

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 217

СБОРНИК

НАУЧНЫХ ТРУДОВ СТУДЕНТОВ

IV

СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ СТУДЕНТОВ
IV



Ep. 6706

УДК 624.025.001.24

Ю. Э. Энгельбрехт,
студент V курса строительного факультета
Научный руководитель: *В. Р. Кульбах,*
доц., канд. техн. наук

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ

I Предисловие

В настоящее время висячие покрытия нашли широкое применение, особенно в сооружениях больших пролетов. Они дают наиболее экономичные решения: основной материал — металл — работает всегда только на растяжение, что позволяет полностью использовать современные высокопрочные стали, благодаря чему можно добиться их минимального расхода. Висячие конструкции просты в изготовлении и в монтаже и позволяют создать весьма легкие покрытия больших пролетов.

В данной работе исследована система тросов с предварительным напряжением. Благодаря предварительному напряжению и пространственной кривизне такие конструкции обладают большой жесткостью и они не дают больших деформаций по сравнению с балочными конструкциями или покрытиями-оболочками из тех же материалов. Исследованы следующие конструктивные схемы:

1. система с пересекающимися тросами;
2. система с радиальными тросами.

Расчет тросов производится по теории безмоментной нити. Так как система имеет предварительное напряжение, надо рассчитывать с изменением предварительного напряжения. Несущие тросы получают предварительное напряжение благодаря натяжению стягивающих тросов. При системе с пересекающимися тросами производится это прямым контактом. При системе с радиальными тросами необходимы промежуточные растянутые или сжатые стержни, при помощи которых передается нагрузка от предварительного напряжения несущим тросам.

Система с пересекающимися тросами работает следующим образом. В узлах пересечения тросов нормально к поверхности сетки действует контактная сила. Стягивающие тросы преднагружают этим усилием несущие тросы, передавая предварительное напряжение, и это состояние называется состоянием предварительного напряжения.

В рабочем состоянии конструкции несущий трос должен воспринимать собственный вес покрытия, снеговую и ветровую нагрузку. Воспринимая дополнительную нагрузку, несущий трос удлиняется, и узел пересечения тросов перемещается книзу. Это вызовет сокращение длины стягивающего троса, следовательно снизится и натяжение стягивающего троса. Естественно уменьшится и контактная сила в узле пересечения тросов. Следовательно, на несущий трос передается не вся величина дополнительной нагрузки, поскольку предварительное напряжение уменьшается в связи с приложением дополнительной нагрузки. При всасывающей ветровой нагрузке тоже уменьшится предварительное напряжение, но погружаются стягивающие тросы. Когда временная положительная нагрузка достигает такого значения, что сила в стягивающем тросе становится равной нулю (не учитывая собственный вес троса), тогда дальнейшее увеличение нагрузки воспринимается только несущим тросом и разгружающее влияние стягивающего троса уже не может сказаться. Теряется и жесткость покрытия. Следовательно, надо дать покрытию такое предварительное напряжение, что даже при максимальной нагрузке сохранялось бы достаточное влияние предварительного напряжения.

При системе с радиальными тросами передается предварительное напряжение от стягивающего троса несущему тросу при помощи промежуточных стержней. Стержни сжаты, когда стягивающий трос расположен сверху несущего, и растянуты, когда стягивающий трос расположен снизу несущего троса.

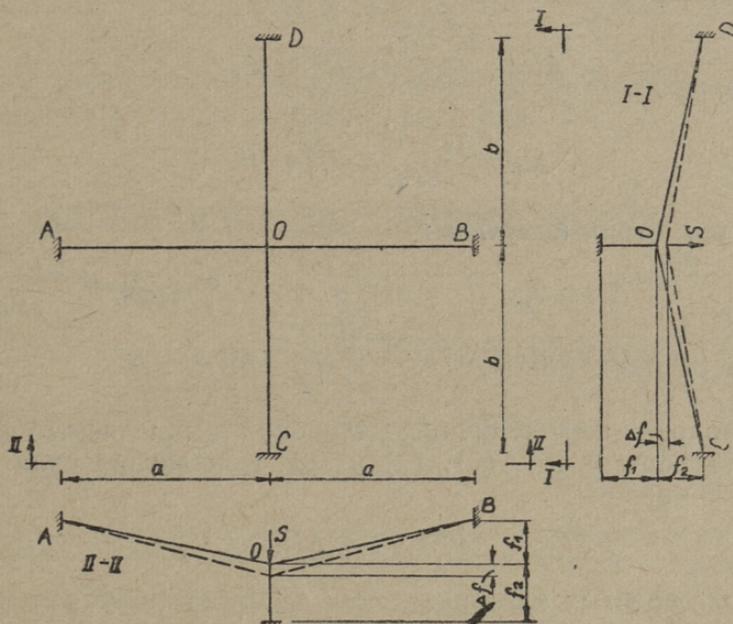
Зная, в какой степени изменяется предварительное напряжение, можно определять нужную начальную величину его. По данным О. Фрея [1] дается предварительное напряжение в процентах от собственного веса и снеговой нагрузки. В. Кульбах [2] вычислял изменение предварительного напряжения для системы с пересекающимися тросами. Параллельно с вышеуказанной исследовательской работой выполнена и настоящая работа, задачей которой является разъяснить изменение предварительного напряжения при нагружении висячих покрытий.

Работа содержит 3 варианта решения данной задачи:

- 1) элементарная система с двумя пересекающимися тросами;
- 2) система с 8 пересекающимися тросами;
- 3) система с радиальными тросами.

II Элементарная система с двумя пересекающимися тросами

а) Положительной нагрузкой является сосредоточенная сила в узле пересечения тросов (фиг. 1).



Фиг. 1. Система с двумя пересекающимися тросами. В узле пересечения тросов действует сосредоточенная нагрузка

Контактная сила из предварительного напряжения — P_0 . При нагружении сосредоточенной силой S изменится контактная сила на ΔP . Натяжение несущего троса — T_1 , натяжение стягивающего троса — T_2 . В дальнейшем индекс 1 обозначает несущий трос, индекс 2 — стягивающий трос. В состоянии предварительного напряжения:

$$T_1 = \frac{P_0}{2 \sin \alpha_1}, \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{P_0}{2 \sin \alpha_2}. \quad (2)$$

После нагружения:

$$T'_1 = \frac{S + P_0 - \Delta P}{2 \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha_1)}, \quad (3)$$

$$T'_2 = \frac{P_0 - \Delta P}{2 \sin(\alpha_2 - \Delta\alpha_2)}. \quad (4)$$

Углы тросов и их изменения вычисляются при помощи геометрии. Удлинения тросов вычисляем по формулам упругой деформации:

$$\Delta l_1 = \frac{T'_1 - T_1}{EF_1} 2\sqrt{f_1^2 + a^2}, \quad (5)$$

$$\Delta l_2 = \frac{T_2 - T'_2}{EF_2} 2\sqrt{f_2^2 + b^2}. \quad (6)$$

Из геометрии получаем:

$$\Delta l_1 = 2[\sqrt{(f_1 + \Delta f)^2 + a^2} - \sqrt{f_1^2 + a^2}], \quad (7)$$

$$\Delta l_2 = 2[\sqrt{f_2^2 + b^2} - \sqrt{(f_2 - \Delta f)^2 + b^2}]. \quad (8)$$

Приравняв величины удлинений вычисляемые по-разному из формул (5), (6), (7) и (8). Контактная сила после нагружения:

$$P = P_0 - \Delta P. \quad (9)$$

После простых алгебраических действий получаем формулу для определения Δf :

$$\frac{(P_0 \sqrt{f_2^2 + b^2} - 2EF_2 f_2)(f_2 - \Delta f)}{f_2 \sqrt{(f_2 - \Delta f)^2 + b^2}} - \frac{(P \sqrt{f_1^2 + a^2} - 2EF_1 f_1)(f_1 + \Delta f)}{f_1 \sqrt{(f_1 + \Delta f)^2 + a^2}} + \frac{2EF_2(f_2 - \Delta f)}{\sqrt{f_2^2 + b^2}} - \frac{2EF_1(f_1 + \Delta f)}{\sqrt{f_1^2 + a^2}} + S = 0. \quad (10)$$

Для практических целей пренебрегаем величинами Δf^2 и $f\Delta f$, так как они являются малыми величинами по сравнению с величинами $(a^2 + f^2)^2$ и f^2 . В общем виде можем величину P вычислять из следующей системы уравнений, вычисляя из обоих уравнений Δf и приравнявая полученные выражения:

$$(S - P_0 + P)(\sqrt{a^2 + f_1^2})^3 = 2EF_1 f_1^2 \Delta f, \quad (11)$$

$$(P - P_0)(\sqrt{b^2 + f_2^2})^3 = -2EF_2 f_2^2 \Delta f. \quad (12)$$

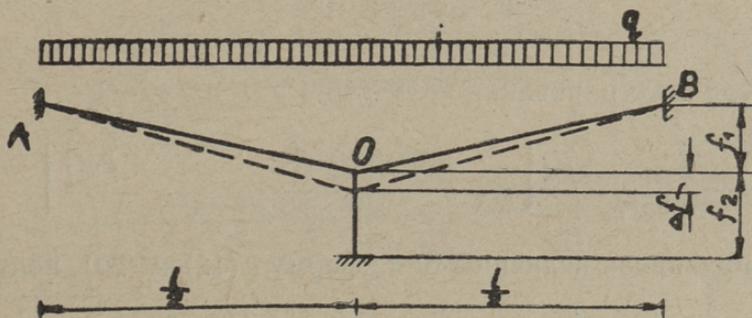
При одинаковых тросах ($a = b$, $f_1 = f_2 = f$, $F_1 = F_2 = F$) получим:

$$P = P_0 - 0,5S. \quad (13)$$

Прогиб можно определить тоже из вышеуказанной системы уравнений. При одинаковых тросах:

$$\Delta f = \frac{S(\sqrt{a^2 + f^2})^3}{4EFf^2}. \quad (14)$$

б) Положительной нагрузкой является равномерно распределенная нагрузка на несущем тросе (фиг. 2).



Фиг. 2. Система с двумя пересекающимися тросами. На несущий трос действует равномерно распределенная нагрузка

Состояние предварительной нагрузки то же, как и в предыдущей задаче. Положительной нагрузкой является равномерно распределенная нагрузка q . Изменение прогиба Δf вычисляем при помощи данных стягивающего троса. Это аналогично предыдущей задаче.

$$\Delta f = \frac{(P_0 - P) \left(\sqrt{\frac{l^2}{4} + f^2} \right)^3}{2EFf^2}. \quad (15)$$

Из геометрии троса вычисляем Δl . Для вычисления прогиба используем формулу:

$$y = \frac{M}{H}, \quad (16)$$

где H распор тросов. Длина троса L вычисляется при помощи формулы:

$$L = 2 \int_0^{l/2} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] dx. \quad (17)$$

Вычисляем длину троса в состоянии предварительного напряжения и после загрузки. Разница длин дает Δl :

$$\Delta l = \frac{8(f^2 + 2f\Delta f) \left(P^2 + \frac{1}{3} q^2 l^2 + Pql \right)}{q^2 l^3 + 4Pql^2 + 4P^2 l} - \frac{2f^2}{l}. \quad (18)$$

С другой стороны вычисляем Δl при помощи формулы упругой деформации:

$$\Delta l = \frac{1}{EF} \int_0^l \Delta T ds. \quad (19)$$

После интегрирования получим:

$$\Delta l = \frac{ql^2 + 2Pl - 2P_0 l}{8EFf} \left[l + \frac{16(f^2 + 2f\Delta f) \left(P^2 + \frac{1}{3} q^2 l^2 + Pql \right)}{q^2 l^3 + 4Pql^2 + 4P^2 l} \right]. \quad (20)$$

Приравнявая величины Δl из формул (18) и (20), получим:

$$\frac{8(f^2 + 2f\Delta f) \left(P^2 + \frac{1}{3} q^2 l^2 + Pql \right)}{q^2 l^3 + 4Pql^2 + 4P^2 l} = \frac{ql^4 + 2Pl^3 - 2P_0 l^3 + 16f^3 EF}{8fEF l - 2ql^3 - 4Pl^2 + 4P_0 l^2}. \quad (21)$$

Из уравнений (15) и (21) можно определить P и Δf . Из уравнения (9) определяем ΔP .

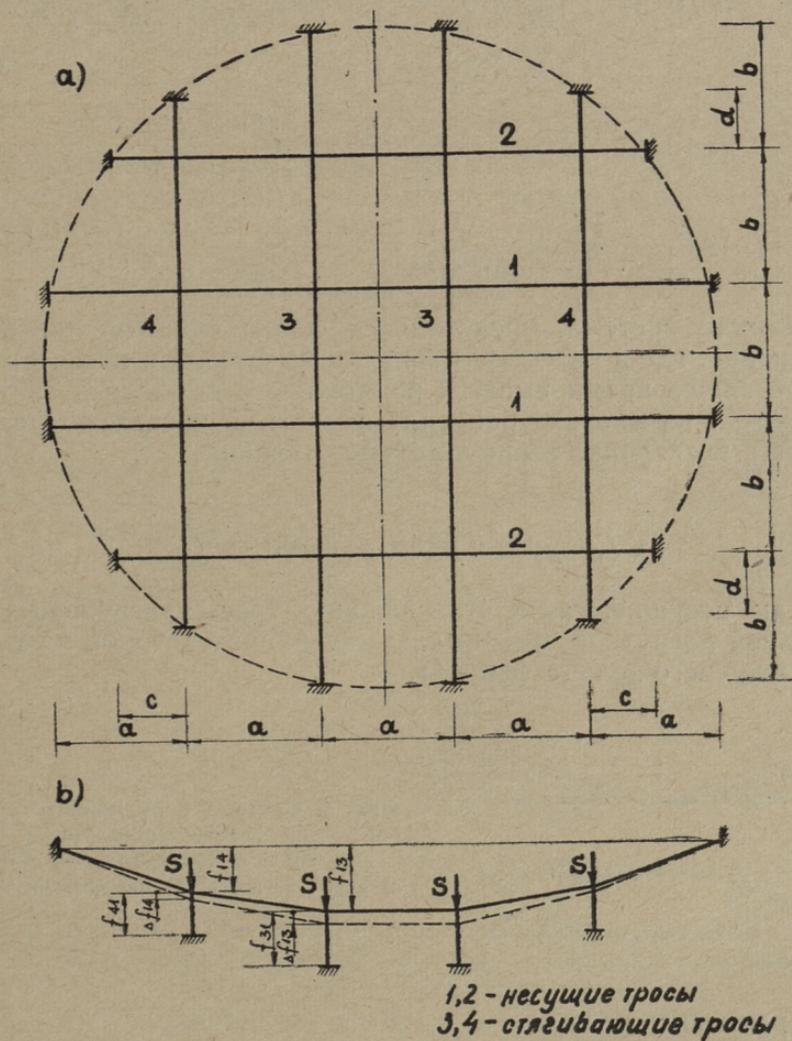
III Система с 8 пересекающимися тросами

Систему составляют четыре несущие и четыре стягивающие тросы (фиг. 3). Начальные условия такие же, как и в элементарной системе: в состоянии предварительного направления действует во всех узлах пересечения тросов контактная сила P_0 и после загрузки внешней силы S изменится контактная сила на ΔP . Выбирая симметричную систему, получаем систему уравнений с 8 неизвестными (изменения контактной силы и прогибов в четырех пунктах). Уравнения получим, приравнявая удлинения отрезков тросов из условий равновесия между соседними узлами пересечения тросов. Получим 8 уравнений:

$$f_{14}(2S - \Delta P_{14} - \Delta P_{13}) - \frac{2Pa \Delta f_{14}}{\sqrt{f_{14}^2 + a^2}} = \frac{1,1EF_{i14}^3 \Delta f_{14}}{(\sqrt{f_{14}^2 + a^2})^2}; \quad (22)$$

$$(f_{13} - f_{14})(S - \Delta P_{13}) - \frac{Pa(\Delta f_{13} - \Delta f_{14})}{\sqrt{(f_{13} - f_{14})^2 + a^2}} = \frac{1,1EF_1(f_{13} - f_{14})^3(\Delta f_{13} - \Delta f_{14})}{[\sqrt{(f_{13} - f_{14})^2 + a^2}]^3}; \quad (23)$$

$$f_{24}(2S - \Delta P_{24} - \Delta P_{23}) - \frac{2Pc \Delta f_{24}}{\sqrt{f_{24}^2 + c^2}} = \frac{1,1EF_2 f_{24}^3 \Delta f_{24}}{(\sqrt{f_{24}^2 + c^2})^3}; \quad (24)$$



Фиг. 3. Система с 8 пересекающимися тросами:
а) план; б) несущий трос № 1. При обозначении прогиба первый индекс указывает на основной трос, второй на пересекающийся трос

$$(\dot{f}_{23} - \dot{f}_{24})(S - \Delta P_{23}) - \frac{Pa(\Delta f_{23} - \Delta f_{24})}{\sqrt{(\dot{f}_{23} - \dot{f}_{24})^2 + a^2}} = \frac{1.1EF_2(\dot{f}_{23} - \dot{f}_{24})^3(\Delta f_{23} - \Delta f_{24})}{[\sqrt{(\dot{f}_{23} - \dot{f}_{24})^2 + a^2}]^3}, \quad (25)$$

$$\dot{f}_{32}(\Delta P_{23} + \Delta P_{13}) - \frac{2Pb\Delta f_{23}}{\sqrt{f_{32}^2 + b^2}} = \frac{0.9EF_3\dot{f}_{32}^3\Delta f_{23}}{(\sqrt{f_{32}^2 + b^2})^3}; \quad (26)$$

$$(\dot{f}_{31} - \dot{f}_{32})\Delta P_{13} - \frac{Pb(\Delta f_{13} - \Delta f_{23})}{\sqrt{(\dot{f}_{31} - \dot{f}_{32})^2 + b^2}} = \frac{0.9EF_3(\dot{f}_{31} - \dot{f}_{32})^3(\Delta f_{13} - \Delta f_{23})}{[\sqrt{(\dot{f}_{31} - \dot{f}_{32})^2 + b^2}]^3}; \quad (27)$$

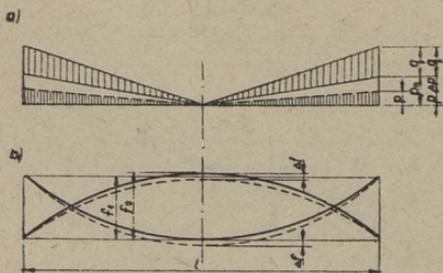
$$\dot{f}_{42}(\Delta P_{14} + \Delta P_{24}) - \frac{2Pd\Delta f_{42}}{\sqrt{f_{42}^2 + d^2}} = \frac{0.9EF_4\dot{f}_{42}^3\Delta f_{42}}{(\sqrt{f_{42}^2 + d^2})^3}; \quad (28)$$

$$(\dot{f}_{41} - \dot{f}_{42})\Delta P_{14} - \frac{Pb(\Delta f_{14} - \Delta f_{24})}{\sqrt{(\dot{f}_{41} - \dot{f}_{42})^2 + b^2}} = \frac{0.9EF_4(\dot{f}_{41} - \dot{f}_{42})^3(\Delta f_{14} - \Delta f_{24})}{[\sqrt{(\dot{f}_{41} - \dot{f}_{42})^2 + b^2}]^3}. \quad (29)$$

Данная система представляет собою систему линейных уравнений, где в каждом уравнении имеется три неизвестных. В настоящее время имеется возможность вычислять систему уравнений из многих уравнений с многими неизвестными при помощи электронно-вычислительной техники.

IV Система с радиальными тросами

Как несущие, так и стягивающие тросы загружены треугольной нагрузкой, максимальный ординат которой находится у внешнего кольца (фиг. 4).



Фиг. 4. Система с радиальными тросами, где стягивающие тросы пересекаются с несущими тросами:

а) схема нагрузки; б) деформация тросов

Уравнение троса

$$y = 2f\xi(3 - 6\xi + 4\xi^2), \quad (30)$$

где $\xi = \frac{x}{l}$, f — прогиб троса и l — пролет. Удлинение троса

можно определить приблизительно при помощи уравнения [3]:

$$\Delta S = 7,2 \Delta f \varphi, \quad (31)$$

где $\varphi = \frac{f}{l}$.

Первоначальной нагрузкой из предварительного напряжения является p_0 . Прибавляя положительную нагрузку q , изменится предварительное напряжение на Δp , и обозначается p . Максимальное натяжение

$$T = \frac{(q+p)l}{4} \sqrt{1 + \left(\frac{1}{6\varphi}\right)^2}. \quad (32)$$

С одной стороны известны удлинения из геометрии, с другой стороны вычисляем удлинения по формуле упругой деформации:

$$\Delta S = \frac{\Delta T s}{EF}, \quad (33)$$

где длина троса $s = l(1 + 3,6\varphi^2)$ и ΔT — разница внутренних сил.

Вычисляем удлинения несущих и стягивающих тросов вышеуказанными способами. Получаем для обоих тросов по 2 уравнения для определения Δs . Приравниваем и определяем Δf при помощи деформации несущих и стягивающих тросов. Так как Δf должно быть одинаково для обоих тросов, приравнявая полученные уравнения, получаем формулу для определения связи между q и Δp :

$$\Delta p = \frac{q}{1+n}, \quad (34)$$

где

$$n = \frac{f_1^2}{f_2^2} \cdot \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{1 + 7,2\varphi_2^2}{1 + 7,2\varphi_1^2}. \quad (35)$$

f_1 — максимальный прогиб несущего троса;

f_2 — максимальный прогиб стягивающего троса;

F_1 — площадь сечения несущего троса;

F_2 — площадь сечения стягивающего троса;

$\varphi_1 = \frac{f_1}{l}$ — относительный прогиб несущего троса;

$\varphi_2 = \frac{f_2}{l}$ — относительный прогиб стягивающего троса.

V Выводы

Изменение предварительного напряжения легко вычислить при помощи вычисления тросов. В настоящей работе исследовано изменение предварительного напряжения в зависимости от деформации самого троса. На изменение предварительного напряжения влияет и податливость контура. В этом случае придется при вычислении удлинений тросов рассчитывать и деформации контура при натяжении тросов.

Тросы рассчитывают на следующие нагрузки: несущий трос загружается нагрузкой $p_0 + q - \Delta p$, стягивающий трос загружается $p_0 - \Delta p$, где p_0 — нагрузка предварительного напряжения, q — положительная нагрузка и Δp — изменение предварительного напряжения. В настоящей статье приведены формулы для определения Δp .

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Фрей. Висячие покрытия. Москва, 1960.
2. Х. Х. Лауль, В. Р. Кульбах, А. А. Сумбак. О вопросах статического расчета и испытания конструкций покрытия Таллинской певческой эстрады. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 184, Таллин, 1961.
3. Ю. Л. Сопоцько. К расчету предварительно напряженной круговой вантовой конструкции. «Строительная механика и расчет сооружений» № 6, 1960.

УДК 621.031.001.24

Ю. А. Тярно,
студент V курса строительного факультета
Научный руководитель: *Х. Х. Лауль,*
проф., докт. техн. наук

РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ

Общие сведения

Цилиндрические оболочки получили в строительстве широкое применение. Вследствие использования железобетона достигнуто значительное уменьшение веса конструкций и материалов. Особенно существенна экономия материалов при больших пролетах. Например получено, что при толщине оболочки в 7 см расход стали на 1 м² пола 11 кг (Эстпромпроект).

Цилиндрические оболочки применяются как отдельно стоящими, так и целыми батареями. Они могут быть одно- и многопролетные. Цилиндрические оболочки могут быть разделены на:

- 1) длинные $L > 3 \div 10l$ (для расчета можем применять формулы из сопротивления материалов);
- 2) средней длины (для расчета можем применять упрощенные методы расчета);
- 3) короткие оболочки (расчет производится точными методами).

Цель задачи

Целью задачи является:

- а) уяснение изменений внутренних сил с изменением пролета и угла открывания;
- б) дать основные направления проектировщику.

Определение основных габаритов

Для одноэтажных промышленных зданий массового типа следует применять:

- а) в цехах без кранов — сетку колонн 12×18 м;
- б) в цехах с кранами — сетку колонн 12×18 м, 12×24 м, 12×30 м и 12×36 м.

Применение крупных сеток колонн способствует внедрению новых типов универсальных «гибких» зданий.

Исходя из этого, выбираем (см. фиг. 1):

- длину волны — $l = 12$ м,
- пролет оболочки $L = 9, 12, 24$ и 36 м,
- высоту бортового элемента $l_0 = 1,2$ м,
- толщину бортового элемента $\delta_0 = 0,3$ м,
- толщину оболочки выбираем из условия размещения арматуры и восприятия главных растягивающих напряжений — 8 сантиметров.

Длину волны $l = 12$ м можем получить с разными углами открывания. Средние значения для $\varphi_0 = 30^\circ \div 45^\circ$. Если $\varphi_0 \geq 45^\circ$ — надо применить двойную опалубку. Принимаем $\varphi_0 = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ и 45° .

Нагрузки

Нагрузками являются собственный вес оболочки, покрытие, гидроизоляция, теплоизоляция и снег по условиям пояса для ЭССР.

Расчетная нагрузка 400 кг/м².

О методе расчета

В нашей задаче мы встречаемся с оболочками средней длины. Для расчета применяем метод аппроксимации сдвигающих сил. Центральная величина в расчетах — приращение сдвигающей силы $\zeta = \frac{\partial s}{\partial x}$, которую мы в расчетах ищем. Делаем упрощение, что ζ является постоянной величиной вдоль оболочки при постоянной нагрузке. Исходя из этого являются постоянными вдоль оболочки и поперечные моменты m_2 (принимаем $m_{12} = 0$). Влияние продольных моментов m_1 и продольных поперечных сил Q_1 предполагается настолько малым, что им можно пренебречь.

Наконец делаем упрощение, что оболочка и бортовой элемент соединены между собой линейным шарниром (исходим

из того, что бортовой элемент плохо работает на кручение).

Выбирает диаграмму $\zeta = \frac{\partial s}{\partial x}$ так, чтобы были удовлетворены условия равновесия и условия минимума потенциальной энергии внутренних сил.

Выражаем приращение сдвигающих сил в форме

$$\zeta = a_1 \sin \frac{\pi s}{s_0} + a_2 \sin \frac{2\pi s}{s_0} + a_1 \frac{s}{s_0} \quad (\text{в криволинейной части}), \quad (1)$$

$$\zeta = a_1 \left(1 - \frac{b}{b_0}\right) + a_0 \frac{4b(b_0 - b)}{b_0^2} \quad (\text{в бортовых элементах}), \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_1 и a_0 — в начале незнакомые параметры.

Если мы даем приращению сдвигающих сил такую форму, то нами выполнены уже следующие условия:

если $s = 0$, тогда $S = 0$.

и если $b = b_0$, тогда $S = 0$.

Также выполнены условия сходимости сдвигающих сил на линии соединения бортовых элементов и криволинейной части.

В бортовых элементах предполагается линейное распределение продольных напряжений. Соответствующая эпюра ζ является квадратичной параболой.

Выпишем уравнения для нахождения независимых параметров a_1, a_2 и зависимых параметров a_1 и a_0 .

