоянии сыпучей среды, огражденной вертикальными стенами	65
11. Георги Н. В. К вопросу об интенсификации мойки пшеницы с помощью ультразвука	75
12. Вайнберг А. А. Исследование фигурнопластинчатого ворохоочистителя	81
13. Солоид С. А. Применение математических машин для получения оптимальных рецептов кормовых смесей	87
14. Малаховцев В. П. Исследование сил разрушения зерна при ударном нагружении	103
15. Левчишина Р. В. Исследование гемицеллюлоз тростника обыкновенного в течении вегетации	109
16. Розенфельд У. Д. Русские революционные демократы о самобытности, русской материалистической философии	115
17. Бондаренко Е. Я. Марксистско-ленинское учение о национализации земли и решение аграрного вопроса в современных условиях	123

Редактор Розенфельд У. Д.

БР 09597. Подписано к печати 22.X-62 г. Заказ № 6190.
 Печатных листов 8,25. Уч. изд. лист. 9,5. Формат бумаги 70×108¹/₁₆.
 Цена 56 коп. Тираж 600.

Тип. г. Белгород-Днестровский, ул. Ленина, 50.