Из равновесия в вертикальном направлении имеем:

$$R\varphi_0 q + q_0 + \sum_{1,2} Ra_i \frac{(-1)^{i+1} \sin \varphi_0}{\frac{i\pi}{\varphi_0} - \frac{\varphi_0}{i\pi}} + \frac{2}{3} b_0 a_0 + \left[\frac{b_0}{2} + R \left(\frac{\sin \varphi_0}{\varphi_0} - \cos \varphi_0 \right) \right] a_1 = 0. \quad (3)$$

Из условия сходимости продольных напряжений (деформаций) на линии соединения бортового элемента и криволинейной части оболочки имеем:

$$-\frac{\pi}{s_0} a_1 + \frac{2\pi}{s_0} a_2 + \frac{1}{s_0} a_1 + \frac{\delta}{\delta_0} \left(-\frac{a_1}{b_0} - \frac{4a_0}{b_0} \right). \quad (4)$$

Из условия минимума потенциальной энергии имеем:

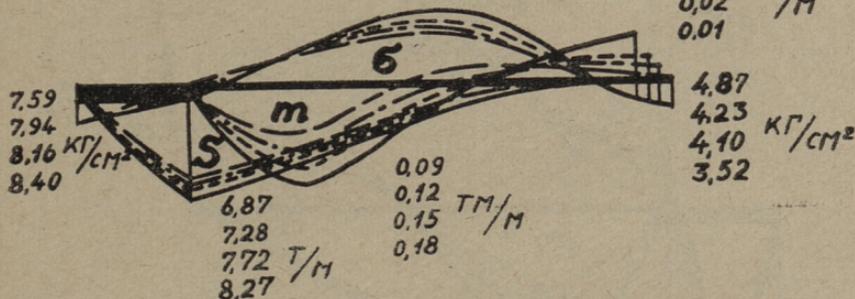
$$\frac{\partial \pi}{\partial a_k} = \frac{6L}{E\delta^3} \int_0^{s_0} m_2 \frac{\partial m_2}{\partial a_k} ds + \frac{0,2(6)L}{E\delta} \int \max T \frac{\partial (\max T)}{\partial a_k} ds = 0. \quad (5)$$

Внутренние силы находим из формул

$L=9 \text{ м}$

10,82
9,77
8,65 кг/см^2
7,67

0,08
0,04
0,02 т/м
0,01



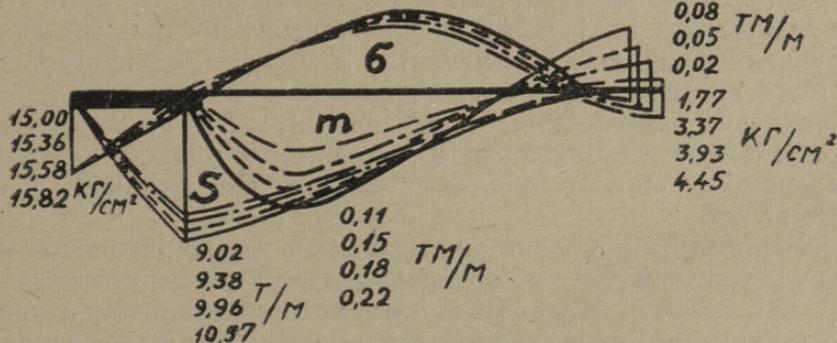
————— $\varphi_0 = 30^\circ$
 - - - - - $\varphi_0 = 35^\circ$
 - · - · - $\varphi_0 = 40^\circ$
 ———— $\varphi_0 = 45^\circ$

Фиг. 2.

$L=12 \text{ м}$

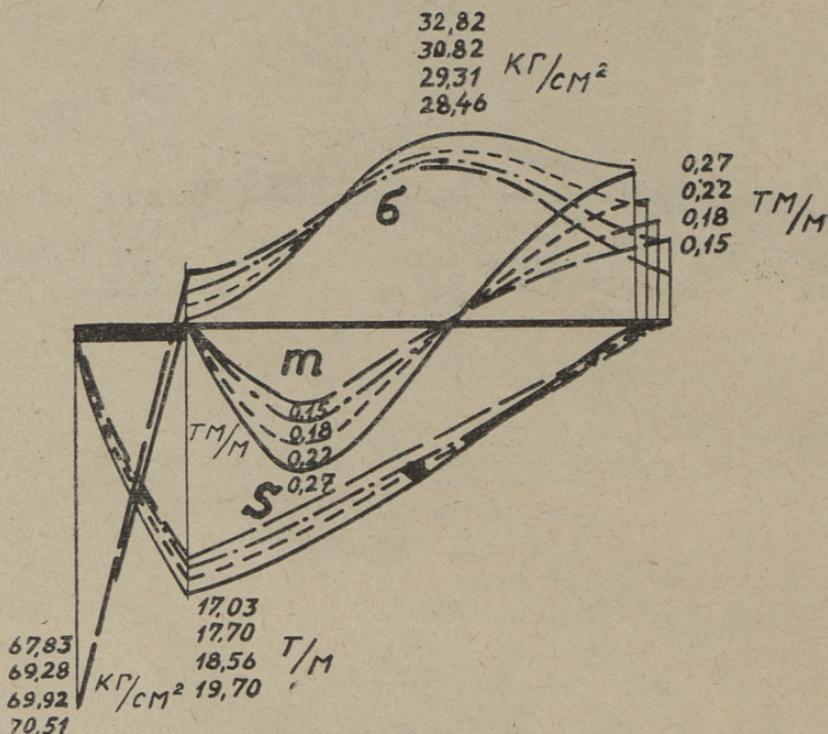
14,79
13,98
12,44 кг/см^2
12,10

0,12
0,08
0,05 т/м
0,02



Фиг. 3.

$$L = 24 \text{ м}$$



Фиг. 4.

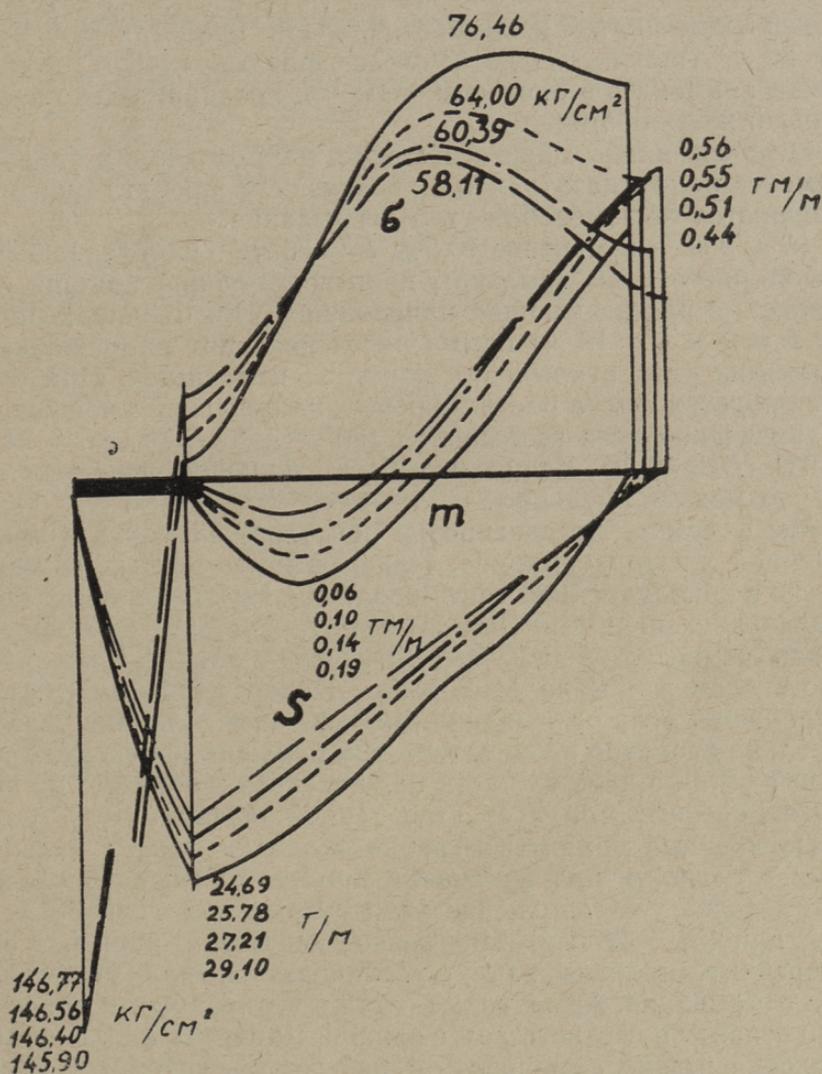
Результаты

Рассмотрим полученные эпюры внутренних сил. По этим эпюрам можем сказать, что распределение продольных сил с увеличением пролета приблизится к задаче большой балки.

Если при оболочках $L = 9$ и $L = 12$ м в зоне гребня растягивающие напряжения, то при пролетах $L = 24$ и $L = 36$ м хорошо видно приближение к линейному распределению напряжений. Лучшие результаты получим при меньших углах открывания.

Восприятие продольных напряжений в криволинейной части не так тяжело. Сжимающие напряжения ($\max \delta_{36} = -76,5 \text{ кг/см}^2 < R_{\text{пр}} = 80 \text{ кг/см}^2$) воспринимаются бетоном. Растягивающие напряжения, которые бывают при коротких пролетах у гребня и у бортового элемента оболочки ($\max \delta_9 =$

$L=36 \text{ м}$



Фиг. 5.

$= +4,2 \text{ кг/см}^2$ и $\max \delta_{12} = +4,4 \text{ кг/см}^2 < 6,4 \text{ кг/см}^2$ воспринимаются бетоном. Продольные напряжения в бортовом элементе необходимо воспринять арматурой.

Рекомендуется, чтобы растягивающие напряжения не превышали $2R_p^H (3R_p^H)$. Эти условия взяты из условий трещино-

устойчивости. Этим ограничено применение железобетона в бортовом элементе оболочки. Так при пролетах $L = 9$ и $L = 12$ м (тах $\delta_9 = 8,4$ кг/см² и тах $\delta_{12} = 15,8$ кг/см² $< 2R_p^H = 2 \times 16$) можно применять железобетон. При пролетах $L = 24$ и $L = 36$ м (тах $\delta_{24} = 69,5$ кг/см² и тах $\delta_{36} = 146,6 > 3 \times 16$) нужно применять в бортовом элементе предварительно напряженный железобетон.

О максимальных растягивающих напряжениях в бортовом элементе надо сказать, что с увеличением пролета они мало изменяются от изменения угла открывания.

($L = 9$ м — изменение 10,5%, $L = 36$ м — изменение 0,3%). Расчет растянутой арматуры производится при помощи суммирования растягивающих напряжений. При меньших пролетах ($L = 9$ м $L = 12$ м) сумма растягивающих напряжений от изменения угла открывания почти не изменяется. При больших пролетах сумма растягивающих напряжений уменьшается от увеличения угла открывания ($30^\circ \rightarrow 45^\circ$ — 17% ($L = 24$ м) и 19% ($L = 36$ м)). Если мы выберем большие углы открывания, то можем уменьшить количество арматуры.

— Мы считаем, что соединение бортового элемента и криволинейной части шарнирное. Поперечные моменты действуют только в криволинейной части оболочки. Изгибающие моменты бывают двухзначные и требуют арматуры в двух полосах оболочки. Изменение поперечных моментов в зоне $1/3 l$ около бортового элемента мало (в 2 раза). Поперечные моменты при приращении угла открывания уменьшаются. Влияние угла открывания особенно значительно при больших пролетах. Арматурные сетки в нижней части надо ставить в зоне $1/3 l$ по эпюрам поперечных моментов (для данной задачи).

Поперечные моменты у гребня оболочки имеют большую чувствительность при изменении пролета. Также они очень чувствительны на изменение угла открывания (при 30° — 5,5 раза, при 45° — 28 раз). Интересно отметить, что при $L = 36$ м поперечные моменты начнут увеличиваться при увеличении угла открывания. Арматурные сетки в верхней части оболочки надо ставить в соответствии с эпюрой моментов на $0,5 \div 0,6 l$. Оболочки можно армировать одной сеткой, которая у бортового элемента ставится в нижней части оболочки.

Сдвигающие напряжения при изменении угла открывания мало изменяются. При увеличении угла они уменьшаются.

Выводы

1. Для восприятия растягивающих и сжимающих напряжений в криволинейной части оболочки арматуры не требуется.

2. Чтобы уменьшить количество арматуры в бортовом элементе, надо применять оболочки с большим углом открывания. Лучший угол открывания от статического расчета и производства работ $\varphi_0 = 40^\circ$.

3. При меньших пролетах угол открывания следует выбирать по архитектурным требованиям.

4. Оболочки пролетом $L = 24$ и $L = 36$ м рекомендуется применять из предварительно-напряженного железобетона.

Обозначения

- L — пролет оболочки,
- l — длина волны,
- b_0 — высота бортового элемента,
- δ_0 — толщина бортового элемента,
- δ — толщина оболочки,
- S_0 — полудлина поперечного сечения оболочки,
- φ_0 — угол открывания,
- s и x — координаты на поверхности оболочки,
- q — нагрузка на единицу кривой поверхности оболочки (τ/m^2),
- q_0 — то же на единицу длины бортового элемента (τ/m),
- S — сдвигающие силы (τ/m),
- $\zeta(s)$ — прирост сдвигающих сил (τ/m^2),
- m — поперечный момент на единицу длины оболочки (τ),
- T — продольная сила в поперечном сечении оболочки (τ/m).

статически неопределимой рамы с подбором сечений. Рассчитывается рама многоэтажного промышленного здания в условиях менее благоприятных чем те, которые имеются у проектной организации малой мощности.

Рама 15 раз статически неопределима. Для точного расчета такой рамы и для программирования задачи для расчета на электронной цифровой машине М-3 необходимо было задаться предварительными соотношениями моментов инерции элементов рамы, точнее соотношениями погонных жесткостей.

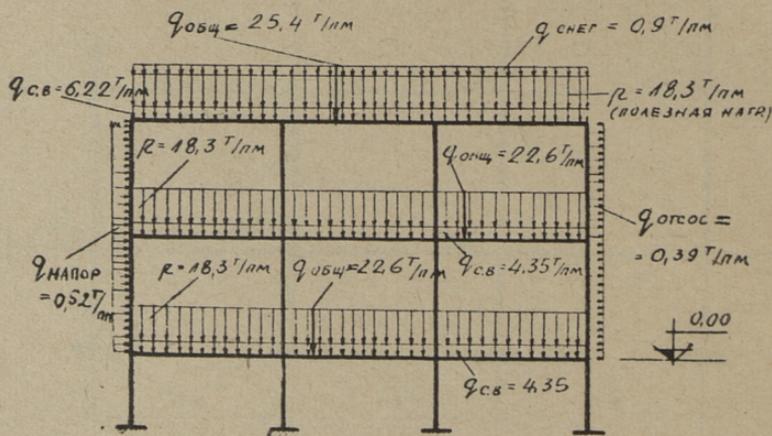
Для этих целей требуется ориентировочный расчет рамы, для чего принимаем схему рамы таковой, что в ее узлах будут шарниры. Таким образом рассчитывать ригели будем как простые балки на двух опорах, а стойки как центрально-сжатые элементы с учетом коэффициента продольного изгиба (φ).

Относительно нагрузок на раму были учтены следующие соображения.

Обычно рамы подобного типа рассчитывают на различные сочетания нагрузок, для чего сначала раму считают на отдельные виды нагрузок (собственный вес, полезная нагрузка, ветер, снег и т. д.), а затем берут возможные сочетания этих нагрузок в самых невыгодных комбинациях.

В нашей задаче все это проделать не представлялось возможным из-за ограниченного срока проектирования, а также по той причине, что на это потребовалось бы большое количество машинного времени. Поэтому было решено рассчитывать раму на три случая нагрузок, которые объединяют в себе возможные расчеты, комбинации отдельных видов нагрузок.

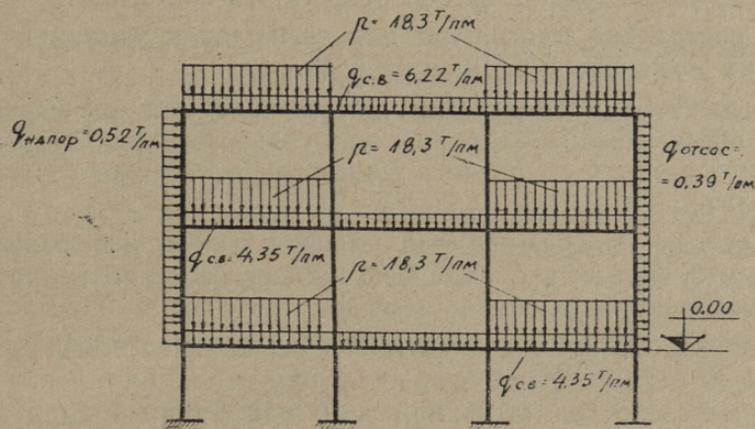
Первый случай нагрузки: собственный вес + полезная на-



Фиг. 2. Первый случай нагрузки

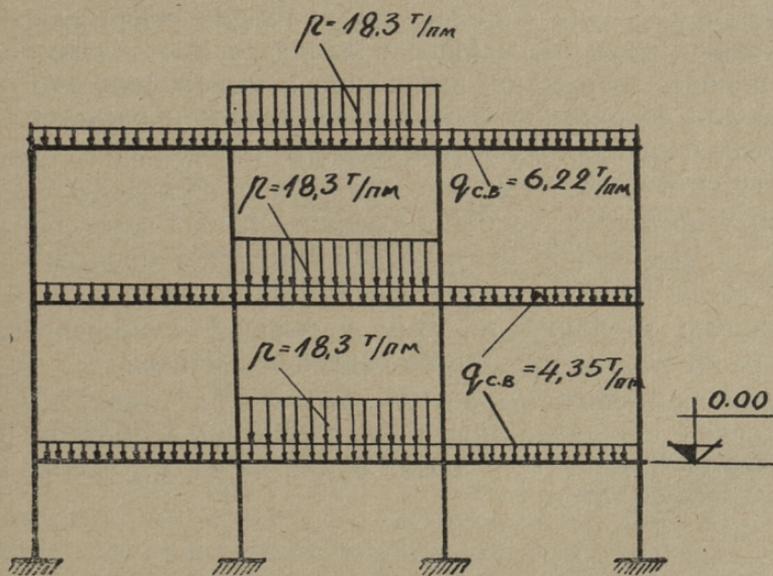
грузка на всех этажах и во всех пролетах + снеговая нагрузка + ветровая нагрузка (напор и отсос).

Второй случай нагрузки: собственный вес + полезная нагрузка в крайних пролетах и на всех этажах + ветровая нагрузка (напор и отсос).



Фиг. 3. Второй случай нагрузки

Третий случай нагрузки: собственный вес + полезная нагрузка в среднем пролете и на всех этажах.



Фиг. 4. Третий случай нагрузки

Для расчета рамы на электронной вычислительной машине М-3 были решены предварительно следующие вопросы:

- 1) составлена программа для решения системы уравнений с 15-ю неизвестными;
- 2) предварительно пробно решена эта система;
- 3) составлена программа для вычисления усилий и изгибающих моментов в элементах рамы;
- 4) составлена программа для того, чтобы по вычисленным усилиям были подобраны необходимые площади сечений колонн и ригелей из расчета минимального расхода металла, применительно к нормам НИТУ-121-55.

В основу программы был положен метод деформаций в матричной форме, что дало возможность составить программу в компактном и общем виде.

При выборе метода численного решения системы уравнений было отдано предпочтение методу итерации* перед прямыми методами расчета, при этом учитывались следующие положительные свойства процесса итерации.

Известно, что итерация дает приближенное значение неизвестного тем более точное, чем большее число приближений сделано. Практически при машинном счете это означает, что приближение будет вычисляться до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность вычисления.

При применении методов итерации для специально подготовленной системы, машине приходится иметь дело только с операциями сложения, вычитания и умножения, что очень важно для сохранения необходимой точности расчетов.

Кроме того, весьма существенным при решении системы уравнений методами итерации является то обстоятельство, что итерация не требует особой проверки. Ошибка или «сбой» машины на каком-либо шаге только замедляет процесс сходимости, но не влияет на правильность результатов.

Процесс итерации поэтому называют «самоисправляющимся» процессом при вычислении неизвестных.

Продолжительность расчета рамы с 15-ю неизвестными и вычисления площадей поперечных сечений элементов рамы составляла 22 минуты, включая время на ввод, решение и печатание результатов.

* При решении рам данного вида метод итерации сходится и практически достаточно «скоро».

Основные характеристики машины М-3 для программирования задачи

1) Система представления чисел двоичная, с фиксированной запятой и пределами представления возможных чисел от -1 до $+1$.

2) Число двоичных разрядов 30, кроме разряда знака, что соответствует 9-ти разрядам десятичного числа.

3) Арифметический узел параллельного типа, внутреннее запоминающее устройство на ферритовых элементах, емкостью 1024 ячеек памяти машины.

4) Система кодирования — двухадресная, с естественным порядком выполнения команд; шесть двоичных разрядов составляют код операции, две группы по 12 двоичных разрядов составляют коды адресов запоминающего устройства.

5) Средняя скорость работы машины — 1000 операций в секунду.

6) Стандартные программы решения системы уравнений и перемножения матрицы на вектор использовали представление исходных данных в нормализованном виде.

При переходе к выполнению арифметических операций над числами применялись интерпретирующие программы.

Представление числа в нормализованном виде предполагает для одного числа использование двух ячеек памяти таким образом, что в одной ячейке хранится мантисса числа, а в другой (очередной по порядку) хранится порядок числа.

Например, число $183 = 0,183 \cdot 10^3$, где 0,183 — мантисса, а 3 — порядок числа.

Такой прием решения задачи, когда машина с фиксированной запятой выполняет арифметические операции подобно машине с плавающей запятой, позволяет проводить счет без введения масштабных коэффициентов и тем самым увеличить точность процесса счета. Однако естественным недостатком такого приема является увеличение ячеек памяти машины, занятых для хранения исходных данных.

Для решения задачи были использованы стандартные программы, имеющиеся в библиотеке машины М-3 Института Кибернетики АН Эстонской ССР, кроме того были разработаны следующие операторы:

1) V_0 — оператор ввода исходных данных для решения системы канонических уравнений метода деформаций, позволяющий при выбранной в данной программе схеме счета производить замену в памяти машины элементов вектора свободных членов (\bar{b}_i) при постоянной матрице «А». Такая замена необходима при расчете многовариантных схем нагрузок.

2) \mathcal{E}_3 — оператор засылки вычисленных векторов (\vec{X}_i) в стандартные ячейки программы перемножения матрицы усилий («S»), вызванных единичными значениями неизвестных и внешними силами с векторами (\vec{X}_i), полученных для различных вариантов загрузок.

3) $L_{3,9}$ — арифметические операторы вычисления площадей поперечных сечений сток и ригелей. Операторы разработаны для простейшего варианта подбора сечений при заданной высоте его.

Схема счета (алгоритм счета)

1) Система «n» раз статически неопределима и матричное уравнение для определения вектора неизвестных будет иметь вид:

$$A \cdot x = b_i$$

где матрица «A» — квадратная матрица порядка (n, n), элементами которой являются усилия в основной системе, вызванные j -ым неизвестным в направлении i -го неизвестного;

b_i — вектор свободных членов порядка ($n, 1$), элементами которого являются усилия, вызванные внешними силами в основной системе в направлении i -го неизвестного.

Матрица «S» (S_{ij}) — прямоугольная матрица усилий, вызванных единичными усилиями и внешними силами в основной системе.

2) Решение системы канонических уравнений метода деформаций:

$$A \cdot x = b_i, \quad \text{откуда}$$

$$\vec{X} = A^{-1} \cdot \vec{b}_i,$$

где \vec{X} — вектор неизвестных деформаций,

$i = 1, 2, 3 \dots n,$

q — вариант загрузки.

3) Засыпка вектора x так, чтобы $x = (x_{i+j})$, причем $x_{i+j} = 1$ при $j = q$ и $x_{i+j} = 0$ при $j \neq q$.

4) Умножение матрицы «S» на вектор x ,

$$S = S \cdot x + M^0,$$

где \vec{S}^q — вектор искомых усилий (изгибающих моментов или продольных сил),

M^0 — вектор изгибающих моментов, элементами которого являются усилия, вызванные внешними силами в основной системе.

5) Вычисление площадей поперечных сечений стоек и ригелей при заданной высоте поперечного сечения.

h_c — высота поперечного сечения стойки,

h_p — „ „ „ „ ригеля.

Для стоек:

$$F_i = \frac{3M_i}{h_c \cdot [\sigma]} + \frac{N_i}{[\sigma]}, \quad \text{или}$$

$$F_i = \alpha \cdot M_i + \beta \cdot N_i,$$

где $\alpha = -\frac{3}{h_c \cdot [\sigma]}$;

$$\beta = -\frac{1}{[\sigma]};$$

$$i = 1, 2, 3 \dots 2p.$$

Для ригелей:

$$F_i = \frac{2M_i}{[\sigma] \cdot h_p} + \frac{h_p^2}{135}, \quad \text{или}$$

$$F_i = \gamma \cdot M + \omega,$$

где

$$\gamma = \frac{2}{[\sigma] \cdot h_p};$$

$$\omega = \frac{h_p^2}{135};$$

$$i = 2p + 1, 2p + 2, 2p + 3 \dots 2p + l.$$

6) Печатание результатов:

для стоек $\rightarrow M_i; N_i; F_i;$

„ ригелей $\rightarrow M_i; F_i.$

Примечание: При решении задачи в ригелях не учитывались продольные силы по причине своей малости по сравнению с изгибающими моментами.

Подбор сечений сжато-изогнутых стержней

Принимаем двутавровое стальное сварное сечение ригелей и стоек. Машина будет выдавать только полную площадь сечения.

Величины отдельных элементов сечения будут выражаться, исходя из минимума расхода металла:

$$h = \alpha \cdot F$$

и

$$b = 0,4 \cdot h,$$

где

h — высота стенки двутавра,

b — ширина полки двутавра,

F — площадь поперечного сечения двутавра,

α — коэффициент минимального расхода металла.

Ригели и стойки рассчитывались по формулам сложного сопротивления с учетом коэффициента φ с оптимальным соотношением полной площади сечения и площади стенки двутавра. Сечения сжато-изогнутых стержней подбирались и проверялись по формуле Ясинского:

а) в плоскости рамы

$$\sigma = \frac{N \cdot \omega}{F} + \frac{M}{W} \leq [\sigma], \quad (1)$$

б) из плоскости рамы

$$\sigma = \frac{N \cdot \omega_1}{F} \leq [\sigma], \quad (2)$$

где

$$\omega = \frac{I}{\varphi}, \quad \text{и} \quad \omega_1 = \frac{I}{\varphi_1}.$$

Для подбора сечений эти формулы были соответственно преобразованы.

Идея учета продольного изгиба

Известны достаточно точные формулы для приближенного определения радиусов инерции. Для двутаврового профиля:

$$r_x = 0,44 h$$

и

$$r_y = 0,25 b.$$

Так как у нас $b = 0,4 h$, то $r_x = 0,44 h$, а
 $r_y = 0,25 b = 0,25 \cdot 0,4 h = 0,1 h$.

В нашем случае расчетный пролет стоек $H = 7000$ мм и

$$\lambda_x = \frac{H}{r_x}, \quad \text{а}$$

$$\lambda_y = \frac{H}{r_y}.$$

Предполагая, что гибкость у нас изменяется в пределах

$$40 < \lambda \leq 90,$$

составим линейную интерполяционную формулу для (φ) .

Используя НИТУ-121-55 приложение II, таблицу 4(20) и учитывая, что

$$\varphi(\lambda) = \frac{I}{\omega},$$

выводим, прибегая к интерполированию:

$$\omega = 1,12 + 0,0096 (\lambda - 40).$$

При $H = 7000$ мм имеем:

$$\omega_x = 0,74 + \frac{0,0096 \cdot 700}{0,44 \cdot h},$$

$$\omega_y = 0,74 + \frac{0,0096 \cdot 700}{0,1 \cdot h}.$$

Откуда

$$\omega_x = 0,74 + \frac{15,3}{h}, \quad (3)$$

$$\omega_y = 0,74 + \frac{67}{h}. \quad (4)$$

Таким образом, формулы (3) и (4) без использования таблиц позволяют определять площади поперечных сечений с учетом продольного изгиба в двух плоскостях. Надобность ввода в память машины таблиц (φ) таким образом отпала.

Соотношения между площадями полок и стенок для двутаврового профиля выведены, как упоминалось выше, из условия минимума затраты металла на изгиб, так как напряжения сжатия распределяются равномерно.

Распределение памяти машины М-3

А) При решении системы уравнений с 15-ю неизвестными.

1) Стандартные константы и интерпретирующая программа в ячейках №№ 0000-0310.

2) Программа решения системы уравнений вида $A\bar{x} = \vec{b}_i$ в ячейках №№ 0311—0516.

3) Результаты решения системы уравнений в ячейках №№ 0540—0601.

4) Хранение матрицы «А» и вектора \vec{b}_i в ячейках №№ 0602—1541.

5) Хранение X_i в ячейках №№ 1542—1673.

6) Программа засыпки X_i в ячейки №№ 1542—1673 хранится в ячейках №№ 1674—1743.

7) Ячейки №№ 0065—0066, 0517—0537 и 1744—1777 — оставались свободными.

8) Программа ввода (V_0) матрицы «А» и вектора \vec{b}_i хранится на магнитном барабане в ячейках №№ 2000—2100.

Б) При определении усилий в стержнях и вычислении по ним площади поперечных сечений стоек и ригелей.

1) Стандартные константы в ячейках №№ 0000—0073.

2) Программа умножения матрицы «S» на вектор \vec{X}_i в ячейках №№ 0075—0245.

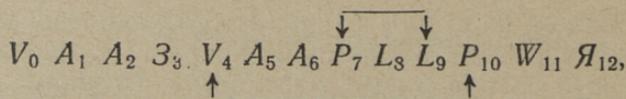
3) Хранение вектора \vec{X}_i в ячейках №№ 0246—0455.

4) Хранение 2-х строк матрицы «S» в ячейках №№ 0456—0601.

5) Хранение коэффициентов $\alpha, \beta, \gamma, \omega$ в ячейках №№ 0602—0714.

6) Ячейки №№ 0715—1777 оставались свободными. Таким образом, при расчете нашей рамы и ей подобных внутренняя память машины М-3 будет использоваться далеко не полностью.

Логическая схема программы



где

V_0 — оператор ввода коэффициентов матрицы «А» и вектора \vec{b}_i в память машины;

A_1 — стандартный оператор перевода коэффициентов из 10-ой системы счисления в 2-ичную.

A_2 — оператор, вычисляющий вектор \vec{X}_i , взаимодействующий с интерпретирующей программой для перевода на алгоритм с фиксированной запятой на плавающую запятую;

A_3 — оператор засылки вектора \vec{X}_i с дополнением (X_{i+j}) в стандартные ячейки оператора A_6 ;

V_4 — оператор ввода коэффициентов матрицы «S»;

A_5 — стандартный оператор перевода коэффициентов из 10-ой системы счисления в двоичную.

A_6 — оператор умножения матрицы «S» на вектор неизвестных \vec{X}_i , взаимодействующий с интерпретирующей программой;

P_7 — логический оператор, определяющий принадлежность сечения к стойке или ригелю и направляющий в зависимости от этого расчет площади поперечного сечения либо в оператор L_8 , либо в L_9 .

L_8 — арифметический оператор, вычисляющий площадь поперечного сечения стойки;

L_9 — арифметический оператор, вычисляющий площадь поперечного сечения ригеля;

P_{10} — логический оператор, определяющий конец процесса вычисления;

W_{11} — оператор вывода (печати) результатов счета с предварительным преобразованием их из 2-ичной системы счисления в 10-ичную.

$Я_{12}$ — оператор останова машины.

При составлении программы было учтено, что процесс итерации при расчете по методу деформаций подобного типа рама сходится при любых начальных значениях неизвестных. Это позволяет в программе опустить контроль правильности работы машины, осуществляемый обычно двойным счетом задачи и сравнением получаемых первого и второго результатов.

Отладка программы

Опыт решения задач на электронных цифровых машинах показывает, что даже после самой тщательной проверки в программе остаются ошибки. Отыскание этих ошибок и окончательная подготовка программы к счету, а также определение времени, необходимого для полного решения задачи, — все это входит в отладку программы на машине. Как правило,

отладка программы состоит в последовательном выполнении вычислений по отдельным участкам программы и в выдаче после каждого этапа вычислений промежуточных результатов, так и содержания некоторых ячеек памяти.

Сравнивая результаты полученные с помощью электронной машины с вычислениями, проделанными вручную, можно судить о правильности работы арифметических операторов. Содержание различных счетчиков и переменных команд может указать на ошибку в логике программы.

Кроме того, в программе отладки есть возможность пропускать куски контролируемой программы, сокращать некоторые циклы, печатать команды и т. д.

Хорошо продуманный порядок программы отладки имеет огромное значение для быстрого обнаружения ошибок и экономии машинного времени.

Для отладки программы было предусмотрено решить вручную, с помощью счетной машинки ВК-1, 6-раз статически неопределимую раму на 4 случая нагрузки.

После решения 6-раз статически неопределимой рамы на электронной машине М-3, результат получился очень близкий к решению этой же рамы вручную.

Так, машина дала первый компонент вектора (\vec{X}_1) равным 0,260869, а при вычислении вручную он равнялся 0,26087; шестой компонент этого же вектора машина дала равным $0,1716857 \cdot 10^{-10}$, т. е. очень близкий к нулю, при расчете же вручную он равнялся 0,00000.

Организация машинного счета

Следует упомянуть некоторые трудности, которые возникли при решении задачи. Прежде всего, надо было начать с самого начала, получить первое представление о программировании.

Очень много времени заняло изготовление перфолент, в чем прежде всего сказались отсутствие опыта и практики, а также очень большое количество цифр, которые следовало нанести на перфоленту.

Одна только матрица «А» системы уравнений занимает емкость в 225 чисел, не считая правых частей системы уравнений, причем каждое число представлено в нормализованном виде, где мантисса занимает 8 цифр со своим знаком, а порядок 11 цифр со своим знаком.

Таким образом одно число следовало представлять 19-ю цифрами. Матрица единичных усилий «S» занимает около 500 чисел.

Всего пришлось отпечатать около 15 тыс. знаков, на что ушло около 20 часов рабочего времени, и если учесть то обстоятельство, что непрерывно можно печатать около 4—4,5 часов, после чего производительность резко снижается из-за сильной усталости.

Кроме того следует учесть то обстоятельство, что уже одна ошибка на перфоленте ведет за собой повторение всей работы с самого начала.

Все это относится к изготовлению перфолент исходных данных. Кроме этого необходимо изготовить перфоленты программ.

После изготовления перфолент следует произвести весьма тщательную проверку данных, отпечатанных с помощью перфоратора с исходными данными.

Много времени заняло составление программы как для решения системы уравнений с 15-ю неизвестными, так и особенно программы для вычисления усилий и площадей поперечных сечений элементов рамы.

Подобные задачи с подбором сечений конструкции по имеющимся у нас сведениям ко времени нашей работы* еще не решались в нашей стране с помощью электронных вычислительных машин, поэтому первый опыт постановки таких задач на машинный счет был сопряжен с большими трудностями, особенно в условиях дипломного проектирования.

Кроме того, к тому времени не был еще полностью налажен в электронной машине М-3 Института Кибернетики АН Эстонской ССР фотоввод, еще только производился монтаж элементов ускоренной печати результатов счета. В результате очень много времени уходило на ввод исходных данных и различных программ и печатание результатов счета на телетайпе. Засылка данных в ячейки памяти машины происходила с помощью магнитных барабанов, использование которых далеко не рационально.

Наша задача решалась к тому же в то время, когда происходила наладка отдельных узлов электронной машины, замена магнитных барабанов ферритовыми элементами, которые значительно ускорили скорость работы машины. Все это не могло не наложить свой отпечаток на время решения нашей задачи и отрицательно сказалось на точности результатов.

Задача, которая была решена в данной работе, по сути дела является только началом той большой задачи, которая лежит в основе расчета статически неопределимых систем на электронной машине. Так как составление уравнений велось вручную (а не на электронной машине), то не представилось

* апрель — май 1962 г.

возможным провести повторного итерационного счета по схеме:

задание $(EI)_i^0 \rightarrow$ коэффициенты системы уравнений
 $\rightarrow F_i^0 \rightarrow (EI)_i^1$ и т. д. пока
 $(EI)_i^k - (EI)_i^{k-1} \leq \varepsilon.$

Именно в этом кроется основная идея расчета всяких статически неопределимых систем на электронных вычислительных машинах.

УДК 628.17

Ю. Э. Рейсман,
студент III курса строительного факультета

А. Р. Сандберг,
студент II курса строительного факультета

Научный руководитель: *А. М. Айтсам,*
и. о. доц., канд. техн. наук

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ВОДЫ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ ГОРОДА ТАЛЛИН

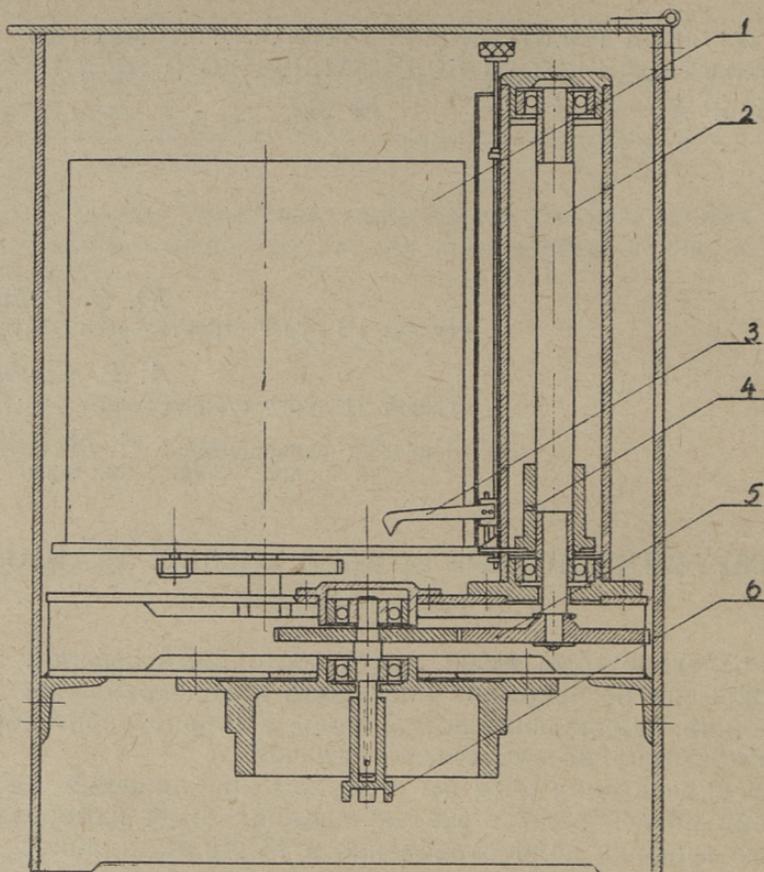
В последние годы имеет место постоянный дефицит воды при покрытии непрерывно растущего водопотребления города Таллина. Уменьшение потерь воды у водопотребителей является чрезвычайно актуальной задачей.

Для определения хотя бы в первом приближении средних значений потерь воды в жилых зданиях были измерены недельные графики водопотребления в 45 жилых зданиях. Анализ измеренных графиков водопотребления позволил установить значение средних потерь воды в жилых зданиях.

Измерение водопотребления в жилых домах проводилось с помощью специальных самопишущих интеграторных счетчиков, устанавливаемых на водомерах.

Интеграторных счетчик (фиг. 1) состоит из следующих элементов: вертикального вала, прикрепленного за центральную стрелку водомера, системы передачи, двухстороннего бесконечного винта с перодержателем и пером, барабана с часовым механизмом и счетчиком оборотов. Графики водопотребления записывались на специальные бланки.

Для определения погрешности измерения и чувствительности водомеров, оборудованных интеграторными счетчиками, была проведена сравнительная тарировка водомеров, оборудованных счетчиками и без счетчиков. Сравнительная тарировка проводилась для калибров водомеров типа ВМХ 20, 25, 30 и 35, как наиболее распространенных в жилых домах города Таллина. Тарировка проводилась в основном рабочем диапазоне измеряемых расходов (0,01—0,25) $Q_{\text{хар}}$.



Фиг. 1. Разрез интеграторного счетчика:

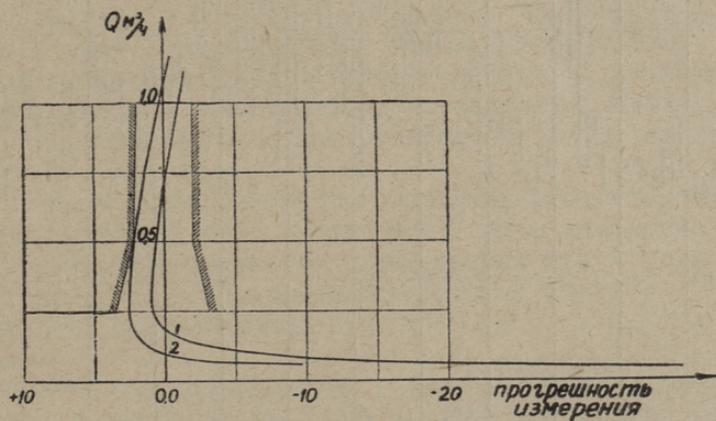
1 — барабан с часовым механизмом, 2 — двухсторонний бесконечный винт, 3 — перодержатель, 4 — конек, 5 — система передач, 6 — вертикальный вал

Как показали данные тарировки (фиг. 2) интеграторные счетчики не увеличивают погрешность измерения расходов. Нижним пределом измерения водомеров интеграторными счетчиками был принят расход, измеряемый с точностью в 10%, так как с такой же точностью можно расшифровать картограммы водопотребления.

Расходы, измеряемые с точностью в 10%, остаются, как показывает сравнение (фиг. 3) для всех калибров водомеров меньше допустимого нормами предела измерения. Следовательно, интеграторный счетчик не влияет существенно на показания водомера.

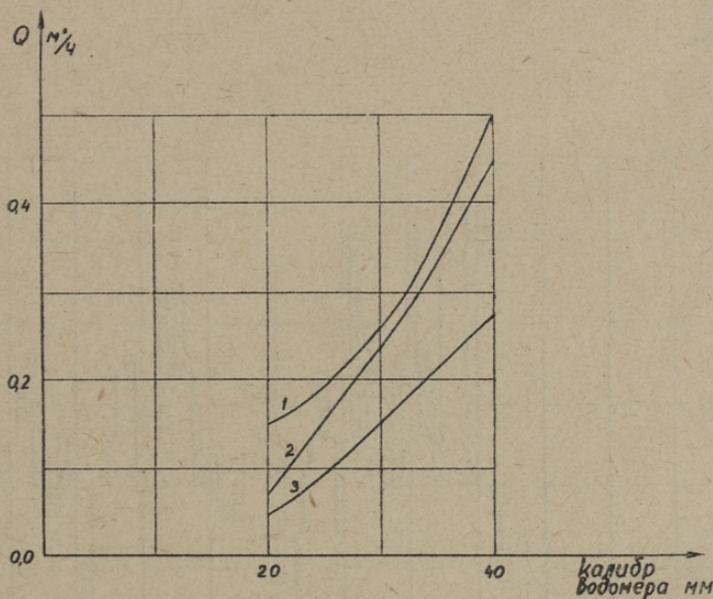
Все дома, в которых измеряли водопотребление в течение суток, можно подразделить по характеру изменения водопот-

ребления на две группы: дома, в которых в течение суток водопотребление вообще не уменьшалось до нуля (фиг. 4) и дома, в которых ночью водопотребление доходило до нуля (фиг. 5).



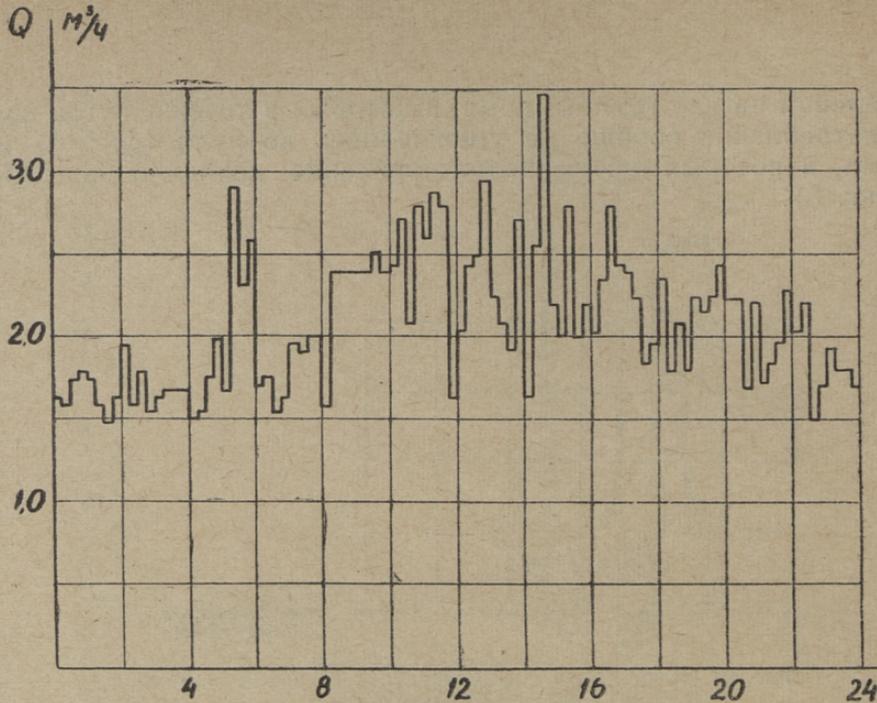
Фиг. 2. Зависимость погрешности измерения водомера ВМХ — 20 от расхода:

1 — без интеграторного счетчика, 2 — с интеграторным счетчиком

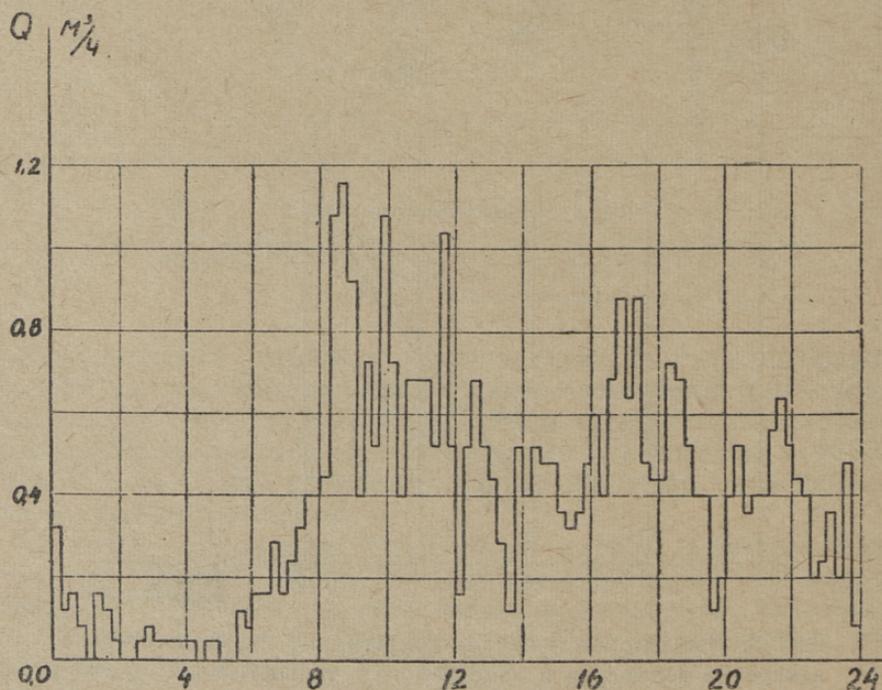


Фиг. 3. Зависимость нижнего допустимого нормами предела измерения водомеров и измеряемого с точностью в 10% расхода от калибра водомера:

1 — предел по нормам, 2 — расход, измеряемый с точностью в 10%, 3 — чувствительность водомера



Фиг. 4. График суточного водопотребления в жилом доме по улице Вирмалесе 28/30, 4 марта 1962 года



Фиг. 5. График суточного водопотребления в жилом доме по улице Пярну маантеэ 127, 18 марта 1962 года

Потерей воды в жилых зданиях первой группы было принято минимальное ночное часовое водопотребление.

Анализом водопотребления жилых зданий второй группы выяснилось, что их среднечасовое суточное водопотребление меньше расхода, определяемого данным водомером с погрешностью в 10%. Следовательно, уменьшение расхода воды в этих домах до нуля может быть обусловлено установкой несоответствующего водопотреблению водомера. Потери воды в этих домах приняты условно равными расходу, отвечающему чувствительности водомера.

Исследованиями некоторых авторов доказано, что большая часть потерь воды происходит через промывные бачки жилых домов. На основании предыдущего полученные данные потери воды были приведены к одному унитазу. При этом учитывались все установленные унитазы — исправные и неисправные.

Потери воды, приведенные к установленному унитазу, получились в пределах 0—1.600 л/сутки, оставаясь для большинства измеренных домов в пределах 300—600 л/сутки.

В. И. Нелис,
дипломант строительного факультета
Научный руководитель: *Р. А. Амброс,*
доц., канд. техн. наук

БОРЬБА СО СКОЛЬЗКОСТЬЮ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ГОРОДСКИХ УЛИЦАХ

1. Причины появления скользкости и ее влияние на движение

Причиной возникновения пленки льда на дорожной поверхности является:

- 1) колебания температуры и влажности воздуха;
- 2) уплотнение снега на поверхности дороги;
- 3) резкое понижение температуры ниже 0°C .

При стойкой морозной погоде ледяной пленки на чистой поверхности дороги не образуется. Наибольшую опасность появления ледяной пленки представляют температурные колебания от -2°C до 0° и выше.

Если дорогу непосредственно после снегопада не очищают, то под движением транспортных средств и пешеходов снег уплотняется, превращаясь в скользкую снежно-ледяную корку или на ней местами образуется ледяная пленка.

При толстом покрове снега обледенение происходит на поверхности, которая находится непосредственно под влиянием колес транспорта. Причиной возникновения ледяной пленки является уплотнение снега, а также давление колес, которое вызывает таяние снега. Ледяная пленка тает также от буксовки колес. На скользкой поверхности не только управление, а также торможение транспорта затруднено и опасно ввиду малого коэффициента сцепления. Бывали случаи, когда машина с заблокированными колесами теряло управление и сбивало пешеходов кузовом. В нормальных условиях обеспечивается движение транспорта сцеплением между колесами и дорогой. В обычных условиях коэффициент сцепления

$\varphi = 0,30 \div 0,75$. При обледеневшей дороге коэффициент сцепления в 6—8 раз меньше обычного — $\varphi = 0,08 \div 0,1$.

Величина коэффициента сцепления φ автомобильных шин с дорогой

Тип дорожного покрытия	Состояние дороги	Тип покрышки и давление воздуха	Величина коэф. φ	Примечание
Асфальтобетон	сухая, чистая	баллоны низкого давления	0,55—0,70	
	то же	баллоны высокого давления	0,50—0,60	
Цементобетон	мокрая	баллоны низкого давления	0,25—0,50	измерено
Гладкая дорога, покрытая толстым слоем уплотненного снега	замерзшая	то же	0,20—0,35	
	оттаявшая	то же	0,10—0,20	
	то же	баллоны высокого давления	0,20—0,20	
то же с плотно утрамбованным снегом	замерзшая	то же	0,20—0,25	
	замерзшая	баллоны с улучшенным протектором	0,209	
Обледеневшая асфальтобетонная дорога	тающая	баллоны низкого давления	0,06—0,08	
Гравийное покрытие	сухая	то же	0,49	измерено

Коэффициент сцепления на дороге с уплотненным снегом $\varphi = 0,17 \div 0,20$ (в летних условиях $\varphi = 0,50 - 0,70$). Как видно, коэффициент сцепления в 3,5—5 раза меньше обычного и в ходе уплотнения снега снижается.

По данным шведского государственного дорожного института на бетонной дороге, покрытой сухим неукатанным льдом, величина коэффициента сцепления уменьшалась в 7—9 раз против его значения чистой сухой дороги. А после того, как по этому месту прошло 150 автомобилей — значение уменьшилось уже в 8—11 раз против своего первоначального значения. Эти опыты производились при колебаниях температуры в пределах от $+2^{\circ}$ — 11° С и, как оказалось, эти колебания на величину φ не влияли [2].

Необходимо также учитывать, что в городских условиях температура снега и льда на мостовой может быть значительно

выше температуры воздуха по той причине, что они получают значительное количество тепла из глубины почвы от многочисленных подземных сооружений, в ясный день — от солнечной радиации и т. п.

Уменьшение коэффициента сцепления между колесами и дорогой усложняет управление и движение транспорта и влечет за собой повышение числа несчастных случаев.

Одной из основных мер в таких случаях следует считать уменьшение скорости движения транспорта, например, автомобильного с 20 до 10 км в час. Однако, этот «пассивный» метод не может удовлетворять нужды нашего народного хозяйства.

По приближенным расчетам можно сделать вывод, что снижение скорости движения в 2—2,5 раза уменьшает производительность городского транспорта на 30—40%, а себестоимость перевозок повышается на 25÷30%.

Следовательно, для разрешения этого вопроса нужно идти другими путями.

2. Современные методы борьбы со скользкостью в зимних условиях на дорогах и улицах

В современных условиях главным принципом обслуживания улиц — быстрая очистка дорожного полотна от снежного покрова. В этих условиях появление снежной корки в некоторой степени уменьшено. Но снег сохраняется на крышах домов и заносится ветром на дорогу, вызывая обледенение. Часть дорог, например с гравийным покрытием, очистить от снега полностью невозможно.

В последние годы в ряде стран (США, Швеция и др.) широко проводятся опыты по сооружению устройств для подогрева верхней части дорог, и ряд опытных установок этого типа уже находится в эксплуатации.

Эти установки плавят снежный покров 1 см. в час и они устанавливаются в дорожных покрытиях [2]. Источником питания является электричество или жидкий теплоноситель. В качестве жидкого теплоносителя до -15°C употребляется смесь воды со спиртом или минеральное масло. Диаметр труб в секции находится в пределах 1—2", величина секций — 4×8 метров, величина заглибления их в асфальтобетоне 35—50 мм и цементобетоне — 50—65 мм. Снизу делают надлежащую теплоизоляцию.

Расплавление снега и льда при помощи химических средств получило широкое распространение как у нас, так и за границей.

Количество соли, расходуемой в западных странах на борьбу со снегом и льдом в городах и на загородных дорогах, непрерывно увеличивается. Так, в Великобритании при сравнительно мягком климате за последние 10 лет расход солей увеличился вдвое: с 50 000 до 100 000 тонн в год. В одном Нью-Йорке ежегодно расходуется на растаивание снега и льда 35—45 тыс. т солей [2].

Соль применяют для растаивания снега и льда на поверхности дороги и в качестве добавки к инертным материалам, разбрасываемым на поверхности дороги.

В некоторых городах США [2] отказались от применения снегоочистителей даже при снегопадах до 5 см снега, используя их только на участках улиц, имеющих значительные продольные уклоны. Технология обслуживания улиц при этом сводится к следующему: по специальному сигналу от службы погоды заблаговременно или в самом начале снегопада рассыпают соль на средней части улиц. Соль растаивает снег и ее концентрированный раствор стекает к обочинам дороги непосредственно по ее поверхности благодаря поперечному уклону.

В США обычно применяют смесь соли NaCl и CaCl_2 в пропорции 2:1 для того, чтобы за счет присутствия CaCl_2 эта смесь начала действовать сразу же после посыпки и, за счет присутствия NaCl действовала бы достаточно долго. Нормы расхода солей зависят от температуры и в среднем составляют для снегопадов до 5 см 45 кг/1000 м² дорожного покрытия. Когда снегопад продолжается и количества снега выпадает больше 5 см, посыпка солью повторяется.

Только на крутых подъемах, на которых не может быть обеспечено поперечное движение соляного раствора, для полного самоочищения поверхности дороги (по накоплению снега) в работу включают снегоочистительные устройства, работающие до тех пор, пока снегопад не закончится.

Преимущество рассыпания солей на средней части дороги заключается в том, что они не разносятся колесами машин, так как на этой полосе дороги движение отсутствует и на ней не может оставаться снег или лед, который в последующем, при оттепелях и заморозках, образовал бы наледь на проезжей части дороги. При использовании солей отпадает необходимость в длительной работе снегоочистителей.

В городе Уилкс Барр (США) [2] зимой 1956—1957 гг., в течение которой за 18 снегопадов при среднесезонной температуре 2,8°С (в среднем за сезон бывает от 15—25 снегопадов) выпало 106 см снега, был проведен опыт полного отказа от использования снегоочистителей и посыпки дорог инертными материалами. За указанную зиму больших снегопадов

не было и применяли только посыпку солью. На 161 км обслуживаемых улиц в зиму потребовалось 650 т поваренной соли, в среднем 36 т на один снегопад или гололед, вместе 330 т инертных материалов с солью, для этого расыпаемых после работы снегоочистителей.

По сравнению с предыдущими годами:

1) на 6% сократилось количество несчастных случаев с пешеходами на улицах;

2) на 33,3% снизилось количество аварий при движении транспорта;

3) получена значительная экономия от сокращения расходов на обслуживание улиц;

4) значительно уменьшились объем работы и расходы на очистку канализации и водоемов от падающих туда инертных материалов.

В борьбе со льдом и снегом применялись и механические средства. Опыты в этом направлении делались также в Таллине. Результаты применения механических средств ничтожны, потому что требуются большие затраты энергии, так как сцепление частиц льда между собой меньше, чем льда и поверхности дороги. От применения этих машин отказались как у нас, так и за границей. Весной при повышении температуры дорожного полотна и льда сцепление в некоторой степени уменьшается и эффективность использования повышается.

Делались также попытки подогрева при помощи высокочастотных установок (от 0,050 до 50 мг/герц) пограничного слоя ледасфальт, без прогрева больших масс того или другого, с целью уменьшения сил сцепления между ними. В результате теплового эффекта высокочастотной установки подогревался верхний слой льда. Опыт не дал желательного эффекта, так как возможно пользовались несоответствующей частотой. Опыты показали и непригодность использования инфракрасных лучей.

Одним из распространенных методов борьбы со скользкостью является посыпка дорог инертными материалами. Широкое применение нашли песок, шлак, гравий и также щебень. Результаты посыпки весьма кратковременные, так как песок сносится ветром и от движения транспорта. Действие посыпки песком обледневшей дороги прекращается после 200 проездов автомобилей по посыпанному участку.

Существует несколько способов закрепления песка на поверхности льда, например подогрев песка, плавление поверхностного слоя льда или употребления смеси песка и соли.

Для плавления льда и снега, а также для примеси к пескам употребляются следующие соли:

1) хлористый кальций (CaCl_2),

2) хлористый магний (MgCl_2),

3) поваренная соль (NaCl).

Растворимость CaCl_2 в воде при 0°C составляет 37,5%, MgCl_2 — 34,6% и NaCl — 26,8%.

Химическая природа воды, снега и льда одинакова. Поэтому взаимодействие указанных солей с водой, снегом и льдом и образование их растворов происходит только в зависимости от температуры. Процесс растаивания льда при различных температурах зависит от количества соли, так как температура замерзания зависит от его концентрации. При достаточной концентрации таяние льда происходит при любых температурах CaCl_2 от $0^\circ \div 55^\circ\text{C}$ и NaCl — 0° до $21,2^\circ\text{C}$, при этом процесс таяния при NaCl эндотермический и при CaCl_2 и MgCl_2 — эксотермический.

Процесс растаивания у солей неодинаков. В течение первых 30 минут растаивание льда при CaCl_2 происходит в 8 раз быстрее, чем при поваренной соли.

Кроме того, в применяемые соли можно ввести добавки-замедлители, называемые ионидами, которые связывают ионы солей натрия и кальция и ослабляют или даже вовсе устраняют их корродирующие действия.

В США фирмой Калгон широко рекламируется вещество под названием «Велок» [2], одного процента которого по весу употребляемой соли достаточно для ликвидации коррозии.

4. Определение требуемого количества соли для плавления снега или льда

Необходимое количество соли для растаивания снега или льда определяется по формуле:

$$x = \frac{10 h \gamma}{y} \text{ кг/м}^2, \text{ где}$$

h — толщина льда или снега,

γ — объемный вес льда или снега,

y — количество льда или снега в кг, растаиваемого 1 кг соли при данной температуре.

Величина y может быть определена для NaCl и CaCl по графику или приближенно по формулам:

а) для — $y \cong \frac{60}{t}$, NaCl , где температура в $^\circ\text{C}$;

б) для 90% CaCl_2 — $y \cong \frac{40}{t} + 2$;

в) для 75% CaCl_2 $y \cong \frac{30}{t} + 2$.

Для определения количества соли можно пользоваться номограммой, зная толщину слоя, температуру и удельный вес льда или снега. Определение количества соли по графику производится по следующей простой формуле:

$$q = \frac{h}{a} \text{ кг/м}^2, \quad \text{где}$$

q — определяемое количество соли, в кг/м^2 ;

h — толщина расплавляемого слоя, в см ;

a — толщина слоя, определяемого по графику.

Например, для растаивания снежного слоя толщиной 5 см при -4°C и удельном весе $0,3 \text{ т/м}^3$ потребное количество соли:

$$q = \frac{5,0}{4,8} = 1,04 \text{ кг/м}^2.$$

3. Об агрессивных действиях солей

У нас считают применение солей сомнительным. Главной причиной этого является опасность коррозии деталей автомобилей, разрушение дорожных покрытий, уничтожение декоративных насаждений, разрушение обуви и порча одежды. Следует отметить, что соли CaCl_2 , MgCl_2 и NaCl имеют нейтральную реакцию и по данным исследования Н. М. Позняка [3] их водяные растворы не образуют эмульсий с битумом и дегтем.

Предложение возможности засоления почв в течение длительного срока использования солей обосновано на ошибочных представлениях, поскольку соль рассыпают практически на водонепроницаемый слой асфальтобетона или промерзлую почву. Раствор, образующийся от растаивания снега, почти полностью удаляется по канализационной сети и попадание солей в район питания корней растений практически мало вероятно.

Опыты, проведенные с черным металлом, показали, что предполагаемой опасности коррозии не следует опасаться.

Так, делались кратковременные опыты со стальными болтами. Один болт держали в смеси снега с солью, а другой — без воздействия соли. Различия степени влияния соли на их коррозию на глаз не были различимы.

На основании исследований, проведенных в Детройте [2], установлено, что стальная панель, не подвергающаяся воздействию соли, разрушалась за год на глубину 0,127 мм, а панель, находившаяся под воздействием соли, разрушалась на 0,152 мм за год или на 20% больше.

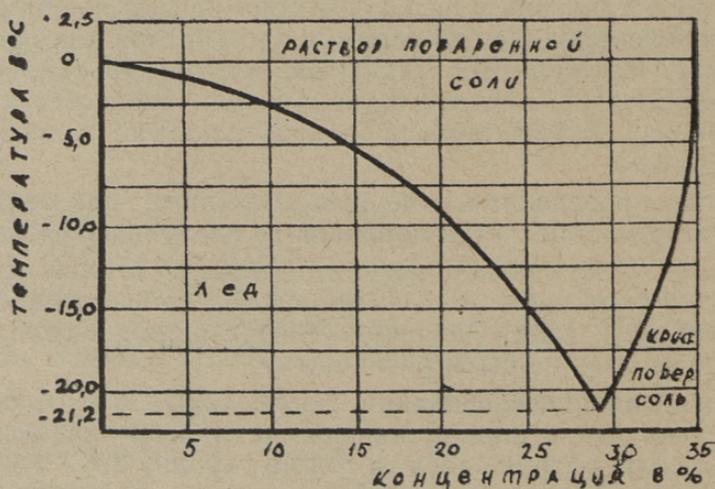
5. Назначение соли в инертных материалах

Соль добавляют к песку по двум причинам: 1) чтобы предотвратить замерзание запасов песка и 2) чтобы закрепить песок на поверхности дороги.

Данные о значении солей в примеси к песку в литературе приведены несколько неточно. Предполагается, что часть добавленной соли к инертным материалам (песок, шлак и т. д.) расплавляется во влажности этого материала, в результате чего частицы материала покрываются тончайшей пленкой насыщенного раствора солей. При рассыпании этих материалов на обледеневшую дорогу нерастворившиеся крупинки соли в местах соприкосновения с поверхностью льда плавят его и растворяются в образовавшейся талой воде. Вследствие этого на поверхности льда появляются отверстия, в которые попадают зерна песка, чему способствуют также шины колес при движении транспорта. При понижении температуры эти зерна либо замерзают в кавернях, либо будучи намочены раствором, примерзают к поверхности льда.

При исследовании эвтектической диаграммы поваренной соли возникает вопрос: возможно ли примерзание частиц песка к поверхности льда до наступления эвтектической температуры.

Для выяснения этого вопроса проделан ряд опытов. Образцами использовались плитки льда из питьевой воды в природных условиях. Опыты производились с вольским песком в примеси с поваренной солью ГОСТ 153-57 (помол № 1). Количество соли определялось по литературным источникам [1].



Фиг. 1.

Из опытов выяснилось, что частицы песка не примерзают к поверхности льда, а находятся в тонкой пленке соляного раствора. Частицы песка не примерзли к поверхности льда даже при понижении температуры 5—4° С. Опыты проводились в интервале температуры —9,6 — —13,2° С. Примерзание частиц не происходило даже при уменьшении количества соли вдвое меньше расчетного, причем уменьшилась толщина пленки соляного раствора на поверхности частиц песка и льда. Пленка соляного раствора образовалась не только на частицах песка и вблизи их, но и покрыла всю поверхность образца.

Как видно из эвтектической диаграммы, при увеличении концентрации до 29%, температура замерзания понижается до —21,2° С. При увеличении концентрации выше 29% температура замерзания начинает быстро повышаться (ветвь АВ кривой). Таким образом каждой данной температуре соответствует концентрация, определяемая соответствующей точкой кривой. Увеличение концентрации происходит при этом за счет частичного замерзания воды. Этот процесс происходит при понижении температуры до — 21,2° С. При дальнейшем понижении температуры раствор замерзает сплошной однородной массой. Следовательно, температура является регулятором концентрации.

Песок с примесью соли примерзает к поверхности льда лишь при температуре — 21,2° С при поваренной соли.

Редким случаем у нас является понижение температуры ниже —21° С.

Из выше указанного следует, что соль в примеси с песком имеет следующее значение:

1) соль повышает пористость поверхности льда;

2) смоченные частицы песка более устойчивы к разному ветром и колесами транспорта.

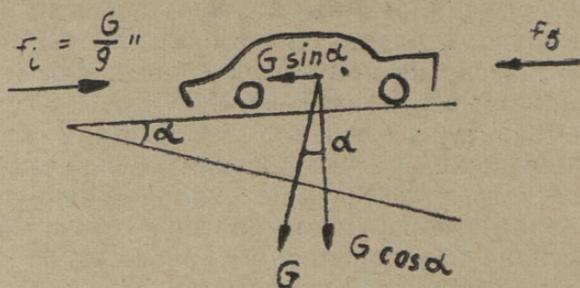
Возникает вопрос, не увеличивается ли скользкость дорожной поверхности вследствие появления пленки соляного раствора.

Для выяснения этого вопроса был сконструирован прибор, при помощи которого можно измерять отрицательное ускорение при торможении, используя эти данные для подсчета коэффициента сцепления.

6. Маятник для измерения коэффициента сцепления

При торможении влияют на автомашину следующие силы:

$$\Sigma F_x = 0; \quad -\varphi G \cos \alpha \pm G \sin \alpha + \frac{G}{g} \omega - F_0 = 0;$$



Фиг. 2.

$$-\varphi \cos \alpha \pm \sin \alpha + \frac{N}{g} + \frac{F_0}{G} = 0;$$

$$\varphi = \frac{V}{g \cos \alpha} \pm i - \frac{F_0}{G \cos \alpha}, \quad \text{где}$$

φ — коэффициент сцепления между машинами и дорожным покрытием,

i — уклон,

F_0 — сила сопротивления воздуха,

F — площадь проекций автомобиля на плоскость, перпендикулярную направлению его движения;

G — вес автомобиля;

α — угол подъема, в градусах.

$\frac{F_0}{G \cos \alpha}$ можно пренебречь, так как она дает поправку лишь на четвертом месте после запятой при скорости до 50—55 км/г.

Например, у «Победы» при скорости 50 км/час значение сопротивления ветра $\frac{F_0}{G \cos \alpha} = \frac{0,03 \cdot 3 \cdot 13,9^2}{1835 \cdot 13 \cdot 0,9962} = 0,000729$ ($\cos 5^\circ = 0,9962$).

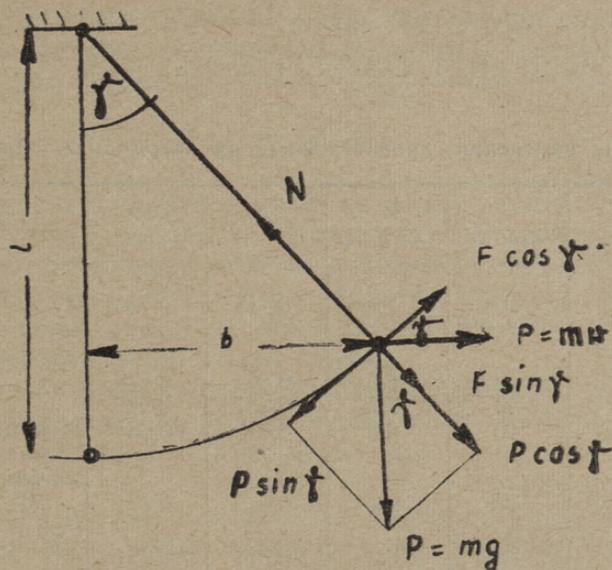
Уклон i можно не измерять, измерив коэффициент сцепления в двух направлениях. Значением $\cos \alpha$ можно также пренебречь, так как при уклонах до 4° , т. е. 8,75% приблизительно равна единице (точнее $\cos 4^\circ = 0,9976$).

После этих упрощений формула имеет вид $\varphi = \frac{\omega}{g}$.

Приняв во внимание, что $g = 9,81 \text{ кг/см}^2$, то

$$\varphi \cong 0,1 \omega.$$

Величину ω можно определить при помощи маятника. Пренебрегая трением в подшипниках, получим:



Фиг. 3.

$$\begin{aligned} \Sigma M_0 &= 0, \\ mg \sin \gamma &= m\omega \cos \gamma, \\ g \sin \gamma &= \omega \cos \gamma, \\ \operatorname{tg} \gamma &= \frac{\omega}{g}. \end{aligned}$$

В подшипниках качения коэффициент полезного действия 0,96—0,99, а

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= 0,98 \frac{\omega}{g}, \quad \text{т. е.} \\ \operatorname{tg} \gamma &\cong 0,1 \omega. \end{aligned}$$

Для измерения ускорения нужно знать отношение маятника

при ускорении $\omega = 0,5 \text{ м/сек}^2$ — $\alpha = 2^\circ 52'$.
 „ „ „ $\omega = 10. \text{ м/сек}^2$ — $\alpha = 42^\circ 00'$.

По этому принципу построен маятник.

Вес маятника 136 граммов с расстоянием центра тяжести от нижней части стержня маятника 3,5 см, причем

вес стержня	—	12,6 г
цилиндра	—	111,3 „
гайки	—	4,3 „
стрелки	—	7,8 „
Всего		136,0 г.

Расстояние центра тяжести:

$$\frac{12,6 \cdot 6,9 + 111,3 \cdot 3 + 4,3 \cdot 1,2 + 7,8 \cdot 6 \cdot 5}{136} = 3,50 \text{ см.}$$

Таблица измерений, произведенных на автомобиле «Победа»

№№ пп	L (м)	V (км/г)	W (м/сек ²)	φ	Расчет- ные	Примечание
1	8,5	40	7,0	0,714	0,736	Сухой асфальто- бетон. Плавное торможение
2	11,0	40	6,5	0,662	0,575	— „ —
3	10,0	50	9,2	0,937	0,987	— „ —
4	4,6	40	8,0	0,815	0,685	Мокрый cemento- бетон. Резкое тор- можение
5	3,7	30	9,0	0,918	0,477	— то же
6	6,8	30	7,0	0,714	0,261	Резкое тормож., то же, грязное; очень резкое торможе- ние
7	4,70	30	7,0	0,714	0,378	то же,
8	6,10	40	6,1	0,622	0,52	мокрое черное по- крытие
9	5,80	40	8,0	0,612	0,543	Сухое гравийное
10	9,80	35	4,7	0,48	0,49	покрытие, плавное торможение

Анализ измерений

Из таблицы можно сделать вывод, что при плавном торможении измеренные данные близки к расчетным, которые получены при помощи формулы:

$$\varphi = \frac{V^2}{2Lg}, \text{ где}$$

- φ — коэффициент сцепления,
- L — длина пути торможения (см),
- v — скорость (м/сек),
- g — ускорение силы тяжести (м/сек²).

При резком торможении получается эффект удара, который увеличивает отклонение маятника и тем самым влияет на точность измерений. При резком торможении корпус машины наклоняется вперед, увеличивая еще результат измерения.

При плавном торможении данные измерения коэффициента сцепления между шинами и дорожным покрытием более близки к расчетным. При измерении прибор учитывает давле-

ние шин и их износ. Пока не выработан окончательный метод торможения, чтобы получить необходимую точность результатов.

Выводы

Применение солей в борьбе со льдом и снегом является основным методом борьбы. Этот метод позволяет почти полностью механизировать работы по зимнему содержанию дорог, уменьшает затраты труда и расходуемых средств. В современных условиях наиболее эффективно применять соли для полного расплавления снежного слоя.

Эффект посыпки увеличивается при правильном и своевременном использовании солей. Чтобы этого добиться — нужна совместная работа со службой погоды.

В результате исследования разрешен вопрос примерзания смеси соли с песком к дорожной поверхности, что возможно только при наступлении эвтектической температуры.

Неразрешенным остался вопрос: увеличивается ли скользкость дороги при применении смеси песка с солью, так как не выработаны методы торможения, которые позволяли бы получить данные измерения с нужной точностью.

Автор выражает уверенность в том, что при усовершенствовании исследований в этом направлении можно будет ответить и на этот вопрос.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Гусев. Борьба со скользкостью на городских и автогужевых дорогах. Москва, 1949.
2. Л. М. Гусев. Борьба со скользкостью обледеневших дорог. Москва, 1959.
3. Н. М. Позняк. Строительство автомобильных дорог на засоленных грунтах. 1952.
4. Инструкция по применению бетона с добавками солей, твердеющего на морозе см 42—59 1960 года

УДК 621.317.444

Т. В. Таветер,
студент V курса энергетического факультета
Научный руководитель: *Т. А. Пикка,*
ассистент

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОРЗИОННОГО МАГНИТОМЕТРА

Магнитные материалы намагничиваются в разных направлениях по-разному. Для выяснения наблюдающейся анизотропии применяются торзионные магнитометры. Образец шарообразной формы (2) (см. фиг. 1) в магнитометре подвешивается на упругой нити (1).

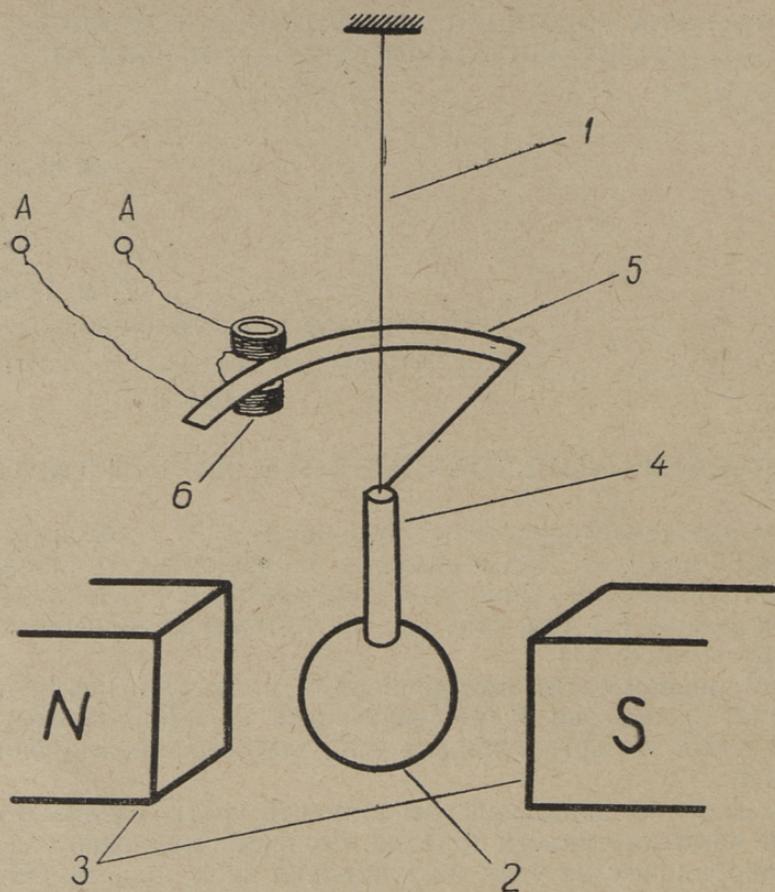
При равномерном поворачивании полюсов (3) вокруг образца (2) на образец будет действовать крутящий момент, который будет больше в направлении легкого намагничивания образца.

По величине вращающегося момента можно судить и о величине намагниченности образца. Величина крутящего момента пропорциональна углу закручивания нити подвеса. Обычно угол закручивания определяется визуально, что связано с большой затратой времени. В настоящей работе описывается изготовление автоматического торзионного магнитометра.

Для автоматизации образец был прикреплен на жесткий стержень (4) из немагнитного материала. К стержню на расстоянии около 7 см прикреплена эксцентрично расположенная медная полоска (5) в виде дуги. Толщина полоски 0,1 мм. Эта полоска расположена между катушками (6) индукционного датчика. При образовании угла кручения медная полоска вдвигается больше или меньше в промежуток между катушками, что вследствие диамагнетизма меди изменяет индуктивность катушки.

Катушка подсоединяется к высокочастотному мостику, принципиальная схема которого приведена на фиг. 2.

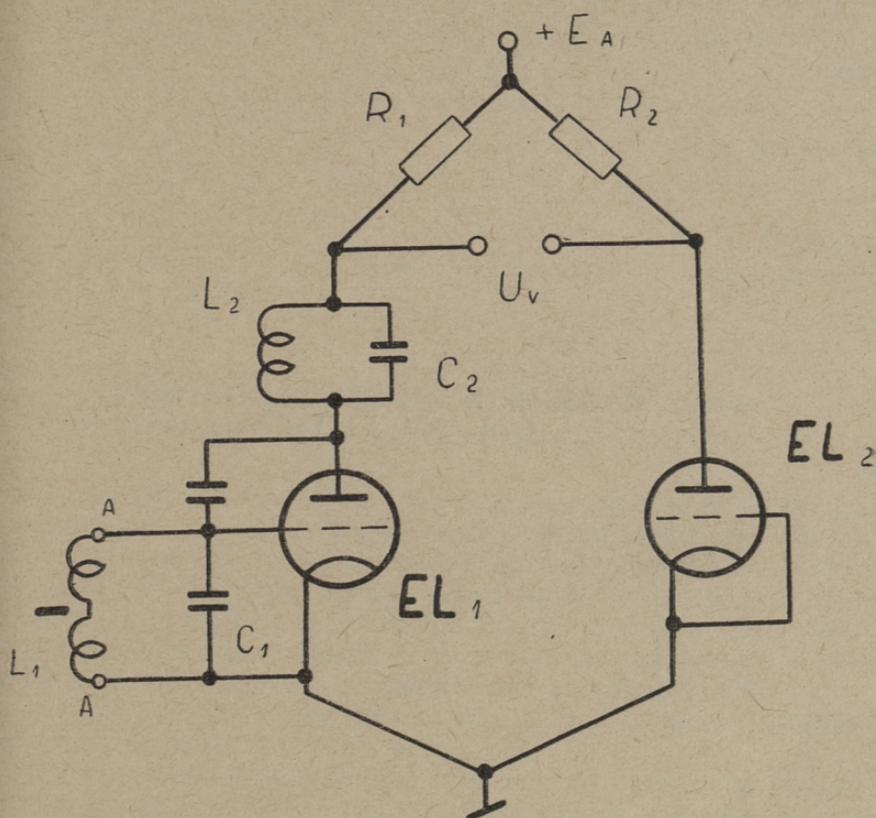
Два плеча моста образуют активные сопротивления R_1 и R_2 . Третим плечом является триод EL_1 , работающий в режиме высокочастотного генератора. В цепи сетки триода включается катушка датчика L_1 . В четвертом плече мостика находится



Фиг. 1.

триод EL_2 с заземленной сеткой, что компенсирует изменения напряжения питания.

Смещение медной полоски меняет индуктивность катушки L_1 , что изменяет собственную частоту контура L_1C_1 в сетке триода EL_1 , что вызывает расстройку относительно контура L_2C_2 в анодной цепи, что в свою очередь обуславливает изменение внутреннего сопротивления триода EL_1 и таким образом равновесие всего моста. Если при угле закручивания, равном нулю, мост был в равновесии, т. е. выходное напряжение $U_v = 0$, то в зависимости от направления угла закручивания на выходе появляется напряжение соответствующей полярности. Выходное напряжение регистрируется электронным потенциометром, с ленты которого и находим величину угла закручивания, учитывая соответствующий коэффициент. При определении коэффициента пересчета смещения ленты приходится

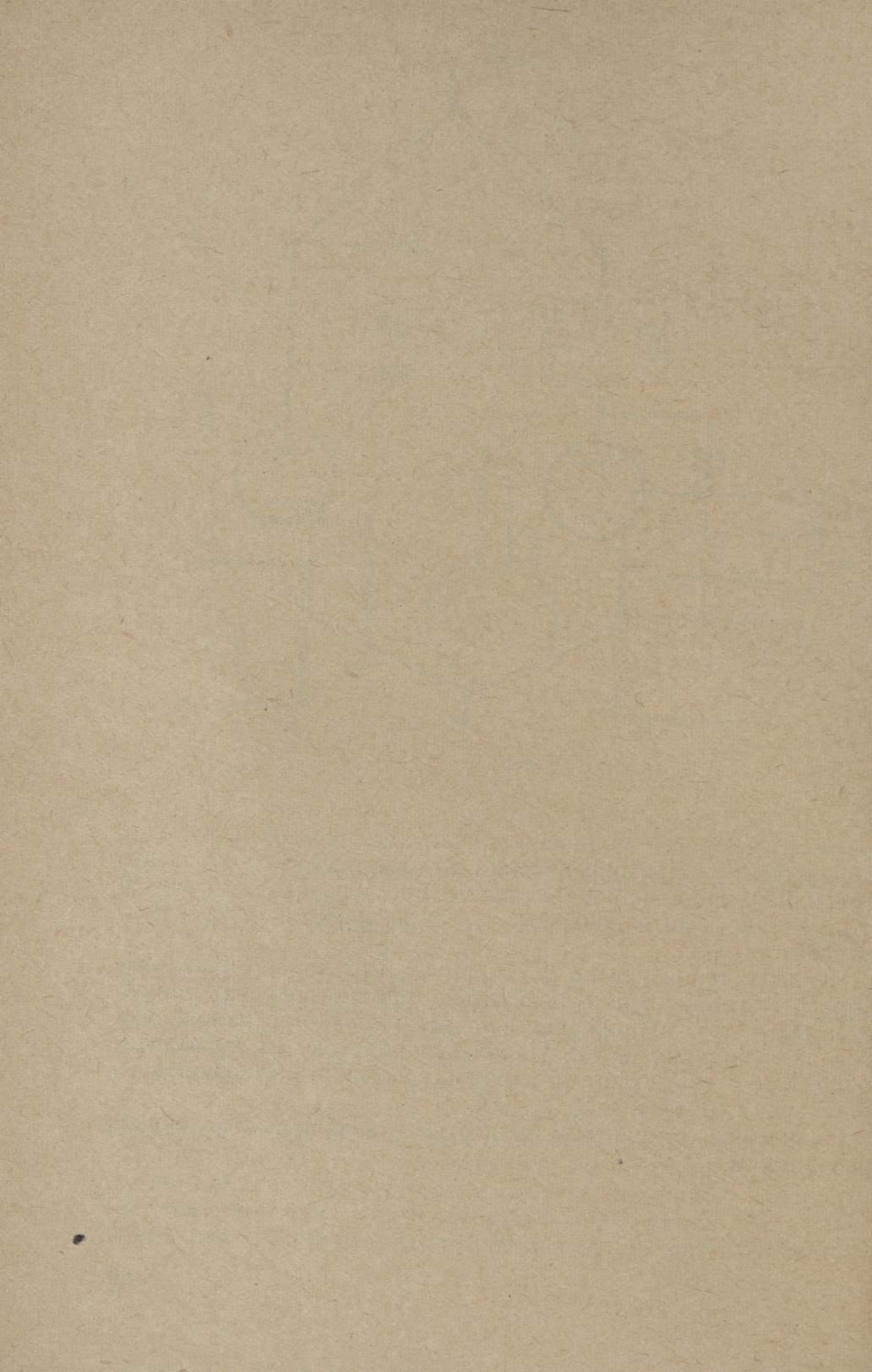


Фиг. 2.

учитывать скорость вращения магнитных полюсов и скорость подачи ленты. При определении коэффициента пересчета в перпендикулярном направлении (отброс) необходимо учитывать жесткость нити подвесок, чувствительность моста и другие факторы.

Исследованиями было установлено, что при помощи описанного магнитометра относительно просто получить линейность выходного напряжения с точностью 3% при изменениях угла закручивания $\pm 30^\circ$. Используя подвеску из константановой нити с диаметром 40 микрон, возможно регистрировать вращающий момент $3 \cdot 10^{-6}$ Г/см.

Полученные результаты полностью отвечают поставленным требованиям.



УДК 621.375.121

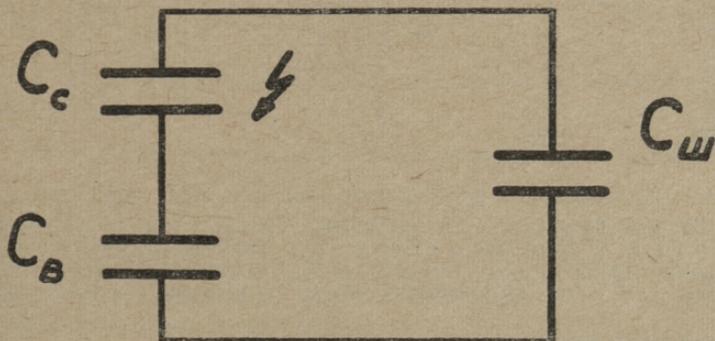
Р. А. Ойдрам,
 студент V курса энергетического факультета
 Научный руководитель: *О. О. Тапунере,*
 и. о. доцента

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В последние годы нашло широкое применение регистрация ионизационных процессов в высоковольтной изоляции. Причиной этого является повышение рабочих напряжений на линиях электропередачи. При этом оказывается нецелесообразным сохранить высокий коэффициент запаса изоляции. Но снижение уровня изоляции повышает рабочую напряженность в изоляции и создает опасность появления внутренней ионизации, что весьма нежелательно для электроизоляционных материалов органического происхождения.

Под внутренней ионизацией понимается появление частичных разрядов в диэлектрике. Процесс возникновения частичных разрядов в общих чертах следующий.

В любом техническом диэлектрике имеются всегда газовые включения. Так как диэлектрическая постоянная газового включения всегда меньше диэлектрической постоянной основ-



Фиг. 1. Схема замещения диэлектрика:

C_c — емкость каверны, C_n — емкость диэлектрика последовательно с каверной, $C_{ш}$ — емкость остальной массы диэлектрика

ного диэлектрика, может произойти пробой газового включения (т. н. частичный разряд), сохраняя целостность основной массы диэлектрика [1, 2].

Если рассматривать диэлектрик как конденсатор (см. фиг. 1), то частичный разряд эквивалентен закорачиванию емкости C_c . Общая емкость конденсатора увеличивается и напряжение на обкладках скачкообразно уменьшается [1, 2, 3]. Вышесказанное эквивалентно изменению заряда на обкладках конденсатора

$$\Delta Q_x = \Delta U_x C_x, \quad (1)$$

где ΔU_x — скачкообразное уменьшение напряжения на обкладках конденсатора,

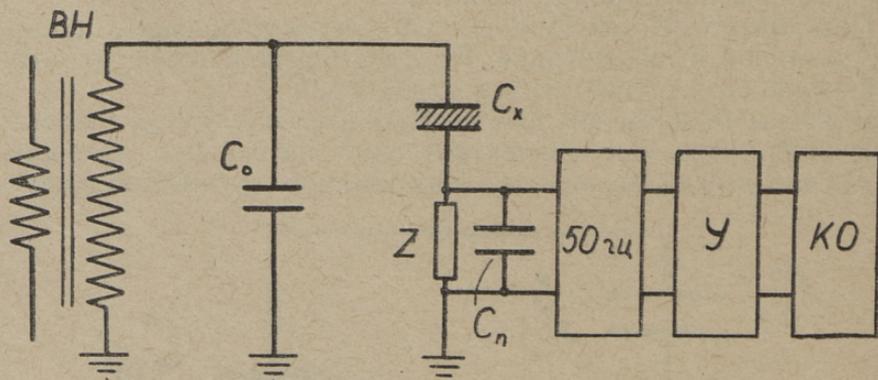
C_x — емкость конденсатора.

$$C_x = C_{ш} + \frac{C_c C_B}{C_c + C_B}. \quad (2)$$

Здесь ΔQ_x называется кажущейся интенсивностью ионизации. По данным [2] кажущаяся интенсивность ионизации в начальных стадиях ионизации

$$\Delta Q_{x\text{мин}} \approx 13^{-13} \text{ кулона}. \quad (3)$$

Наиболее распространенная схема для регистрации ионизационных процессов показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Схема для регистрации ионизационных процессов:

C_x — испытуемый объект, C_0 — эталонная емкость, Z — последовательное сопротивление в цепи испытуемого объекта, C_n — паразитная емкость входа индикаторной части, 50 гц — фильтр промышленной частоты и ее высших гармоник, $У$ — усилитель, $КО$ — катодный осциллограф, $ВН$ — источник высокого напряжения

Постоянная времени схемы регистрации

$$T = r \left(C_n + \frac{C_x \cdot C_0}{C_x + C_0} \right) = r C_{\text{эв}}, \quad (4)$$

если $Z = r$.

При кажущейся интенсивности ионизации ΔQ_x на вход индикаторной части подается импульс напряжения

$$u_{\text{вх}} = \frac{\Delta Q_x}{C_x + C_{\text{п}} + C_{\text{н}} \frac{C_x}{C_0}} e^{-\frac{t}{T}} = \frac{\Delta Q_x}{C_t} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (5)$$

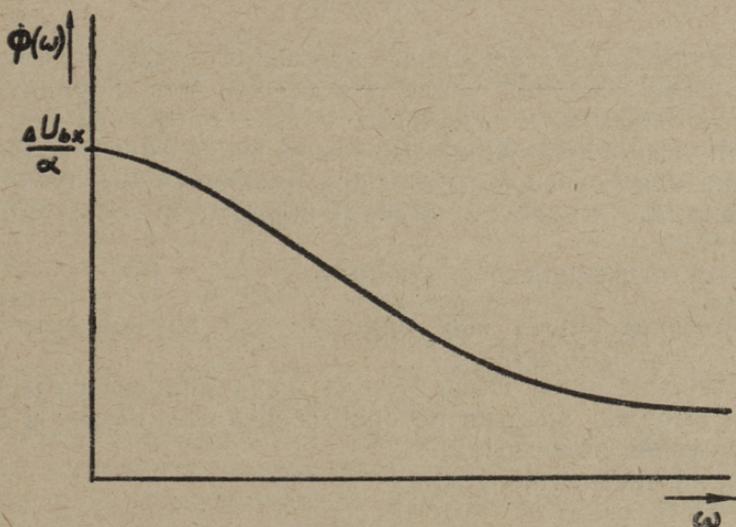
где C_t — приведенная емкость схемы.

Модуль частотного спектра рассматриваемого экспоненциального импульса

$$\Phi(\omega) = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}, \quad (6)$$

где $\alpha = \frac{1}{T}$ [1, 2].

Частотный спектр импульса приведен на фиг. 3.



Фиг. 3. Частотный спектр экспоненциального импульса

Усилитель U (фиг. 2) вносит на форму импульса незначительные искажения, если на выходе его используется 90% от общей энергии импульса ионизаций [1, 2].

Общая энергия импульса

$$W = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \Phi^2(\omega) d\omega = \frac{\Delta U_{\text{вх}}^2}{2\alpha}. \quad (7)$$

Если усилитель имеет полосу пропускания $\omega_1 \rightarrow \omega_2$, то часть энергии на выходе, используемая от общей энергии импульса ионизации, равна:

$$\Delta W = \frac{2}{\pi} \left(\text{arc tg } \frac{\omega_2}{\alpha} - \text{arc tg } \frac{\omega_1}{\alpha} \right). \quad (8)$$

Если $\omega_1 \ll \omega_2$, то

$$\omega_2 = \alpha \cdot \text{tg } \frac{\pi \cdot \Delta W}{2} \quad (9)$$

Если $\Delta W = 0,9$, то получим верхнюю границу полосы пропускания для усилителя

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = 1.05 \alpha \approx \alpha. \quad (10)$$

Отсюда следует, что при $r = 1000$ ом и $C_{\text{экв}} = 1000$ пф, мы должны иметь усилитель с полосой пропускания

$$\Delta f = 1 \text{ Мгц.}$$

При этом для регистрации начальной стадии ионизации коэффициент усиления усилителя должен быть порядка 10^6 . Если $C_t = 10\,000$ пф и $\Delta Q_x = 10^{-13}$ кулона, то $\Delta U_{bx} = 10^{-5}$ вольт. Минимальный обнаруживаемый скачок напряжения на экране катодно-лучевой трубки при наличии шума (тепловой шум усилителя и внешние помехи) порядка 10 вольт. Отсюда

требуемый коэффициент усиления $\kappa = \frac{10}{10^{-5}} = 10^6$.

Применение нашел еще один частый случай схемы на фиг. 2 — $Z = r_L + j\omega L$.

При этом на входе индикаторной части получается колебательный импульс, энергия которой сосредоточивается в сравнительно узкой полосе [1, 2].

Средняя частота колебания

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\text{экв}}}}. \quad (11)$$

Для использования 90% от общей энергии этого колебательного импульса требуется полоса пропускания

$$\Delta f = \frac{r_L}{2L}. \quad (12)$$

Из вышеуказанного найдем следующие условия специальному усилителю для регистрации ионизационных процессов.

1. Усилитель должен работать в широкополосном и узкополосном режимах.

2. В широкополосном режиме полоса пропускания должна быть 1 Мгц.

3. Как известно, уровень внешних помех на выходе усилителя увеличивается с расширением полосы пропускания усилителя. Для обеспечения работы с усилителем при наличии сильных внешних помех, требуется возможность переключения усилителя на более узкую полосу — порядка 100 кгц.

4. Усилитель должен согласно вышеуказанным представлениям иметь возможность переключения на работу в узкой полосе, с частотой настройки f_0 .

5. Максимальный коэффициент усиления должен быть во всех режимах порядка 10^6 .

Еще предъявляются усилителю следующие требования.

1. На вход усилителя должен быть включен фильтр для отфильтровывания промышленной частоты и ее высших гармоник.

2. Для безопасности работы в высоковольтных установках вход усилителя должен быть зашунтирован разрядником.

3. По правилам техники безопасности усилитель должен находиться в некотором расстоянии от высоковольтной схемы. Но соединение усилителя с измерительной схемой длинным коаксиальным кабелем увеличивает паразитную емкость входа индикаторной части C_n , что ухудшает чувствительность схемы. Для устранения этого недостатка следует применять предварительный усилитель с катодным повторителем на выходе.

4. Так как интенсивность ионизации колеблется в широких пределах, то коэффициент усиления усилителя также должен меняться в широких пределах.

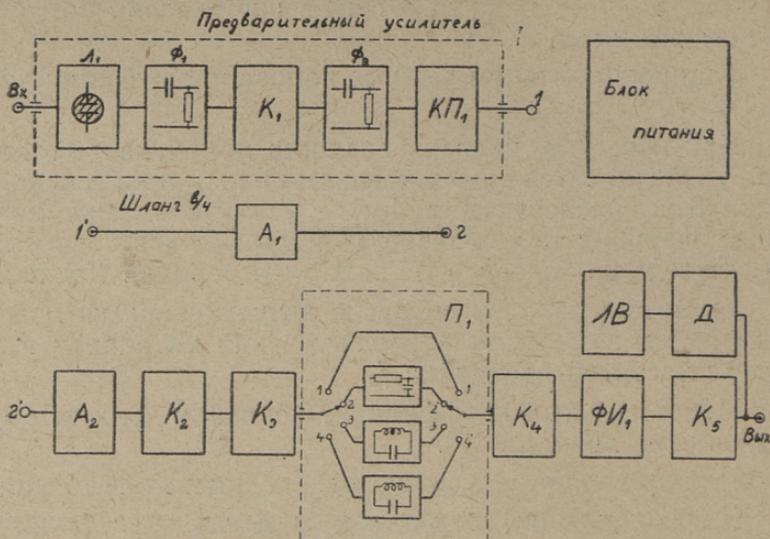
5. Для присоединения усилителя к электронно-лучевой трубке амплитуда напряжения на выходе должен быть до 100 вольт. Шум усилителя при этом на выходе не должен превышать 10 вольт. Это соответствует эквивалентному шумовому напряжению входа 10 мкв.

Всем вышеуказанным требованиям соответствует широкополосный усилитель УС-2.

Усилитель выполнен в трех отдельных блоках — предварительный усилитель, усилитель и блок питания.

На фигуре 4 приведена блок-схема усилителя.

В предварительный усилитель помещен тлеющий разрядник (L_1 — МН-5), фильтр 50 гц, первый усилительный каскад K_1 (6Ж5П) и катодный повторитель $KП_1$ (6С2П).



Фиг. 4. Блок — схема усилителя

При расчете фильтра нужно исходить из следующего: при максимальном усилении составляющая 50 гц на выходе усилителя не должна превышать собственных шумов.

Это значит, что на сетке первого усилительного каскада составляющая 50 гц не должна превышать 10 мкв. На входе усилителя составляющая 50 гц доходит до 100 вольт.

Отсюда затухание фильтра 50 гц

$$k = \frac{100}{10 \cdot 10^{-6}} = 10^7.$$

При этом фильтр Φ_1 обеспечивает затухание 10^6 и Φ_2 10 раз.

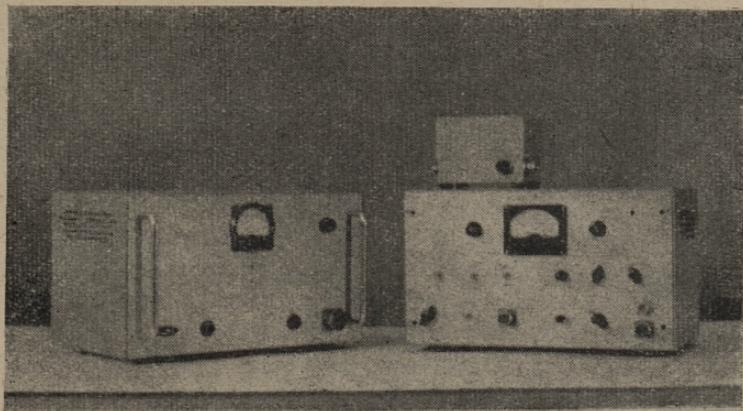
Усилительный каскад K_1 выполнен простым реостатным усилителем с коррекцией в области низких частот. Катодный повторитель $КП_1$ согласован с высокочастотным кабелем.

В высокочастотный кабель включен аттенюатор A_1 с затуханием 20 дб.

Аттенюатор A_2 дает возможность выбора затухания от 0 до 60 дб ступенями по 2 дб.

Усилительный каскад K_2 (6Ж4) выполнен в виде усилителя RC с коррекцией в области низких частот.

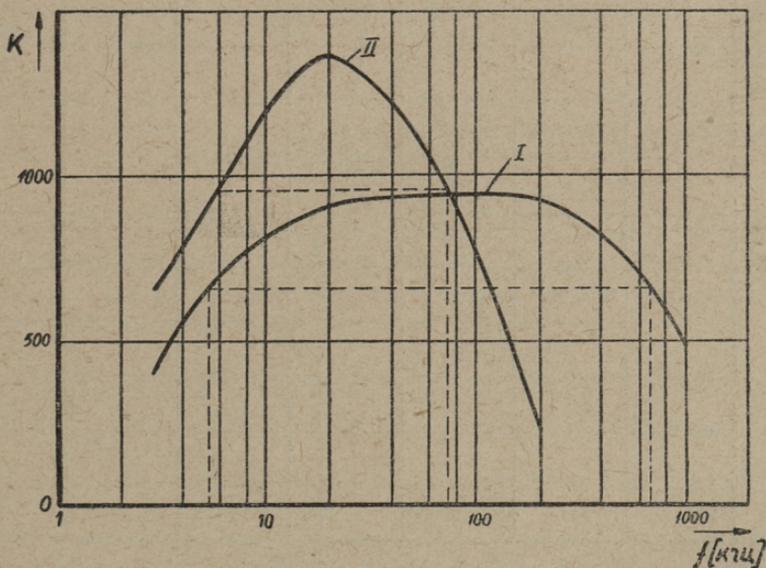
Режим работы усилительного каскада K_3 (пентод 6Ж4) выбирается в зависимости от требуемого режима работы усилителя в целом. При положении 1 переключателя рода работы Π_1 каскад работает как обычный усилитель RC. Полоса пропускания усилителя в таком случае 1 Мгц.



Фиг. 5. Общий вид усилителя. Слева блок питания, справа усилитель с предварительным усилителем

При положении 2 переключателя Π_1 в анодную цепь лампы каскада K_3 включается фильтр высокой частоты. Полоса пропускания усилителя 100 кГц.

При положениях 3 и 4 переключателя Π_1 в анодную цепь лампы каскада K_3 включаются резонансные контуры с частотой



Фиг. 6. Частотные характеристики усилителя в широкополосном режиме:

I — полоса пропускания $5,5 + 700$ кГц, II — полоса пропускания $6 + 70$ кГц

тами настройки 140 кГц и 465 кГц соответственно. Усилитель переходит в режим работы избирательного усилителя.

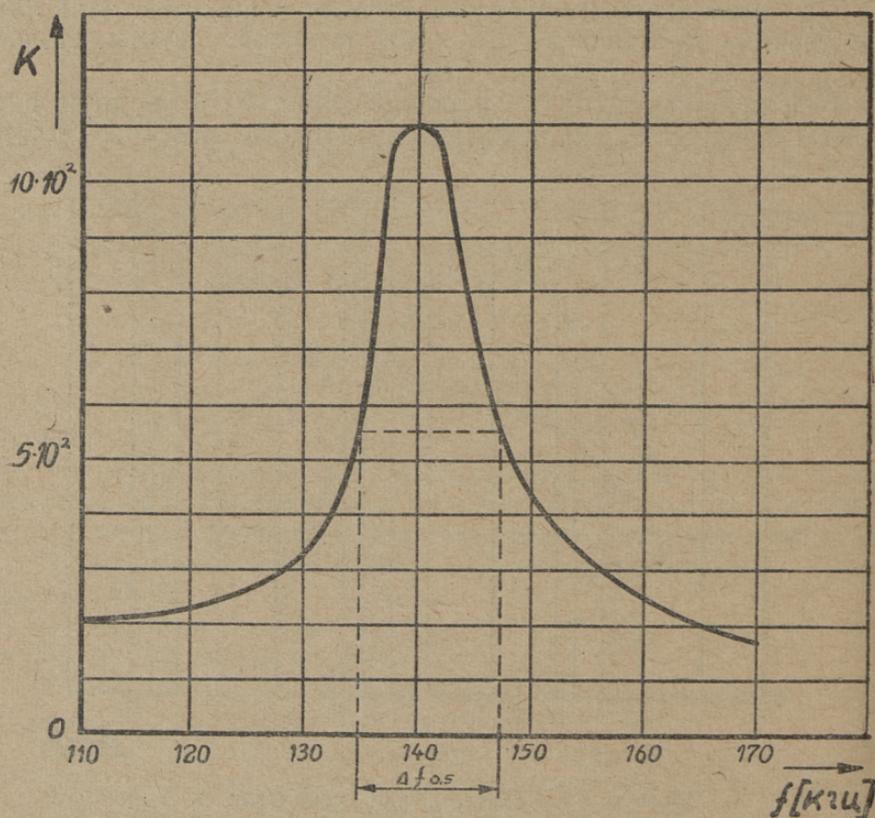
Усилительный каскад K_4 (пентод 6Ж4) выполнен в виде реостатного усилителя с коррекцией в области низких частот.

Следующий каскад ΦI_1 (пентод 6Ж4) фазоинвертор. Каскад выполнен по схеме катодно-анодной нагрузки.

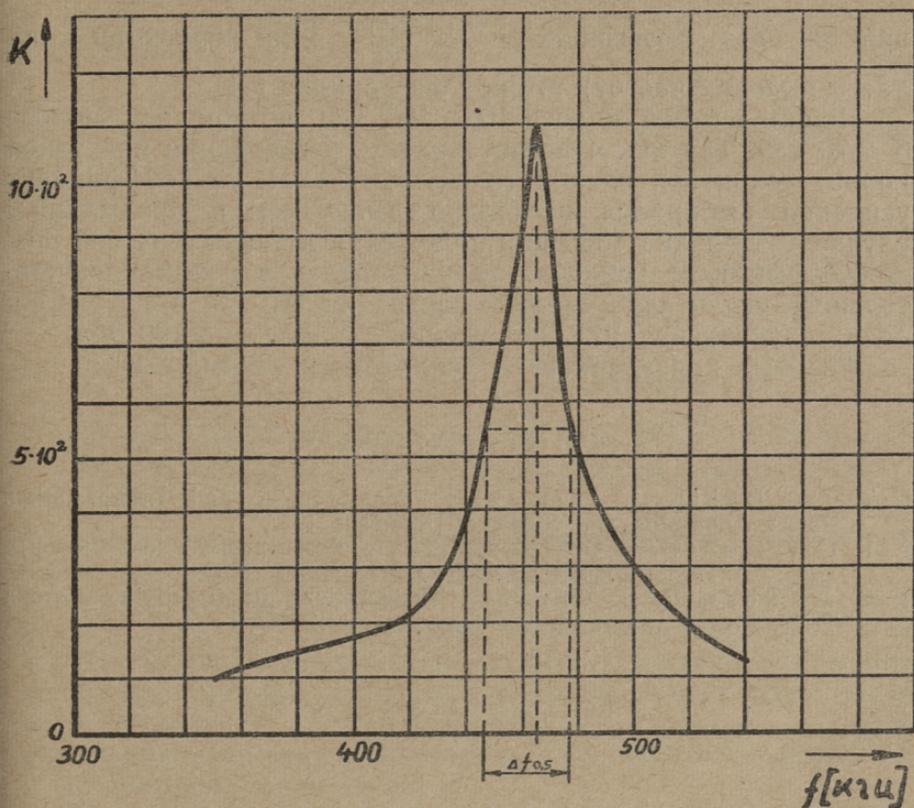
Выходной двухтактный каскад K_5 (выходные пентоды 6П9) выполнен по схеме усилителя на сопротивлениях. Каскад имеет коррекцию в области низких частот. В области высоких частот применена простая схема коррекции.

От выхода усилителя подается напряжение через квазипиковый детектор D_1 (двойной диод 6Х6С) на ламповый вольтметр $ЛВ$ (двойной триод 6В8С).

Цепи автоматического смещения всех усилительных каскадов шунтированы для устранения влияния паразитной индуктивности электролитических конденсаторов конденсаторами



Фиг. 7. Частотная характеристика усилителя в режиме избирательного усилителя ($f = 140$ кГц)



Фиг. 8. Частотная характеристика усилителя в режиме избирательного усилителя ($f_0 = 465$ кГц)

малой емкости. Для устранения влияния одного усилительного каскада на другие применены между усилительными каскадами цепи развязки, служащие в то же время цепями коррекции в области низких частот.

Анодные цепи всех каскадов получают питание от обычного двухполупериодного выпрямителя со сглаживающим фильтром. Для питания экранных сеток применена электронный стабилизатор.

Для подавления влияния промышленной частоты нити накала ламп предварительного усилителя питаются постоянным током.

Внешний вид усилителя приведен на фиг. 5.

На фигурах 6, 7 и 8 приведены частотные характеристики усилителя в вышеуказанных четырех режимах. При проектной полосе пропускания $10 \div 1000$ кГц удалось получить полосу $5,5 \div 700$ кГц при усилении 940 (аттенюатор в положе-

нии «60 дб»). Коэффициент $Q = \frac{\omega_2 L_a}{R_a}$ (при коррекции в области высоких частот) выбирался порядка 0,4.

При проектной полосе $10 \div 100$ кГц выбиралась полоса $6 \div 70$ кГц. Так как чувствительность регистрации при узкой полосе усилителя низкий (в случае $Z = r$), то коэффициент усиления выбирался несколько выше, чем в предыдущем случае — порядка 1360 при положении аттенюатора «60 дб».

Коэффициент усиления регулировался в режиме избирательного усилителя (частоты настройки 140 кГц и 465 кГц) в обоих случаях на 1100 (положение аттенюатора «60 дб»).

Фазовые характеристики усилителя не снимались.

ЛИТЕРАТУРА

1. Th. W. Dakin, J. Lim. Corona Measurement and Interpretation. Power Apparatus and Systems, December 1957.
2. Г. С. Кучинский, О. О. Тапупере, Регистрация ионизационных характеристик изоляции. Электричество № 11, 1960.
3. C. W. Ross, E. B. Curdts. Considerations in Specifying Corona Tests. Power Apparatus and Systems, April, 1956.

УДК 621.313.29

Я. К. Лоотус,

студент V курса энергетического факультета

Научный руководитель: *Э. В. Валласте,*

ст. преподаватель

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ РАСЧЕТА МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПЕЧАТНОЙ ОБМОТКОЙ

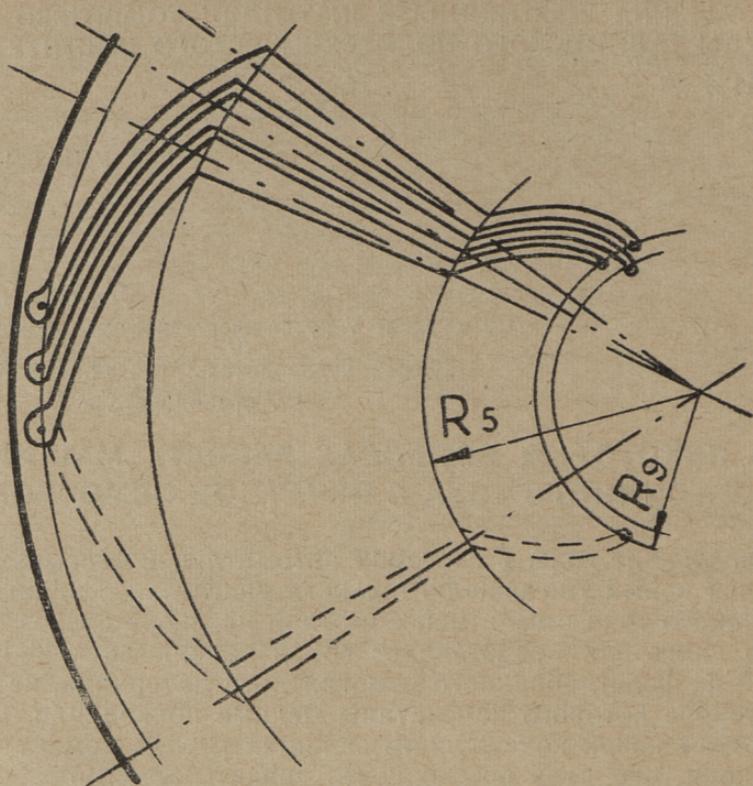
В последние годы в системах автоматики и телемеханики появился новый тип исполнительного двигателя — двигатель постоянного тока с печатной обмоткой на якоре-диске. Якорь такого двигателя представляет собой тонкий диск, изготовленный из фольгированного немагнитного материала, на каждой стороне которого напечатаны медные проводники. Преимуществом новой конструкции является малый момент инерции якоря, что дает возможность снизить электромеханическую постоянную времени.

Имея в виду, что в настоящее время в области автоматики ощущается острая потребность в быстродействующих исполнительных электродвигателях, в настоящей статье рассматриваются некоторые вопросы, связанные с улучшением динамических свойств двигателей с печатными обмотками.

На фиг. 1 изображена секция волновой обмотки якоря.

По сравнению с активными участками лобовые части при равномерной толщине медного слоя обладают относительно большим сопротивлением и электрическими потерями. Так как внутренняя лобовая часть имеет относительно худшие условия охлаждения, при проектировании печатного якоря с точки зрения рационального выбора нагрузки якоря необходимо исходить из допустимых удельных потерь внутренней лобовой части. Допустимая плотность тока зависит от толщины меди: чем меньше толщина медного слоя, тем больше допустимая плотность тока в обмотке.

Чтобы обеспечить равномерное нагревание по всей длине лобового соединения, ширина их должна быть неизменной. Использовать неравномерное сечение нецелесообразно, так как в этом случае участки с меньшим поперечным сечением



Фиг. 1.

могут перегреваться. Применение находят эвольвентные и дугообразные лобовые части. Применением эвольвентной формы можно обеспечить равномерное сечение на любой точке лобовой части. Дугообразный профиль влечет с собой отклонение от этого требования, так как в средней части проводники имеют большую ширину чем в концах. Надо отметить, что при малых роторах лобовые соединения относительно коротки и практически можно считать тепловую нагрузку в обоих случаях равномерной.

Интересно отметить, что мнения разных авторов о выборе профиля лобовых частей не сходятся. Чтобы выяснить влияние той или иной конфигурации на параметры машины, проведен ряд расчетов. Так как полезный момент на валу создается в основном радиальными участками эффективных проводников, придерживается длина активных частей как в одном, так и в другом случае постоянной, тем самым параметры машины зависят от потерь в лобовых частях. Расчеты проведены как для восьмиполюсного, так и для десятиполюсного двигателя. В за-

висимости от толщины меди и минимально-возможных технологических размеров проводников найдены размеры диска, сопротивление обмотки и электромеханическая постоянная времени.

Упрощенное выражение для электромеханической постоянной машин с печатной обмоткой (1)

$$T_{\text{см}} = \frac{I \cdot r}{k^2},$$

где

$$k = \frac{N \cdot 2p}{2\pi \cdot 2a} \Phi,$$

- I — момент инерции дискового ротора,
- r — сопротивление печатной обмотки,
- N — суммарное число проводников на диске,
- $2p$ — число полюсов,
- $2a$ — число параллельных ветвей обмотки,
- Φ — полезный поток, охватываемый одним витком обмотки.

Быстродействие машин с печатной обмоткой тем лучше, чем меньше момент инерции и сопротивление обмотки.

Момент инерции якоря представляет собой сумму

$$I = I_M + I_D + I_B.$$

Последнюю составляющую — момент инерции вала — удобно найти опытным путем. Момент инерции диска — основания и медного слоя — зависят от диаметра диска в четвертой степени.

Момент инерции медного слоя обмотки:

$$I_M = \left(\frac{\pi}{16} \gamma_M \delta_M D^4 \right) m,$$

- где γ_M — удельный вес меди,
- δ_M — толщина медного слоя на якоре,
- D — диаметр диска,
- m — постоянная, которая учитывает, что только часть поверхности диска покрыта медной фольгой.

Момент инерции диска — основания

$$I_D = \frac{\pi}{32} \gamma_D \delta_D D^4,$$

- где γ_D — удельный вес материала диска,
- δ_D — толщина диска.

Якорь с очень малым диаметром имеет малый момент инерции, но в то же время и очень маленькую постоянную « K ».

Постоянная «К» прямо пропорциональна потоку, охватываемого витком обмотки.

Поток

$$\Phi = S_p a_\delta B_\delta,$$

где S_p — поверхность витка,

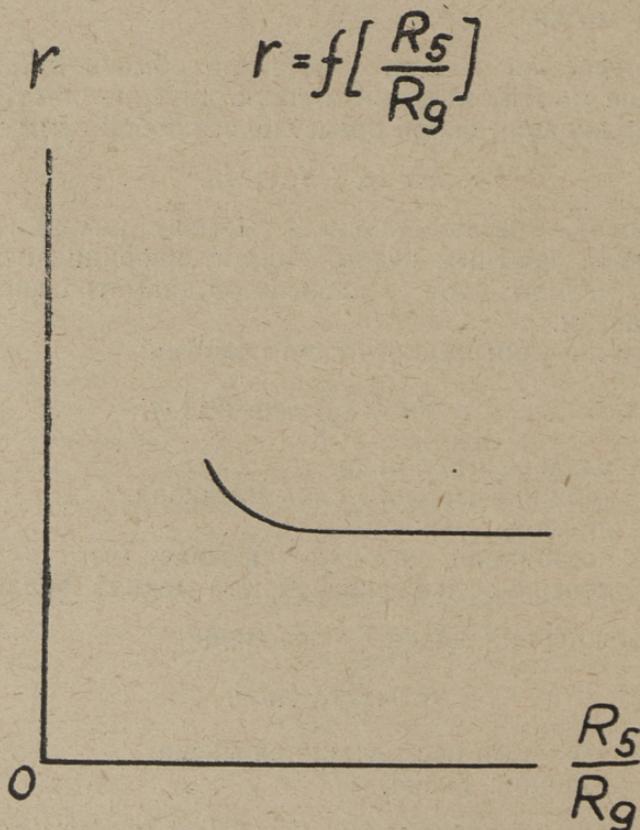
a_δ — коэффициент полюсного перекрытия,

B_δ — средняя индукция в воздушном зазоре.

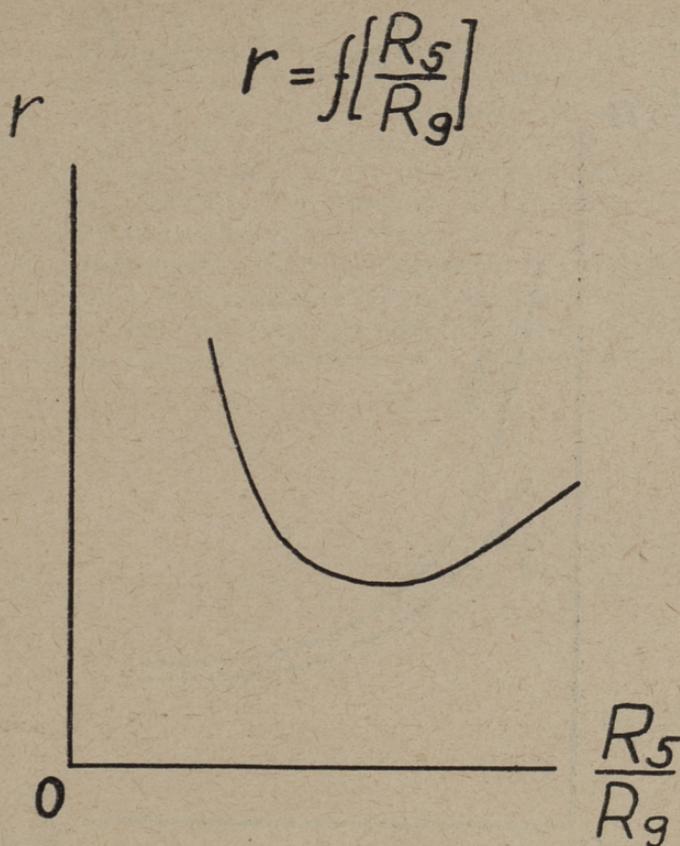
Отсюда видно, что повысить поток, а тем самым и постоянную «К» можно путем увеличения поверхности витка (диаметром диска), что приводит к увеличению момента инерции.

При проектировании двигателей надо учитывать и сопротивление обмотки. В общем случае для лобовых частей

$$r = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{l}{\gamma \cdot b \cdot \delta_M} = C \frac{l}{\delta_M},$$



Фиг. 2.



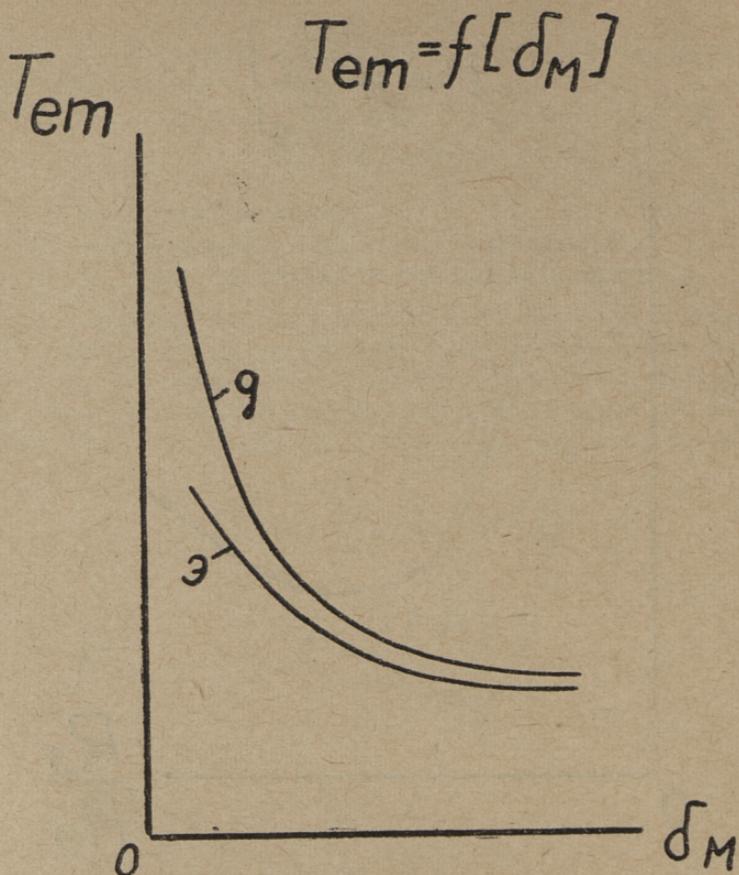
Фиг. 3.

где γ и b — постоянные величины,
 b — ширина проводника,
 δ_M — толщина медного слоя,
 l — длина проводника.

Сопротивление зависит от отношения $\frac{R_5}{R_9}$, имеющего оптимальное значение, при котором $\frac{l}{\delta_M}$ наименьшее.

Используя дугообразные лобовые части, надо, исходя из быстродействия машины, в первую очередь выбирать $\frac{R_5}{R_9}$ (фиг. 2).

Сопротивление эвольвентных лобовых частей зависит от отношения $\frac{R_5}{R_9}$ (фиг. 3) в меньшей степени, поэтому можно радиус R_5 довести до минимума и тем самым уменьшить диаметр и момент инерции.



Фиг. 4.

При определении оптимальной геометрии ротора необходимо учитывать все факторы. На фиг. 4 изображена зависимость между электромеханической постоянной и толщиной меди.

$$T_{em} = f(\delta_M).$$

Обозначения на фигуре соответствуют:

- э — при использовании эвольвентных лобовых частей,
- g — при использовании дугообразных лобовых частей.

Исходными данными являлись толщина меди и технологическая таблица для травления. Для разных толщин меди найдены размеры диска и момент инерции, сопротивление отдельных участков и наконец электромеханическая постоянная времени. Разные свойства двух кривых лобовых частей вызывают разные изменения в геометрии ротора. Имея в виду

быстродействие машины можно дать предпочтение эвольвентному профилю лобовых частей. Так как дугообразные лобовые части не обеспечивают равномерное сечение, то целесообразно выбирать во всех случаях эвольвентные лобовые части.

Расчеты показали, что электромеханическую постоянную времени можно уменьшить путем увеличения числа полюсов. В этом случае лобовые соединения получаются короче и уменьшается сопротивление обмотки.

Машины постоянного тока с печатными обмотками на якоре по принципу могут удовлетворять повышенные требования по быстродействию, поэтому при проектировании микродвигателей основное внимание должно быть обращено на это требование.

УДК 621.314.242

И. Р. Паркс,

студент V курса энергетического факультета.

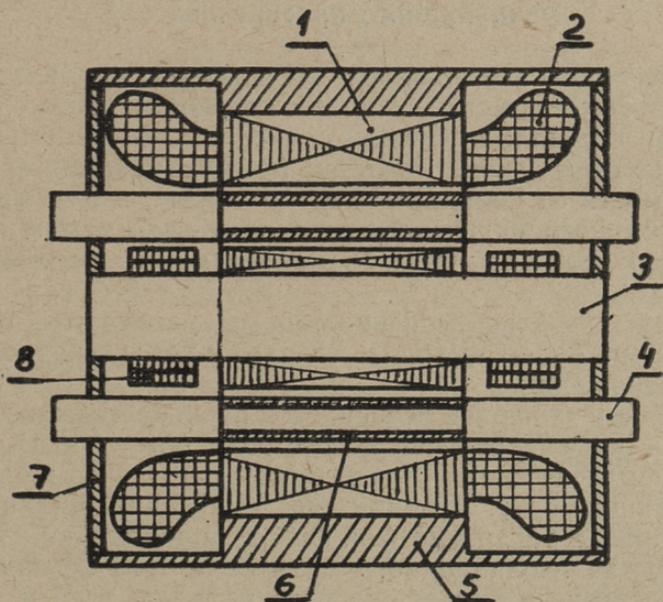
Научный руководитель: Э. А. Пуусепп,

ст. преподаватель

О ВОПРОСАХ МАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИКИ УНИПОЛЯРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Введение

Униполярные преобразователи предназначены для преобразования переменного тока в постоянный ток большой силы. Принципиальная схема униполярного преобразователя дана на фигуре 1. Ток в обмотке 2 индуктора 1, подключен-



Фиг. 1. Схема униполярного преобразователя:

1 — пакет индуктора; 2 — трехфазная обмотка индуктора; 3 — сердечник преобразователя; 4 — электрод; 5 — корпус; 6 — канал; 7 — щит; 8 — обмотка возбуждения (постоянного тока)

ной к сети трехфазного тока, создает в машине вращающееся магнитное поле. Это поле пересекает канал, в котором находится жидкий металл. Жидкий металл мы можем рассматривать в виде полого ротора. Следовательно в канале возникает переменный ток, взаимодействующий с вращающимся магнитным полем. В результате этого взаимодействия жидкий металл испытывает усилия и начинает перемещаться по каналу (в направлении вращения магнитного поля).

При помощи обмоток возбуждения δ , обтекаемых постоянным током, создается постоянное магнитное поле в канале жидкого металла. По закону электромагнитной индукции появляется на торцах канала разность потенциалов, которая вызывает возникновение постоянного тока в нагрузочной цепи.

До настоящего времени изучены [1] вопросы ламинарного потока жидкого металла в цилиндрическом канале под влиянием переменного магнитного поля, но так как в униполярных преобразователях жидкий металл испытывает влияние постоянного магнитного поля, то в настоящей статье рассматривается задача ламинарного потока жидкого металла под одновременным действием переменного и постоянного магнитных полей.

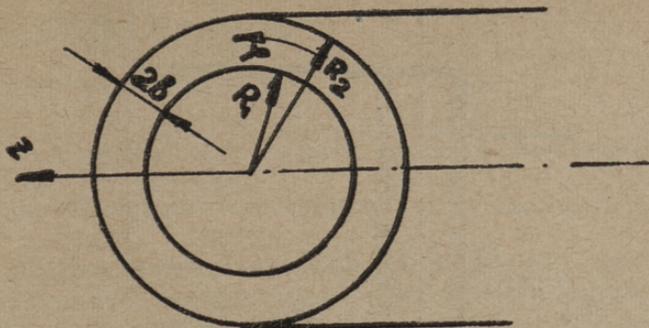
Распределение скорости ламинарного потока в канале униполярного преобразователя

При изучении этого вопроса мы должны учитывать особенности, которые заключаются, во первых, в том, что в силу кривизны индуктора линейная скорость электромагнитного поля в рабочем зазоре меняется (по абсолютному значению) в зависимости от координаты R , во вторых, в том, что индукция постоянного магнитного поля в рабочем зазоре меняется (по абсолютному значению) в зависимости от координаты R .

Каждую из этих особенностей мы рассмотрим отдельно. При этом не будем выходить за рамки реальных геометрических соотношений.

При анализе первой особенности пренебрегаем изменением индукции постоянного магнитного поля ($B_0 = \text{const}$), а также затуханием переменного магнитного поля в слое жидкого металла толщиной $2b$. Принимаем, что длина цилиндра (по оси z) гораздо больше $2b$ (см. фиг. 2) и что стенки канала изготовлены из изоляционного материала. Это позволяет пренебрегать зависимостью скорости металла, тока и полей от координаты z .

Жидкий металл перемещается со скоростью $\bar{V} = \bar{V}(R)$ под действием силы $\bar{\Delta} \times \bar{B}$, где



Фиг. 2.

$$\vec{B} = B_M e^{i(\omega t - \alpha\varphi)} \vec{e}_R;$$

$$\vec{\Delta} = \vec{\Delta}_z = \gamma \vec{E} + \gamma [\vec{v} \vec{B}]_z = \gamma (E - vB) \vec{e}_z;$$

Так как

$$\text{rot } \vec{E} = \frac{1}{R} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} e_R = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

то

$$E_z = \frac{\omega}{\alpha} BR$$

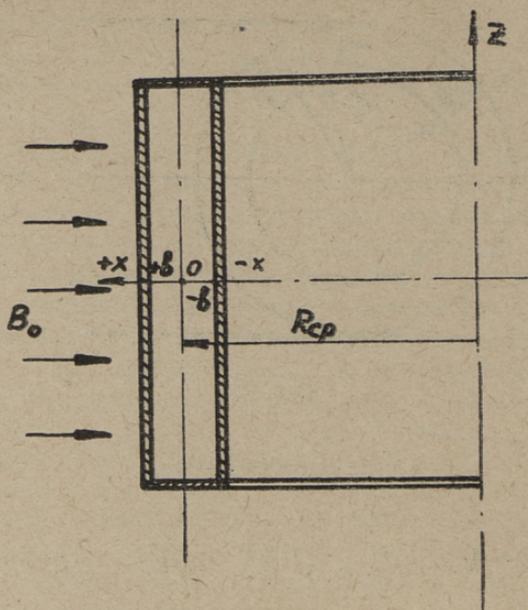
и

$$[\vec{\Delta} \vec{B}] = \Delta B \vec{e}_\varphi = \gamma B \left(R \frac{\omega}{\alpha} B - vB \right) \vec{e}_\varphi.$$

$\vec{e}_R, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_z$ — единичные векторы цилиндрических координат.

При движении жидкого металла в постоянном магнитном поле возникает напряженность электрического поля $(\vec{v} \vec{B})$, которая имеет максимальное значение в точках, где скорость движения металла самая большая. У стенок напряженность электрического поля равна нулю, т. к. $v = 0$.

Так как при холостом ходе униполярного преобразователя внешняя цепь между электродами (фиг. 1 поз. 4) преобразователя разомкнута, то индуцированный постоянным магнитным полем ток может замыкаться в самом жидком металле. Очевидно, что протекающий в средней части канала ток имеет направление, совпадающее с напряженностью постоянного электрического поля, а у стенок канала направление тока — обратное, так как вблизи стенок скорость металла мало отличается от нуля.



Фиг. 3.

Условие непрерывности постоянного тока при холостом ходе униполярного преобразователя в виде (фиг. 3)

$$I = 2\pi R_{cp} \int_{-B}^{+B} (\Delta_n - \Delta_0) dx = 0,$$

где Δ_n — плотность постоянного тока в направлении напряженности постоянного электрического поля,
 Δ_0 — плотность постоянного тока вблизи стенок.

Выше приняты обозначения:

B — магнитная индукция переменного магнитного поля,

Δ — плотность переменного тока в жидком металле,

γ — электрическая проводимость жидкости,

v — скорость движения жидкого металла,

R_i, φ_i, z — цилиндрические координаты.

Следовательно, и сумма электромагнитных сил, тормозящих движение жидкого металла, будет также равна нулю.

Уравнения Навье-Стокса [2] в цилиндрических координатах после усреднения массовых сил и давления по времени и угловым координатам принимает вид

$$\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial R} - \frac{V}{R^2} - \frac{\Delta_n}{\eta} B_0 V - \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 V + \frac{\Delta_0}{\eta} B_0 + \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega}{\alpha} R - \frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{R} = 0, \quad (1)$$

где p — давление,
 η — динамическая вязкость,

$\nu = \frac{\eta}{\delta}$ — кинематическая вязкость,

δ — массовая плотность жидкого металла,

B_0 — среднее значение магнитной индукции постоянного магнитного поля в канале.

Остальные обозначения — общепринятые.

Так как при рабочем режиме униполярного преобразователя внешняя цепь между электродами униполярного преобразователя не разомкнута, то допустим, что индуцированный постоянный ток замыкается только через нагрузочную цепь. Следовательно шестой член уравнения (1).

$$\frac{\Delta_0}{\eta} B_0 = 0$$

и в канале протекает постоянный ток только в одном направлении. При высказанном

$$\frac{\Delta_n}{\eta} B_0 v = \frac{\gamma}{\eta} B_0^2 v.$$

И так уравнение Навье-Стокса в цилиндрических координатах для рабочего режима униполярного преобразователя принимает следующий вид:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial R} - \frac{v}{R^2} - \frac{\gamma}{\eta} B_0^2 V - \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 V + \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega}{\alpha} R - \frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{R} = 0. \quad (2)$$

Полученное выражение (2) — неоднородное уравнение Бесселя, решениями однородной части которого являются функции Бесселя $I_1(\beta_1 R)$ и $K_1(\beta_1 R)$ от мнимого аргумента.

Производя замену переменных

$$\xi = j\beta_1 R,$$

получаем уравнение

$$\frac{\partial^2 V}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{\partial V}{\partial \xi} - \left(\frac{1}{\xi^2} + 1 \right) V = \frac{1}{\beta_1} \left(\frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{\xi} - \frac{1}{\beta_1^2} \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega}{\alpha} \xi \right), \quad (3)$$

причем v удовлетворяет граничным условиям

$$V|_{\xi = \xi_1}; \quad \xi_2 = 0,$$

где

$$\xi_1 = j\beta_1 R_1;$$

$$\xi_2 = j\beta_1 R_2.$$

Решение выражается через функцию Грина $G(\zeta i \xi)$

$$V = \frac{1}{\beta_1} \int_{\xi_1}^{\xi_2} G(\zeta i \xi) \left(\frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{\xi} - \frac{1}{\beta_1^2} \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega_1}{\alpha} \xi \right) d\xi. \quad (5)$$

Функция $G(\zeta i \xi)$ удовлетворяет левой части уравнения (3) и однородным граничным условиям (4).

Построим $G(\zeta i \xi)$ согласно правилам

$$G(\zeta i \xi) = \begin{cases} C_1 v_1(\zeta) & \zeta \leq \xi \\ C_2 v_2(\zeta) & \zeta \geq \xi \end{cases}, \quad (6)$$

где v_1 и v_2 удовлетворяют левой части уравнения (3), причем

$$V_1 \Big|_{\xi = \zeta} = 0; \quad V_2 \Big|_{\xi = \zeta} = 0; \quad (7)$$

$$\text{т. е. } \left. \begin{aligned} v_1 &= I_1(\zeta) - \kappa_1 K_1(\zeta) \\ v_2 &= I_1(\zeta) - \kappa_2 K_1(\zeta) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= \frac{I_1(\xi_1)}{K_1(\xi_1)}; \\ \kappa_2 &= \frac{I_1(\xi_2)}{K_1(\xi_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

В (6) коэффициенты C_1 и C_2 определяются из условия непрерывности функции Грина и скачка ее первой производной в точке $\zeta = \xi$, равного обратной величине коэффициента при $\frac{\partial^2}{\partial \xi^2}$ в (3), т. е. единице:

$$\left. \begin{aligned} C_1 v_1(\xi) - C_2 v_2(\xi) &= 0 \\ C_1 v_1'(\xi) - C_2 v_2'(\xi) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Определяя C_1 и C_2 находим функцию Грина

$$G(\zeta i \xi) = \begin{cases} \frac{\xi [I_1(\zeta) - \kappa_1 K_1(\zeta)] [I_1(\xi) - \kappa_2 K_1(\xi)]}{\kappa_2 - \kappa_1} & \text{для } \zeta \leq \xi \\ \frac{\xi [I_1(\zeta) - \kappa_2 K_1(\zeta)] [I_1(\xi) - \kappa_1 K_1(\xi)]}{\kappa_2 - \kappa_1} & \text{для } \zeta \geq \xi \end{cases} \quad (11)$$

Подставляя (11) в (6), определяем распределение скоростей. После несложных преобразований получаем

$$V = \frac{1}{\beta_1^2} \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega_1}{\alpha} R - \frac{1}{\beta_1^2} \frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{R} + \frac{1}{I_1(\beta_1 R_2) K_1(\beta_1 R_1) - I_1(\beta_1 R_1) K_1(\beta_1 R_2)} \left\{ \frac{1}{\beta_1^2} \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega_1}{\alpha} [I_1(\beta_1 R) (R_1 K_1(\beta_1 R_2) - R_2 K_1(\beta_1 R_1)) - \right.$$

$$- K_1(\beta_1 R) (R_1 I_1(\beta_1 R_2) - R_2 I_1(\beta_1 R_1))] + \frac{1}{\beta_1^2} \frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{R_1 R_2} \times \\ \times [I_1(\beta_1 R) (R_1 K_1(\beta_1 R_1) - R_2 K_1(\beta_1 R_2)) - \\ - K_1(\beta_1 R) (R_1 I_1(\beta_1 R_1) - R_2 I_1(\beta_1 R_2))] \} \quad (12)$$

Средняя скорость по сечению канала (фиг. 3)

$$v_{cp} = \frac{1}{R_2 + R_1} \int_{R_1}^{R_2} v dR = \\ = \frac{1}{\beta_1^2} \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega_1}{\alpha} \left[\frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{\beta_1 (T_1 R_2 + T_2 R_1) - \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_2}{R_1}}{\beta_1^2 (R_2 - R_1) T_3} \right] - \\ - \frac{1}{\beta_1^2} \frac{P}{2\pi\eta} \frac{1}{R_2 - R_1} \left[\ln \frac{R_2}{R_1} - \frac{\frac{1}{\beta_1} \left(\frac{T_1}{R_2} + \frac{T_2}{R_1} \right) - 2}{T_3} \right], \quad (13)$$

где

$$T_1 = I_0(\beta_1 R_2) K_1(\beta_1 R_1) + I_1(\beta_1 R_1) K_0(\beta_1 R_2); \\ T_2 = I_0(\beta_1 R_1) K_1(\beta_1 R_2) + I_1(\beta_1 R_2) K_0(\beta_1 R_1); \\ T_3 = I_1(\beta_1 R_2) K_1(\beta_1 R_1) - I_1(\beta_1 R_1) K_1(\beta_1 R_2). \quad (14)$$

Для сравнения найденного выражения скорости насоса введем переменную x , отсчитываемую от середины канала

$$R = R_2 - b + x. \quad (15)$$

Подставляя (15) в (12), используя условие узости щели, по которой течет жидкий металл, $b \ll R_1$ и ограничиваясь в асимптотическом представлении бесселевых функций $I_1(\zeta)$ и $K_1(\zeta)$ первыми двумя членами, получаем после громоздких преобразований

$$V = \left(\frac{1}{\beta_1^2} \frac{\gamma}{2\eta} B_m^2 \frac{\omega_1}{\alpha} - \frac{D_1}{\beta_1^2} \right) \left(1 - \frac{\text{ch } \beta_1 x}{\text{ch } \beta_1 b} \right) + \frac{x}{R_1 + R_2} \cdot \\ \cdot \left[\frac{\text{ch } \beta_1 x}{\text{ch } \beta_1 b} \left(\frac{\gamma}{\beta_1^2 2\eta} B_m^2 \frac{\omega_1}{\alpha} \frac{D_1}{\beta_1^2} \right) + 2 \left(\frac{\gamma B_m^2}{\beta_1^2 2\eta} \frac{\omega_1}{\alpha} - \frac{D_1}{\beta_1^2} \right) \right] - \\ - \frac{b}{R_1 + R_2} \frac{\text{sh } \beta_1 x}{\text{sh } \beta_1 b} \left(3 \frac{\gamma B_m^2}{\beta_1^2 2\eta} \frac{\omega_1}{\alpha} + \frac{D_1}{\beta_1^2} \right), \quad (16)$$

где

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{\gamma(2B_0 + B_m^2)}{2\eta}};$$

$$D_1 = \frac{P}{2\pi\eta R_{\text{ср}}};$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{\tau_{\text{ср}}};$$

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{\pi}{P_n} R_{\text{ср}};$$

P_n — число пар полюсов.

В (16) первый член представляет собой известную формулу распределения скоростей [1] в плоском насосе; остальные члены учитывают в первом приближении кривизну канала.

Переходя от формулы (12) к формуле (16), мы ограничились первыми двумя членами, что накладывает некоторое условие на β_1 .

$$\frac{1}{4\zeta} = \frac{1}{4\beta_1 |R|} = \frac{1}{4\beta_1 \left(\frac{R_1 + R_2}{2} + x\right)} \ll 1,$$

т. е.

$$2\beta_1 \gg \frac{1 + \frac{2b}{R_1 + R_2}}{R_1 + R_2} \gg \frac{\left|1 - \frac{2x}{R_1 + R_2}\right|}{R_1 + R_2}. \quad (17)$$

В случае узкой щели

$$b \leq \frac{1}{10} \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (18)$$

Следовательно, в случае выполнения условия (17) и (18) можно пользоваться формулой (16) для расчета скорости жидкого металла. В случае широкой щели необходимо пользоваться точной формулой (12).

Второй особенностью является непостоянство абсолютного значения индукции постоянного магнитного поля в зависимости от координаты. Эту особенность можем учитывать после выяснения величины скорости потока жидкого металла в двух точках — одна в области $-b < -x < -\frac{1}{2}b$, другая в области $b > x > \frac{1}{2}b$ — при действительных значениях индукции постоянного магнитного поля в этих точках. После этого можем поправлять всю кривую, характеризующую распределение скорости потока по сечению канала, так как в точке $x = 0$ найденная величина скорости (B_0 действительная величина индукции в этой точке) остается неизменной.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Тютин. Электромагнитные насосы для жидких металлов. Издательство Академии Наук Латвийской ССР, Рига, 1959.
2. Н. М. Охременко. Магнитогидравлические явления в каналах индукционных насосов для жидких металлов. Известия высших учебных заведений, Электромеханика № 6, 1962.
3. Г. Н. Ватсон. Теория бесселевых функций, I часть. Издательство иностранной литературы, Москва, 1949.
4. Л. Р. Нейман. Теория электромагнитного поля. Государственное энергетическое издательство», Москва—Ленинград, 1959.

УДК 539.375

Р. В. Сиймпоег,
студент V курса механического факультета

Научный руководитель: *И. Р. Клейс,*
и. о. доц., канд. техн. наук

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УДАРНОГО ИЗНОСА С ВЛАЖНЫМ ПЕСКОМ

1. Введение

Износ металлов в струе сухого кварцевого песка начали исследовать в Таллинском политехническом институте в 1957 г. В результате исследований определена зависимость износа от скорости и угла атаки абразивной струи и выявлено, что износ металлов в абразивной струе зависит главным образом от структуры материала. Наиболее износоустойчивой оказалась при этом структура твердых сплавов типа ВК, используемых при резании металлов.

Стимулом для изучения такой малоисследованной области как эрозии металлов в нашей республике, явилось возникновение силикальцитной промышленности. Перед конструкторами и технологами поставлены проблемы, связанные с проектированием как дезинтеграторов, так и дезинтеграторных процессов.

Так как в последние годы распространяется т. н. мокрый дезинтеграторный процесс, возникла потребность объяснить влияние содержания влажности песка на интенсивность износа пальцевых материалов дезинтегратора. В связи с этим в ТПИ на кафедре «Детали машин» по заказу силикальцитной промышленности была проведена исследовательская работа, в которой проверялось влияние влажности на износ в абразивной струе.

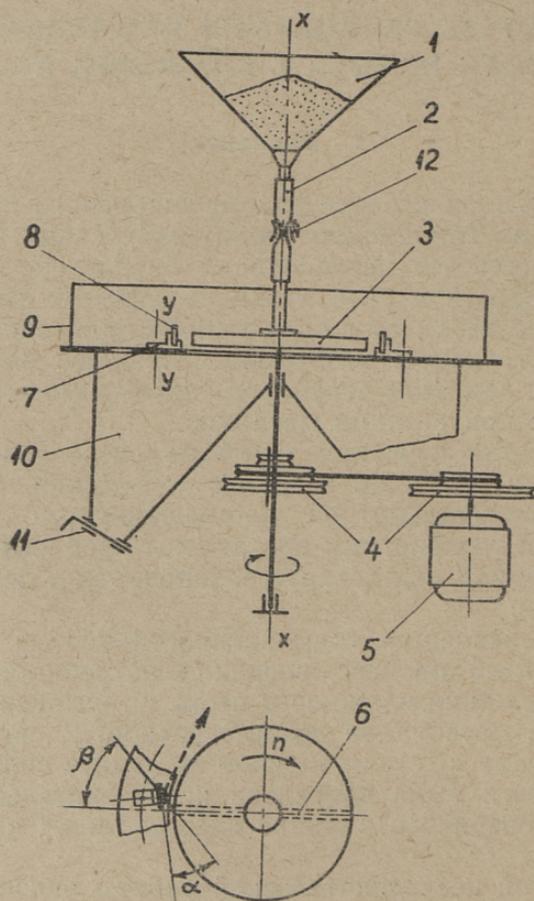
Частью этой исследовательской работы является излагаемая здесь работа, выполненная при участии студента Х. Хендере.

2. Испытательная установка и методика исследования

Базой для проведения опытов исследовательской работы явилось наличие центробежного ускорителя абразивных частиц при кафедре «Детали машин» ТПИ.

Более подробно ускоритель описывается в литературе [1]. Схема ускорителя показана на фиг. 1.

Для испытания выделенным количеством абразива заполняется бункер 1, откуда он направляется с помощью резиновой трубки 2 в центральное отверстие рабочего колеса 3. Рабочее колесо вращается вокруг оси $x-x$ со скоростью, которая зависит от положения колеса 4 клиноременной передачи и скорости электродвигателя 5 (0,6 квт, 1425 об/мин). Передача



Фиг. 1. Схема центробежного ускорителя

дает возможность получить на рабочем колесе шесть скоростей в диапазоне 1240 ÷ 3560 об/мин.

Абразивные частицы, попавшие в центр рабочего колеса, проходят под действием центробежной силы в каналы 6 и выходят из них под углом β .

Вокруг рабочего колеса закреплены в специальных держателях 7 образцы 8. Держатели можно крепить в любом положении вокруг оси $y-y$, что позволяет изменять угол атаки абразивной струи α . Абразивные зерна, не попавшие на образцы, после рикошетов о кожух 9 падают под влиянием силы тяжести в бункер 10. Использованный песок можно по мере необходимости удалить через канал, закрываемый шибером 11.

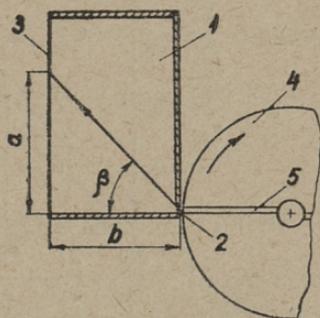
У образцов оставлена свободной только фронтальная поверхность. Для защиты всех других поверхностей от прямой абразивной струи, а также от рикошетных ударов были изготовлены специальные защитные чехлы из жести толщиной в 1,0 мм.

Для работы с влажным песком была построена новая питательная установка, которая снабжена механическим вибратором. Вибрация питательной трубки обеспечивает достаточно равномерно течение влажного песка, чем избегается засорение питательной системы.

Для определения выходной скорости зерна абразива используется формула

$$v_{\tau} = \frac{v_{\tau}}{\sin \beta},$$

где v_{τ} — линейная скорость обода рабочего колеса и β — угол выхода абразивной частицы.



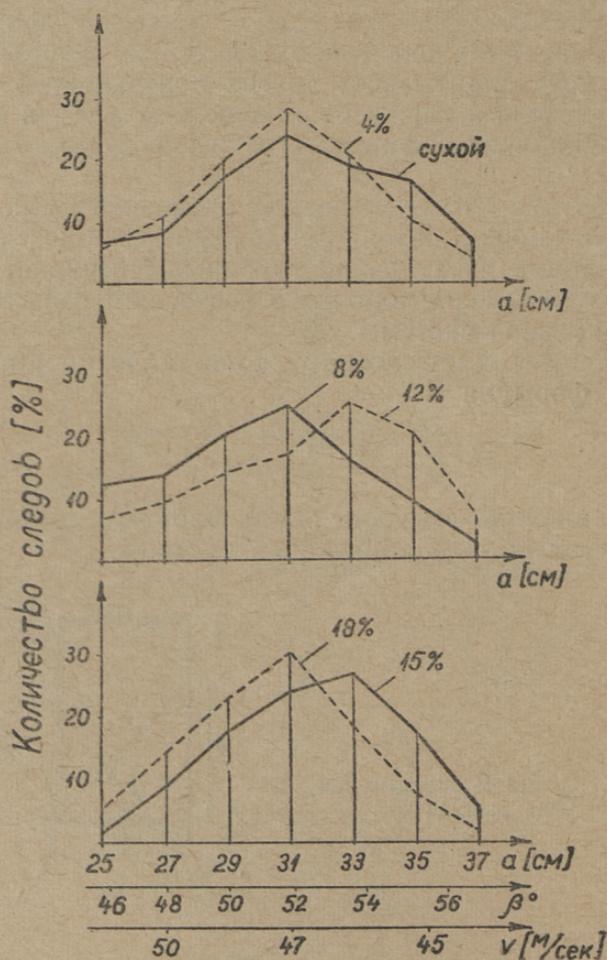
Фиг. 2. Схема к определению угла выхода

Для определения угла β при влажном песке используется измерительная установка, показанная на фиг. 2. Установка состоит из коробки 1, которая имеет в одном углу узкую про-

резь 2. На противоположной стороне прорези укреплена миллиметровая бумага 3. Частицы, вылетающие из канала рабочего колеса и попавшие в цель, пролетают некоторое расстояние и ударяются о бумагу, оставляя на ней отпечаток.

Отпечатки следов абразивных частиц на миллиметровой бумаге позволяют определить длину «а». Длина «b» по конструктивным соображениям равнялась 240 мм. Угол выхода β выражается формулой:

$$\beta = \arctg \frac{a}{b}.$$



Фиг. 3. Рассеивание выходного угла и выходной скорости при различной влажности песка. Число оборотов рабочего колеса 1775 об/мин

В опытах по определению угла выхода используется фракционный кварцевый песок крупностью $0,3 \div 0,6$ мм при скорости рабочего колеса — 1775 об/мин. Для песка с разной степенью влажности выполнены три опыта, отсчитывая следы по интервалам. Рассеивания полученных результатов показаны на фиг. 3, где по вертикальной оси показано количество следов в %, и по горизонтальной — длина «а», угол выхода β и скорость выхода v .

Как видно из фиг. 3, рассеивание скорости выхода v незначительно и от содержания влажности в песке не зависит. Зависимость между средней выходной скоростью и влажностью показана в таблице 1.

Таблица 1

Средние выходные скорости песочной струи в зависимости от влажности песка

Влажность в песке [%]	0	4	8	12	15	18	Средн.
Скорость выхода v [м/сек]	47,3	48,2	48,5	47,0	46,7	47,7	47,6

Из этих данных видно, что скорость выхода абразивной струи с достаточной точностью при всех степенях влажности песка можно считать одинаковой. Данное обстоятельство имеет большое значение, так как оно даст возможность сравнивать опытные данные, полученные с разными содержаниями влажности в песке.

Для изготовления песчаных проб с определенной влажностью применяется специальный смесительный барабан, объемом около 2,5 л. Действительная степень влажности, полученная таким методом смешивания, не отличалась от расчетной больше чем на $\pm 5\%$.

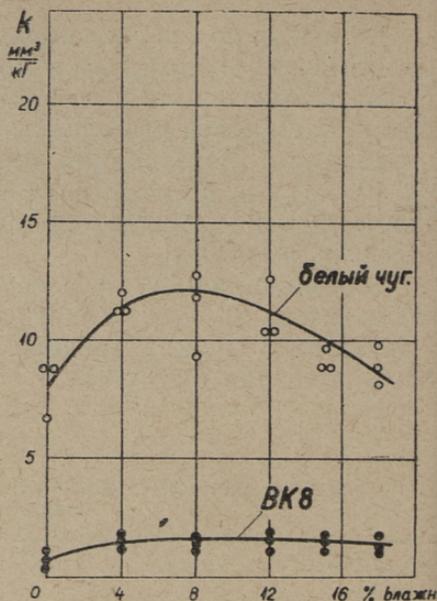
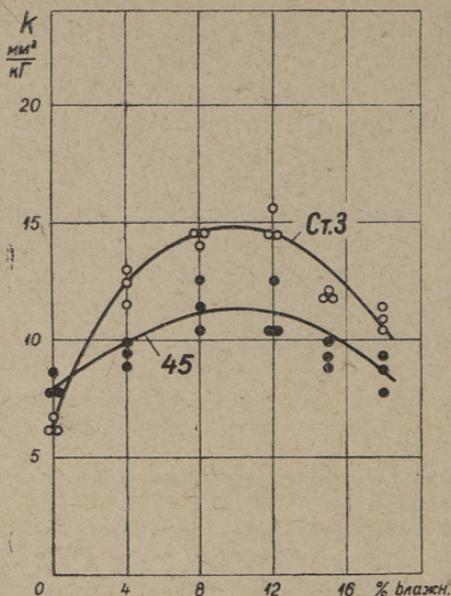
Величина износа образцов была определена взвешиванием на аналитических весах.

В остальной части методика опытов соответствует методике, изложенной в труде [1].

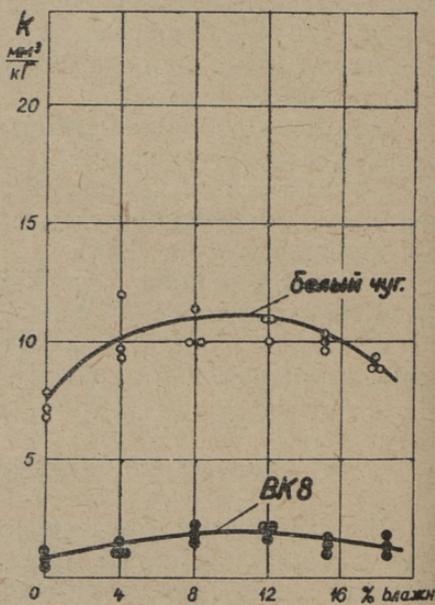
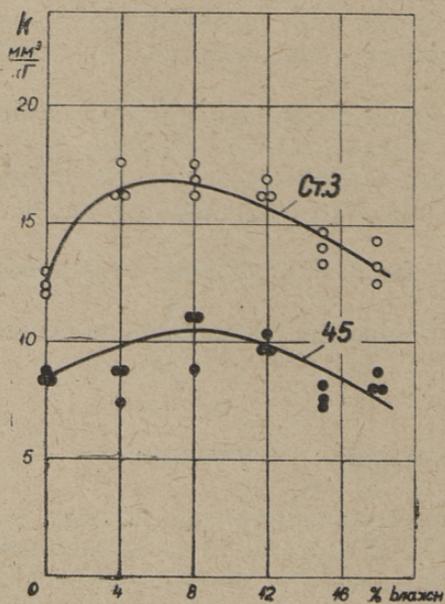
3. Условия проведения опытов и результаты их

Для проведения опытов использованы образцы из следующих материалов: стали марки Ст. 3 и сталь 45 (закаленный, $R_c = 53 \dots 58$), доэвтектический белый чугун ($R_c = 46 \dots 49$) и твердый сплав ВК8 ($R_A = 83$, $\gamma = 14,75$). Образцы имеют размеры $21 \times 21 \times 4,5$ мм.

Опыты проводились при скорости ускорения 1775 об/мин



Фиг. 4 и 5. Зависимость между интенсивностью изнашивания k и влажностью песка при угле атаки 90° при скорости удара 39 м/сек



Фиг. 6 и 7. Зависимость между интенсивностью изнашивания k и влажностью песка при угле атаки 45° при скорости удара 39 м/сек

(ответственная скорость удара — около 39 м/сек) и при углах атаки $45^\circ \div 90^\circ$. В качестве абразива использован кварцевый песок карьера «Мянику» крупностью 0,3 ... 0,6 мм при степени влажности 0,1% (сухой песок), 4%, 8%, 12%, 15% и 18%.

Чтобы иметь возможность судить об износостойкости отдельных материалов, их весовой износ пересчитывается в объемный. Под интенсивностью изнашивания k мм³/кг в данной работе понимается потеря объема образца в мм³, соответствующая одному килограмму сухого песка, попадающего на образец.

Результаты опытов приведены на фигурах 4 ... 7 и в таблице 2.

Таблица 2

Отношение максимальной интенсивности износа к интенсивности износа при сухом песке. Скорость удара — 39 м/сек

Угол атаки \ Материал	Сталь марки Ст. 3	Сталь 45 (закаленная)	Белый чугун	ВК8
45°	1,4	1,2	1,5	2,4
90°	2,4	1,4	1,5	2,4

4. Заключение

На основании проведенных опытов можно сделать следующие выводы.

1. Металлические сплавы изнашиваются в струе влажного кварцевого песка интенсивнее, чем в струе сухого кварцевого песка.

2. Максимальная интенсивность изнашивания наблюдается в струе песка со степенью влажности 8 ... 10%.

3. Отношение максимальной интенсивности изнашивания к интенсивности изнашивания при сухом песке у разных материалов разная. Самыми чувствительными по отношению к влажности оказались Ст. 3 и ВК8.

4. Самым износостойким в струе влажного кварцевого песка оказался из всех испытанных нами материалов твердый сплав ВК8 (износостойчивее чем Ст. 3 свыше 10 раз).

ЛИТЕРАТУРА

- И. Клейс. Машина для исследования изнашивания свободным абразивом. Труды ТПИ, серия А, № 152. Таллин, 1958.

УДК 621.436

Э. В. Юга,

дипломант энергетического факультета

Научный руководитель: Г. Л. Соскинд,
и. о. доцента**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ НА
ИЗНОС ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЯ 2Ч 8,5/11**

XXII съезд КПСС определил задачи дальнейшего развития транспортного машиностроения, в том числе дизелестроения. Рост парка дизелей требует резкого увеличения производства дизельных топлив и смазочных масел, что может быть осуществлено главным образом за счет переработки нефти восточных месторождений, которые характеризуются повышенным содержанием серы.

Как известно, существующие способы очистки топлива от сернистых соединений весьма сложны и удорожают себестоимость нефтяных продуктов. На ближайшее время потребителям придется считаться с необходимостью использования дизельных топлив с содержанием серы до 1%.

Перевод дизелей на сернистое топливо по ГОСТ 305-58 с содержанием серы до 1% вызвал повышенный износ деталей двигателя, увеличил нагарообразование и ускорил старение смазочного масла.

Известно также, что с понижением температуры охлаждающей воды износ деталей цилиндро-поршневой группы возрастает.

В связи с этим была поставлена задача определить влияние температуры охлаждающей воды на износ втулки цилиндров двигателя 2Ч^{8,5}/11 при работе на сернистом дизельном топливе.

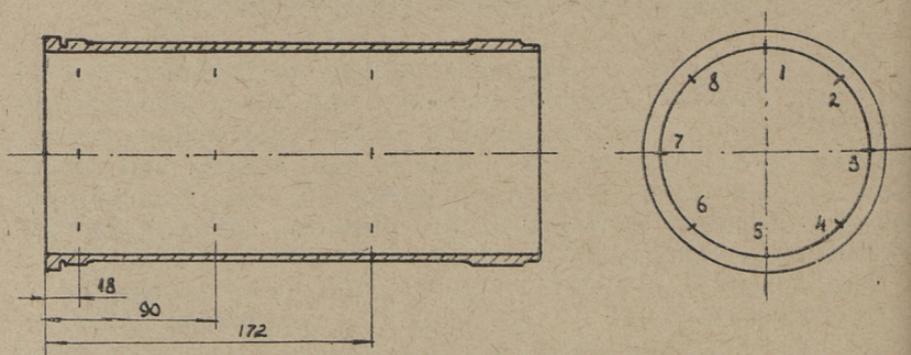
Исследование проводилось на двигателе 2Ч^{8,5}/11 мощностью $N_e = 10$ э. л. с. при $n = 1500$ об/мин., спаренного с генератором постоянного тока типа ПН-85 6,5 квт; нагрузка двигателя производилась при помощи сухого реостата.

Применялось топливо марки «Л» по ГОСТ 305-58 с содержанием серы 0,939% и для сравнения — малосернистое топ-

ливо по ГОСТ 4749-49 с содержанием 0,05% серы; смазочное масло — ДСП-11 (ГОСТ 8581-57).

Опыты велись при температуре охлаждающей воды на выходе из дизеля 40°C и 85°C ; нагрузка — 50% от номинальной и обороты поддерживались постоянными — 1500 об/мин; длительность испытаний составляла 100 часов работы. Тепловой режим двигателя поддерживался постоянным и контролировался замером температуры штатными приборами.

Оценка результатов испытаний производилась по износу втулок цилиндров, который устанавливался методом нарезания втулок с помощью оптико-механического индикатора износа ОМИИ — 2, кроме того определялся износ поршневых колец и нагарообразование на поверхностях деталей дизеля, обращенных к камере сгорания.



Фиг. 1. Координаты нарезания лунок на рабочей поверхности втулок цилиндров дизеля $2\text{Ч}^{8,5}/11$

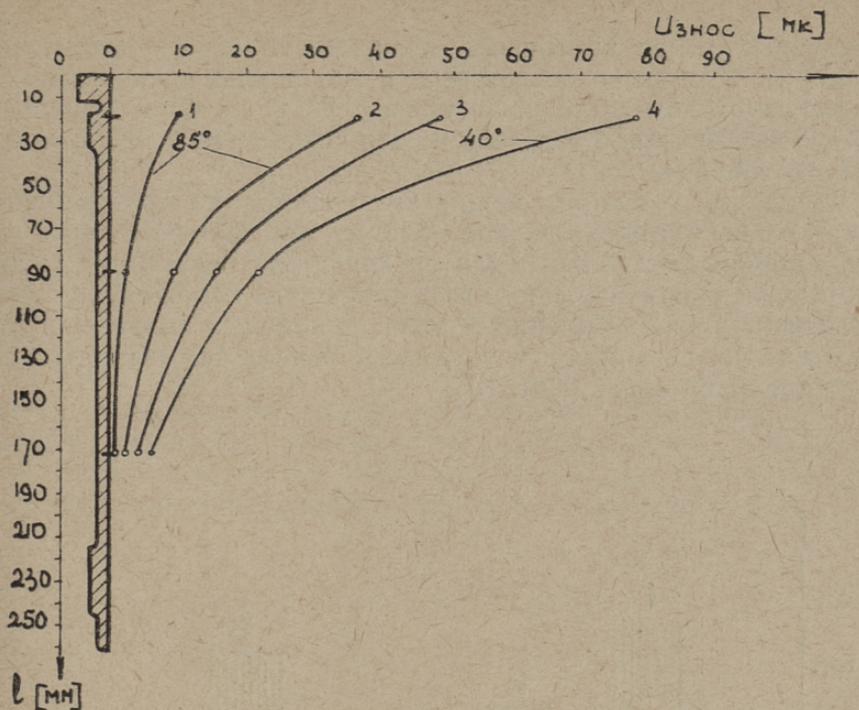
Лунки нарезались по трем поясам по высоте втулки (фиг. 1). На каждом поясе нарезалось 8 лунок.

Износ поршневых колец определялся весовым методом на аналитических весах с точностью 0,2 мг.

Нагарообразование определялось так же взвешиванием нагара, снятого с деталей после окончания опыта.

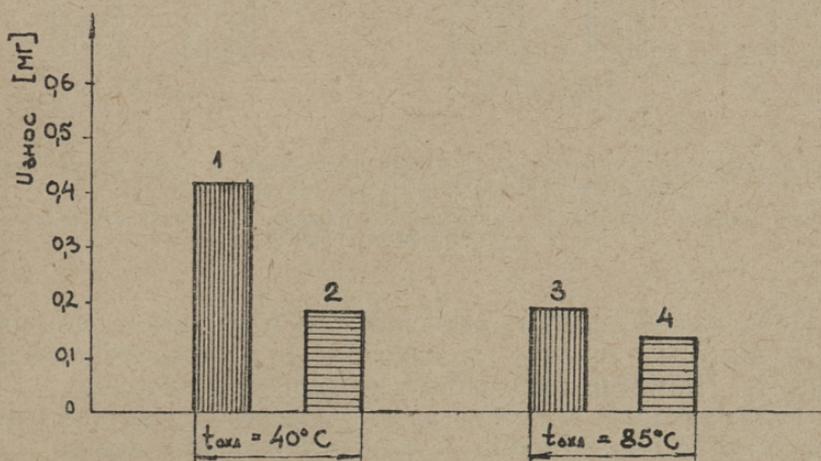
Анализ результатов испытания

Полученные результаты показывают, что наличие серы в топливе значительно повышает износ втулок цилиндров. Это объясняется тем, что с понижением температуры охлаждающей воды от 85°C до 40°C приводит к усилению конденсации водяных паров на стенках втулки и образования серной и сернистой кислот. Последнее вызывает кислотную коррозию и



Фиг. 2. Влияние температуры охлаждающей воды и содержания серы в топливе на износ втулки цилиндров дизеля 2Ч^{8,5}/11:

1 — малосернистое топливо, $t_{\text{охл. воды}} = 85^\circ \text{C}$; 2 — сернистое топливо, $t_{\text{охл. воды}} = 85^\circ \text{C}$; 3 — малосернистое топливо, $t_{\text{охл. воды}} = 40^\circ \text{C}$; 4 — сернистое топливо, $t_{\text{охл. воды}} = 40^\circ \text{C}$

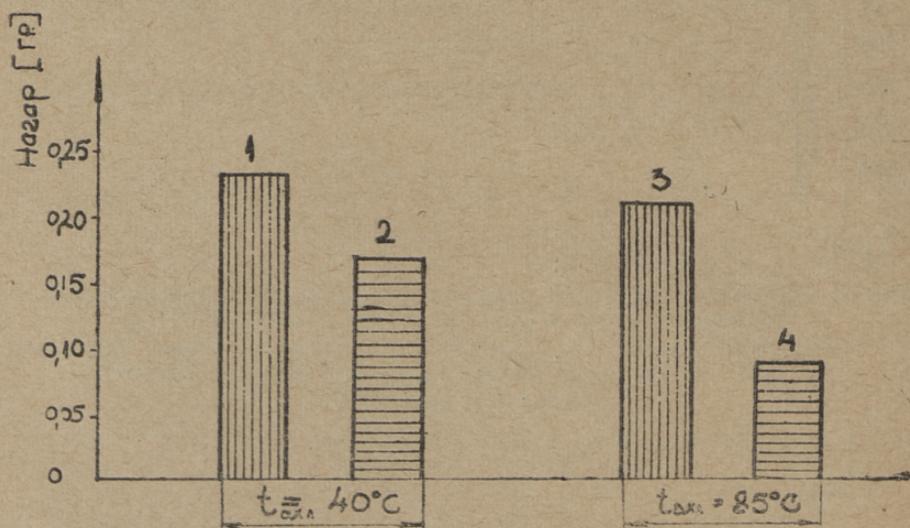


Фиг. 3. Влияние температуры охлаждающей воды и содержания серы в топливе на износ поршневых колец дизеля 2Ч^{8,5}/11:

1 — сернистое топливо, 2 — малосернистое топливо, 3 — сернистое топливо, 4 — малосернистое топливо

усиленный износ внутренней поверхности втулки цилиндра. (Фиг. 2). Как видно из кривых, износ втулки с понижением температуры охлаждающей воды с 85°C до 40°C увеличивается как при работе дизеля на сернистом, так и на малосернистом топливе.

Продукты сгорания сернистого топлива не только непосредственно усиливают износ металла, но, проникая через зазоры поршневых колец в картер двигателя, вызывают старение масла, увеличивающего в свою очередь износ втулки. Это объясняет также усиление износа поршневых колец при работе дизеля на сернистом топливе и понижении температуры охлаждающей воды (фиг. 3).



Фиг. 4. Влияние температуры охлаждающей воды и содержания серы в топливе на нагарообразование в дизеле $2\text{Ч}^{8,5}/11$:

1 — сернистое топливо, 2 — малосернистое топливо, 3 — сернистое топливо, 4 — малосернистое топливо

Проведенные опыты показали, что при работе двигателя на сернистом топливе увеличивается нагарообразование (фиг. 4). При этом при работе на сернистом топливе — нагар более твердый, что оказывает абразивное действие и усиливает износ цилиндровой втулки и поршневых колец.

Таким образом, износ втулки цилиндра двигателя $2\text{Ч}^{8,5}/11$ при работе на сернистом топливе с понижением температуры охлаждающей воды возрастает вследствие как коррозионного, так и абразивного износа.

Выводы

1. Установлено влияние температуры охлаждающей воды и содержания серы в дизельном топливе на износ втулки цилиндра двигателя 2Ч^{8,5}/11.

Увеличение содержания серы в топливе от 0,05 до 0,939%% привело к увеличению износа втулки цилиндра в 2 раза.

Понижение температуры охлаждающей воды от 85 до 40° С приводит к резкому увеличению износа втулки цилиндра двигателя 2Ч^{8,5}/11 (в 2—5 раз).

2. Для повышения моторесурса судовых двигателей при работе на сернистом топливе по ГОСТ 305-58 необходимо: перевести двигатели, имеющие проточную систему охлаждения — на замкнутую, а также применять присадки к маслам и топливу для нейтрализации вредного воздействия серы.

УДК 621.431.74

А. М. Иванов,

дипломант энергетического факультета

Научный руководитель: *П. Х. Мурель,*
доц., канд. техн. наук

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В качестве примера рассмотрим четырехтактный двигатель, т. к. тактность в данном случае принципиального значения не имеет.

Для исследования влияния глубины промежуточного охлаждения наддувочного воздуха на параметры рабочего процесса двигателя выберем значения температур t_k'' после холодильника следующим образом.

Примем четыре варианта температуры воздуха на входе в двигатель:

1. $t_k'' = 30^\circ \text{C}$, 2. $t_k'' = 15^\circ \text{C}$, 3. $t_k'' = 0^\circ \text{C}$, 4. $t_k'' = -15^\circ \text{C}$.

Величину подогрева воздуха о стенки цилиндра соответственно выбираем

$$\Delta t^\circ \text{C} = 10, 15, 20, 25^\circ \text{C}.$$

Далее принимаем следующие исходные данные для расчета:

параметры окружающей среды $p_0 = 1,033 \text{ кг/см}^2$ и $T_0 = 288^\circ \text{K}$; коэффициент избытка воздуха $\alpha_1 = 1,7$; $\alpha_2 = 1,9$.

Теплотворность топлива — $Q_H = 10000 \text{ ккал/кг}$, а так же в первом приближении; показатели политропы сжатия и расширения в цилиндре $n_1 = 1,375$ и $n_2 = 1,27$, коэффициент остаточных газов $\gamma_r = 0,02$, давление наддува $P_k = 1,5 \text{ кг/см}^2 = \text{idem}$, причем давление начала сжатия $p_a = 0,95 p_k$, а механический к.п.д $\eta_m = 0,88$ — одинаковый для всех вариантов расчета рабочего процесса.

Температуру конца сжатия T_e назначаем такую, чтобы обеспечивалось самовоспламенение топлива на всех режимах

$$T_c = 800^\circ \text{K} = \text{const.}$$

Расчет ведем по термодинамическому методу Гриневецкого-Мазинга.

Температуру начала сжатия определяем по формуле:

$$T_a = \frac{T_k'' + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} \circ K,$$

т. к. $T_k'' = \text{var}$, то следовательно и $T_a = \text{var}$.

Из формулы $T_c = T_a \cdot \epsilon^{n_1 - 1}$ определим степень сжатия ϵ :

$$\epsilon = \left(\frac{T_c}{T_a} \right)^{\frac{1}{n_1 - 1}}$$

Т. к. $T_c = \text{const}$, то очевидно, что с уменьшением температуры наддувочного воздуха должна соответственно возрастать и степень сжатия ϵ .

Аналогично находим давление конца сжатия:

$$P_c = P_a \epsilon^{n_1}.$$

Для определения P_z — давление сгорания топлива, примем в первом приближении степень увеличения давления $\lambda = 1,4$ idem и подсчитываем

$$P_z = \lambda P_c.$$

Температуру сгорания топлива t_z определим из уравнения сгорания:

$$\frac{\xi_z Q_H}{\mu(1 + \gamma_r) M_0 \alpha} + \frac{(C_v' + 1,986\lambda)t_c + 542(\lambda - \mu)}{\mu} = C_p' t_z.$$

Здесь μ — действительный коэффициент молекулярного изменения.

В этом уравнении все величины постоянны, кроме α , поэтому получим два значения температур t_z при соответствующих α (таблица 1).

Определив T_z , найдем ϱ из уравнения

$$\varrho = \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}.$$

ϱ — также будет иметь очевидно два значения (табл. 1).

Температура и давление конца расширения найдем из формул:

$$T_b = T_z \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}; \quad P_b = \frac{P_z T_b}{\delta T_z}.$$

Среднее теоретическое индикаторное давление определялось из известной зависимости:

$$P_{iT} = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\varrho - 1) + \frac{\lambda \varrho}{\pi_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta \pi_2 - 1} \right) - \frac{1}{\pi_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{\pi_1 - 1}} \right) \right]$$

При определении действительного среднего индикаторного давления принималось, что коэффициент скругления индикаторной диаграммы

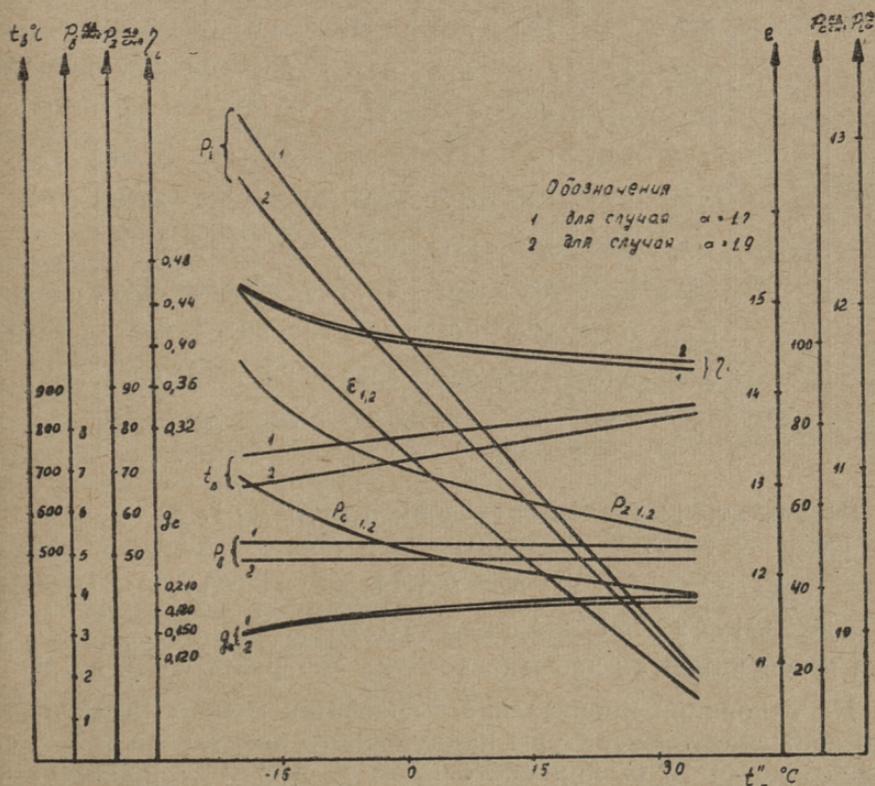
$$\varphi_n = 0.95 \text{ и } P_i = \varphi_n \cdot P_{iT}.$$

Индикаторный к.п.д. двигателя определялся из выражения

$$\eta_i = \frac{1,986 \cdot \alpha \cdot L_o \cdot P_i T_k''}{Q_H \cdot \eta_H \cdot P_k},$$

где коэффициент наполнения цилиндра

$$\eta_H = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_k} \cdot \frac{T_k''}{T_a(1 + \gamma_r)}.$$



Фиг. 1.

Обозначение	Размерность	Варианты								Примечание	
		1		2		3		4			
		$t_k'' = 30^\circ \text{C}$		$t_k'' = 15^\circ \text{C}$		$t_k'' = 0^\circ \text{C}$		$t_k'' = -15^\circ \text{C}$			
Δt	$^\circ \text{C}$	10		15		20		25		Подогрев	
α	—	1,7	1,9	1,7	1,9	1,7	1,9	1,7	1,9		
ε	—	11,20	11,20	12,20	12,20	13,30	13,30	15,50	15,150		$\eta_1 = 1,375$
η_H	—	0,96	0,96	0,93	0,93	0,90	0,90	0,87	0,87		
P_c	кг/см ²	39,50	39,50	44,44	44,44	50,0	50,0	61,70	61,70		
λ	—	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4		
P_z	кг/см ²	55,30	55,30	62,20	62,20	70,0	70,0	86,40	86,40		
t_z	$^\circ \text{C}$	1580	1480	1580	1480	1580	1480	1580	1480		
ϱ	—	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6		
δ	—	6,60	7,0	7,20	7,60	7,82	8,33	9,12	9,70		
P_b	кг/см ²	5,03	4,67	5,07	4,73	5,14	4,74	5,14	4,74	$\alpha_2 = 1,27$	
t_b	$^\circ \text{C}$	840	817	814	775	791	721	747	681		
P_{iT}	кг/см ²	11,30	10,30	11,90	10,80	12,50	11,40	14,0	12,60		
P_i	кг/см ²	10,70	9,80	11,30	10,30	11,90	10,80	13,30	11,90		
P_e	кг/см ²	242	8,62	9,94	9,06	10,47	9,50	11,70	10,50		
η_i	—	0,376	0,385	0,390	0,397	0,40	0,41	0,44	0,44		
η_e	—	0,331	0,339	0,343	0,350	0,352	0,361	0,387	0,387	$\eta_{\text{m}} = 0,88$	
g_e	$^\circ \text{C}$	0,190	0,186	0,184	0,180	0,180	0,175	0,163	0,163		
t_a	$\frac{\text{гп}}{\text{эл.с./час}}$	50	50	40	40	30	30	20	20		

Результаты вычислений сведены в таблицу 1.

На графике (фиг. 1) показаны зависимости:

$$P_c = f_1(t''_k); P_i = f_3(t''_k); t_b = f_5(t''_k); P_t = f_7(t''_k); \varepsilon = f_2(t''_k); \\ \eta_i = f_4(t''_k); P_b = f_6(t''_k); g_e = f_8(t''_k),$$

при коэффициентах избытка воздуха « α » равным 1,7 и 1,9.

На основании произведенных расчетов можно заключить, что снижение температуры наддувочного воздуха на 45° , т. е. с 30°C до -15°C , при постоянном T_c и $\alpha = 1,7$ приводит к следующим результатам.

- 1) Увеличение P_i на 25,3%, а при $\alpha = 1,9$ — на 21,4%.
- 2) Возрастание η_i на 17%, а при $\alpha = 1,9$ на 14%. При этом также увеличиваются P_d и P_z на 56,0%, а степень сжатия на 38,4%.

Вследствие охлаждения воздуха температура конца расширения понижается, причем более интенсивно при больших значениях α .

Из рассмотрения табл. 1 видно также, что при малом охлаждении заряда разность между значениями η_i при $\alpha = 1,7$ и 1,9 около 0,01, а при глубоком охлаждении ($t''_k = -15^\circ\text{C}$) значения η_i при обоих α одинаковы (табл. 1 и фиг. 1).

На основании произведенных расчетов можно считать целесообразным производить глубокое охлаждение наддувочного воздуха.

Хотя наличие специальной холодильной установки для охлаждения наддувочного воздуха несколько усложняет типовую установку, но полученные результаты расчетов подтверждают эффективность такого мероприятия. Создание такого двигателя для судовых установок, и особенно для тропического района плавания, не встречает принципиальных возражений, т. к. он будет обладать хорошими технико-экономическими показателями.

Кроме того для охлаждения заряда двигателя имеется возможность использовать более эффективные малогабаритные и легкие холодильные установки.

На таких же судах, как рефрижераторы СРТ-Р, БМРТ и т. п., имеющих мощное холодильное хозяйство, имеется реальная перспектива производить отбор холода для охлаждения наддувочного воздуха от главной холодильной установки.

Температура цикла с промежуточным охлаждением значительно ниже при $p_k = \text{const}$, чем без промежуточного охлаждения. Следовательно, возможно увеличение давления наддува или степени сжатия при сохранении теплонапряженности двигателя на прежнем уровне.

Таким образом, благодаря применению глубокого охлаждения воздуха, значительно возрастают мощность и экономичность двигателя при сохранении теплонапряженности или даже некотором снижении последнего. Так, температура газов за цилиндрами двигателя, подсчитанная без учета продувки камеры сгорания по формуле $T_r = T_b \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{k_1-1}{k_1}}$,

где $P_r = 0,9 P_k$, а $k_1 \approx 1,35$, составляет (для $\alpha = 1,7$) 791°K , при $t''_k = 30^\circ$, а при $t''_k = -15^\circ$ — 725°K . При большем зна-

чении α (1,9) разница получается еще большей — 175 и 678° К соответственно.

Вышеприведенные приближенные расчеты не являются полными и могут быть дополнены анализом других многочисленных вариантов. В процессе проектирования судового двигателя с глубоким охлаждением наддувочного воздуха естественно встретятся многочисленные трудности. Последние однако преодолены при активной помощи со стороны заводов и научно-исследовательских организаций.

УДК 668.393

Т. Л. Тенакс,
студент V курса горно-химического факультета

Научный руководитель: К. А. Каск,
доцент, доктор техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА АГАРА ИЗ КРАСНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Агар (агар-агар) является веществом со студнеобразующими свойствами, которое получается из красных водорослей. По своему химическому составу агар является кальцево-магниевой солью сернокислого эфира разных полисахаридов.

1—2% раствор агара затвердевает при температуре 35—50°, образуя прочный гель с температурой плавления 90—100°. В кислой среде уже при 60—70° происходит гидролиз агара, вследствие чего застудневающие свойства ослабляются [1].

Агар находит широкое применение во многих отраслях промышленности. В кондитерской промышленности агар используется для заготовления мармелада и зефира, в производстве мороженого как вещество, предотвращающее образование кристаллов льда в смеси, в бактериологии для изготовления питательных сред. Агар используется также в нефтяной промышленности, в косметике и т. д.

Сырьем для изготовления агара являются красные водоросли. Из красных водорослей, растущих в водах Эстонской ССР, агар содержат следующие [2]:

1) *Phyllophora brodiagi*.

Этот вид растет в наших водах мало и не имеет промышленного значения.

2) *Furcellaria fastigiata*, прикрепленная форма. Растет на камнях на дне моря и выбрасывается бурями на берег. Используется в Дании, Швеции и в ограниченном масштабе в Латвийской ССР.

Работники Лаборатории морской ихтиологии АН ЭССР в 1961—1962 гг. детально исследовали выбросы морских растений на берегах нашей республики. Ими установлено, что эти выбросы по качеству и количеству не могут служить сырьем для производства агара.

3) *Furcellaria fastigiata*, незакрепленная форма. Литературные данные об этом подвиде отсутствуют, в том числе неизвестны условия его размножения и восстановления запасов. Упомянутый подвид образует на морском дне в глубине 8—10 м свободнолежащий слой толщиной 3—10 см. В зонах его распространения другие морские растения отсутствуют и также мало развит бентос.

По данным Лаборатории морской ихтиологии АН ЭССР между островами Сааремаа и Хийумаа покрыто ровным слоем фуццелярии около 200 км² морского дна.

При этом среднее количество сырых водорослей равняется 290 г на м², что составляет в общей сумме около 60 тысяч тонн. Этот подвид можно добывать драговкой и использовать сырьем для производства агара, но приведенные данные о запасах требуют дальнейшего уточнения.

Шведский ученый Росс [3] установил, что фуццелярия содержит 10,8% сульфата и 22,7% золы от сухого вещества, и 80% от органического вещества галактозы. Автор заключает, что основной частью фуццелярии является серноокислый эфир галактана.

По существующим данным состав и свойства фуццелярии непостоянные и колеблются в широких пределах в зависимости от условий прорастания.

В промышленности агар извлекают из водорослей горячим раствором щелочи. Экстракт фильтруют, очищают от минеральных солей, цветных примесей и сушат.

Большая вязкость экстракта, получаемого из водорослей, затрудняет фильтрование. По данным Архангельской лаборатории водорослей вязкость водяных растворов, полученных из фуццелярии, заготовленной в разные времена, колеблется в больших пределах. Повидимому в определенные времена года фуццелярия содержит неизвестные органические вещества, растворы которых обладают большой вязкостью. Теми же авторами выяснено, что предварительная термическая обработка водорослей в течение часа при температуре 120° значительно уменьшает вязкость экстрактов, но заметно не влияет на прочность геля. Повидимому мешающие органические вещества необратимо коагулируются при термической обработке [4].

Выяснено, что наилучшей средой для экстракции является слабый раствор едкого калия [5].

Очистка растворов агара возможна адсорбционным способом, с помощью активированного угля КАД, как это делается на Одесском Агарном заводе при очистке агаройдных растворов, а также хлорированием.

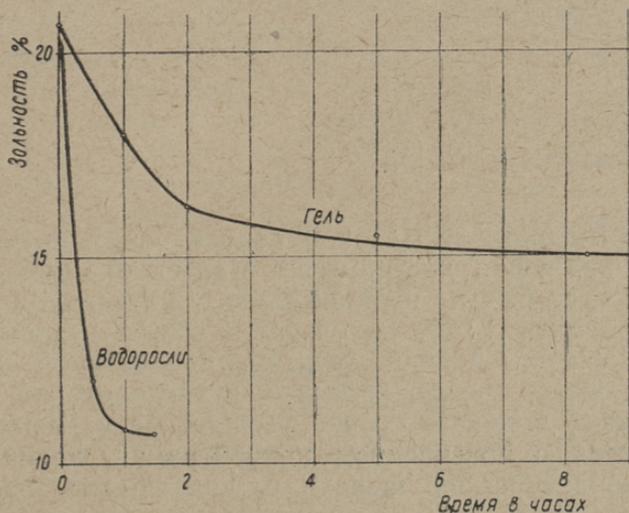
В Воронежском государственном университете исследована очистка растворов агара методом ионного обмена. Опыты показали, что при помощи катионита КУ-2 и анионита ЭДЭ-10 можно получить продукт, имеющий минимальную зольность, но обладающий некоторой окраской [6].

Задачей настоящей работы являлось выяснение возможностей получения агара из незакрепленной формы фурцелярии Балтийского моря и разработка оптимальных условий производства.

Экспериментальная часть

Нами исследованные водоросли были получены в октябре 1962 г. с глубины 8 м между островами Сааремаа и Хийумаа. Водоросли высушивались сразу после получения, сначала при комнатной температуре, а затем при температуре 50°. Полученный материал имел следующие показатели:

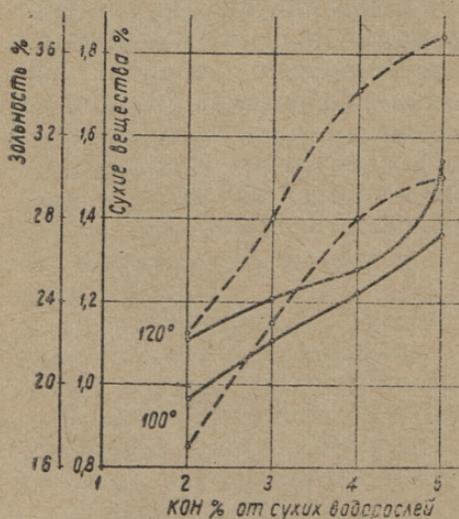
влажность воздушносухих водорослей 14%,
содержание золы в % от сухого вещества 20,7%,
содержание водно-экстрагирующихся веществ,
в % от сухого вещества 50,1%,
в том числе органических веществ 39,1%.



Фиг. 1. Зависимость зольности водорослей и геля от времени промывки

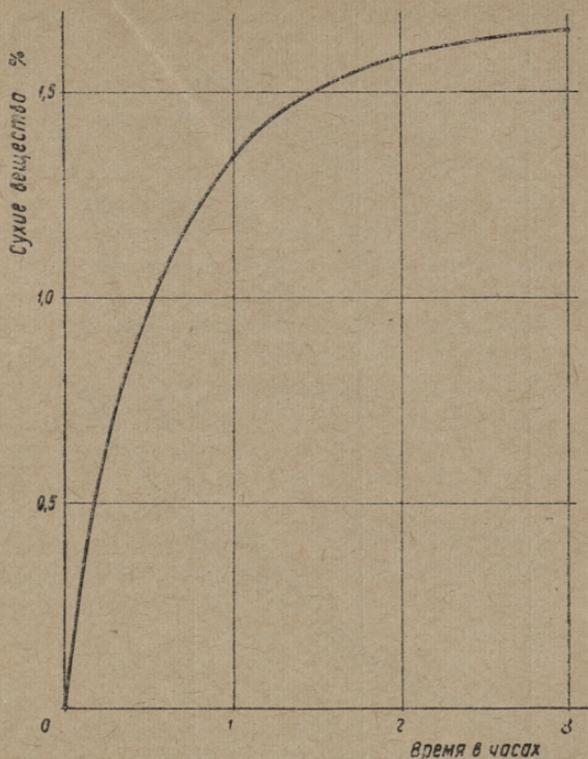
Во всех опытах водоросли подвергались предварительной обработке при 120° в течение 1 часа.

Для уменьшения зольности растворов агара требуется промывка водорослей. Нами были проведены опыты по выяснению необходимого времени промывки. Опыты проводились в следующих условиях: температура промывной воды 10° , соотношение веса воздушносухих водорослей и воды (гидромодуль) 1:20. Воду меняли через каждые 15 минут. Полученные результаты изображены на фиг. 1. Оттуда видно, что почти равновесное количество золы достигается при продолжительности промывки, равной 1 часу. Но основное количество минеральных солей выделяется уже в течение 30 минут и это время можно считать достаточным для промывки. При всех следующих опытах водоросли были промыты в описанных условиях в течение 30 минут.



Фиг. 2. Зависимость зольности и содержания сухих веществ от концентрации едкого калия при экстракции:
— зольность
--- сухие вещества

Для выяснения оптимальной концентрации щелочи были проведены две серии опытов: одна в автоклаве при давлении 1 *ати* (120°), другая на водяной бане. Гидромодуль при всех опытах равнялся 1:20. Результаты опытов приведены на фиг. 2. Из фигуры 2 видно, что при автоклавной обработке получается выход сухого вещества в экстракте на 20—30% выше выхода, полученного на водяной бане. Выход агара увеличивается с повышением концентрации щелочи. Оптимальной концентрацией щелочи можно считать 4% от воздушно-сухих водорослей. Дальнейшее повышение концентрации нежелательно, так как это увеличивает зольность без существенного увеличения выхода.

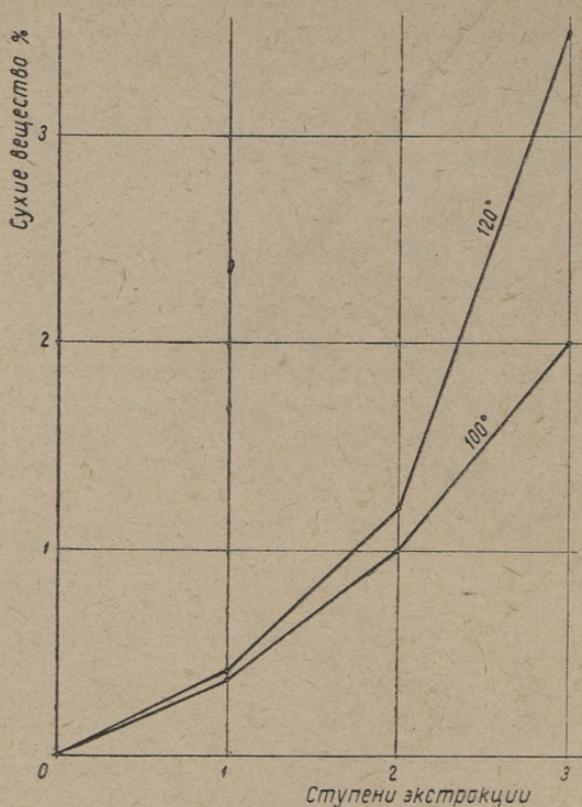


Фиг. 3. Выход сухих веществ в зависимости от времени экстракции

При оптимальной концентрации щелочи была исследована кинетика перехода агара в раствор. Опыты были проведены на водяной бане с гидромодулем 1:20. Результаты этих опытов приведены на фиг. 3. Как видно по фигуре 3, основное количество сухого вещества экстрагируется уже в течение 1 часа. Это объясняется структурой водорослей. Известно, что агар размещается во внешнем слое стенок клеток.

Полученные экстракцией растворы содержат значительное количество минеральных веществ, содержание которых нежелательно. Уменьшения зольности можно достигнуть промывкой измельченного геля. Промывать можно только прочный гель, с содержанием сухих веществ 3—4%. При меньших концентрациях гель из-за набухания теряет свою прочность и увеличиваются механические потери.

Для получения экстракта соответствующей концентрации проводили трехкратную экстракцию водорослей по принципу противотока с гидромодулем 1:20. Время каждой экстракции равнялось 1 часу. Щелочь в количестве 4% от воздушно-сухих водорослей добавлялась в два приема — половина при первой и половина при третьей экстракции. Результаты опытов изображены на фигуре 4. Опыты показали, что при



Фиг. 4. Выход сухого вещества при трехкратном противоточном экстрагировании

экстракции на водяной бане конечная концентрация сухого вещества в экстракте равняется 2%, что недостаточно. Экстракция при 120° дает экстракт с достаточным содержанием сухого вещества — 3,5%. Видно также, что основное количество сухого вещества выделяется на последней ступени экстракции и что влияние температуры наибольшее именно на эту ступень.

При трехкратной экстракции при температуре 120° выход агара составляет 38% от сухих водорослей, в том числе органического вещества 29%.

При остывании экстракт застудневает. Студень размельчался в пластинки толщиной 3 мм и промывался в протекающей воде при температуре 10°. Выяснилось, что существенно проводить промывку при низкой температуре, так как при более высокой температуре гель сильно набухает и потери увеличиваются. В течение промывки каждый час определялось содержание сухого вещества и зольности геля. После 8 часов зольность уменьшилась до 15% и в дальнейшем уже мало изменялась (фиг. 1). Основная часть минеральных со-

лей выделилась уже за два часа. Этот срок промывки можно считать целесообразным.

Полученные растворы агара имеют темно-коричневый цвет. Было исследовано обесцвечивание полученных растворов. Первые опыты проводились с активированным углем КАД. Количество угля в опытах равнялось 50, 75, 100, 150 и 200% от сухого вещества в растворе, время обработки 10, 20, 30 и 40 минут, температура 70—100°. После обработки растворы фильтровались и изменение окраски наблюдалось визуально. Опыты не дали положительных результатов: цвет экстракта оставался во всех опытах желтовато-коричневым.

В других опытах исследовалось хлорирование. Хлор разрушает молекулы агара и поэтому его концентрация не может быть слишком высокой. В результате опытов выяснилось, что оптимальная концентрация активного хлора равняется 0,3 г на литр воды, при весовом соотношении гель/вода 1 : 3. В таких условиях время хлорирования составляло 1 час.

В дальнейшем необходимо устранить избыток хлора из геля, так как в противном случае при сушке молекулы агара разрушаются и прочность геля сильно уменьшается. Для определения требуемого времени промывки проведены следующие опыты. Применялась промывная вода с температурой 10° при соотношении гель/вода 1 : 3. Вода менялась каждый час и определялось количество хлора в промывной воде. Выяснилось, что требуемое время промывки составляет не менее 8 часов.

Промытый гель высушивался на водяной бане. Выход агара с зольностью 15% и влажностью 12% составлял 18% от абсолютно сухих водорослей. Полученный агар имеет серовато-желтый цвет и дает в воде прозрачные растворы.

Свойства агара, полученного из фурцелярии, похожи, с одной стороны, на свойства агаройдов; экстрагирование в среде КОН, значительная зольность, низкая температура плавления. С другой стороны, полученный продукт имеет свойства агара: прочность геля, высокая температура застудневания раствора.

Свойства 1% геля:

прочность по Валенти 150 г,
температура плавления 52°,
температура застудневания 35°.

Выводы

1. Выяснено, что из незакрепленной формы фуцелярии Балтийского моря можно получить студнеобразующее вещество, которое по своим свойствам занимает промежуточное положение между агаром и агаройдом.

2. Обесцвечивание растворов агара активированным углем КАД не дает положительных результатов. Гель можно обесцвечивать хлорной водой.

3. На основе опытов рекомендуется следующая технология производства агара.

I Термическая обработка сырья при температуре 120° в течение 1 часа.

II Двухкратная промывка по 15 минут.

III Трехкратное противоточное экстрагирование в автоклаве при давлении 1 *ати* с продолжительностью каждой экстракции 1 час, с прибавкой едкого калия в количестве 4% от воздушно-сухих водорослей.

IV Фильтрование экстракта.

V Охлаждение фильтрата до образования студня.

VI Измельчение студня.

VII Промывка студня водой в течение 2 часов.

VIII Обесцвечивание хлорной водой концентрацией 0,03% в течение 1 часа.

IX Промывка для удаления остаточного хлора не менее 8 часов.

X Просушка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roy Lester Whistler and Charles Louis Smart. Polysaccharide Chemistry. Ac. Press, inc. N. Y., 1953.
2. Т. Пуллисаар. Рыбн. пром. 1, 1963.
3. В. В. Рожина. Технология получения студнеобразователя («агара») из фуцелярии. СевНИИП, 1960.
4. В. В. Лукачев. Технология получения студнеобразователя («агара») из фуцелярии. СевНИИП, 1961.
5. А. Л. Соколовский. Технология кондитерского производства. Пищепромиздат, М., 1959.
6. В. П. Мелешко. Изучение возможности и условий применения ионитовых смол для очистки маннита и агар-агара, добываемых из морских водорослей. Воронеж, 1961.

УДК 66.063.72

М. О. Вяги,
дипломант горно-химического факультета

Научный руководитель: *А. Я. Аарна,*
проф., доктор техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА БАЗЕ ФЕНОЛОВ СЛАНЦЕВОЙ ПОДСМОЛЬНОЙ ВОДЫ

Интенсивное развитие промышленности пластических масс вызвало необходимость изыскания новых средств для пластификации полимерных материалов.

В литературе [1, 2] опубликованы данные о применении как простых так и сложных эфиров фенолов (в том числе и производных резорцина) в качестве пластификаторов высокомолекулярных соединений.

Целью настоящей работы было изучить возможности синтеза эфиров и сложных эфиров на базе водорастворимых фенолов термической переработки горючих сланцев Эстонской ССР и их применения в качестве пластификатора для поливинилхлорида.

Основными составными частями фенолов сланцевой подсмольной воды являются производные резорцина, моно-, ди-, трирезорцины [3].

Синтезировался ряд диэфиров (диметилловый, диэтиловый, дипропиловый, дибутиловый, дигексиловый) алкилированных двухатомных фенолов и сложный эфир — диацетат двухатомных фенолов.

В качестве сырья для синтезов использовались товарные суммарные фенолы подсмольной воды Сланцеперерабатывающего комбината им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве, соответствующие техническим условиям СНХ ЭССР ЭРТУ 804-60. Из них при лабораторной вакуумной перегонке (при остаточном давлении 20 мм рт. столба) отделялась фракция с пределами кипения при атмосферном давлении 270—320° С, выход которой составлял 70% от исходных фенолов.

Полученная фракция двухатомных фенолов представляла собой высоковязкую жидкость желтого цвета, при хранении

которой некоторая часть выкристаллизовывалась.
Свойства фракции приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика фракции двухатомных фенолов

Показатель	Величина
Элементарный состав, %	
С	70,03
Н	7,22
О	22,75
S	следы
Содержание гидроксильной группы (определено ацетилизацией), %	22,72
Молекулярный вес	140
Фракционный состав, объемн. %:	
начало кипения, 271° С	
выкипает до, 275° С	5
280° С	10
285° С	30
290° С	72
295° С	83
300° С	89
конец кипения, 318° С	98

В качестве остальных компонентов, за исключением двухатомных фенолов, служили химически чистые продажные препараты.

Исходя из предположения, что фракция двухатомных фенолов состоит главным образом из диметилрезорцинов, при синтезах применялись методы, подобные методам получения соответствующих соединений резорцина.

Диэтиловый, дипропиловый, дибутиловый и дигексиловый эфиры двухатомных фенолов синтезировались при помощи соответствующих алкилбромидов в присутствии 25%-ного водного раствора гидроокиси калия по методике, разработанной Е. Кларманном с сотрудниками [4] при синтезе моноэфиров резорцина. Во всех синтезах использовались следующие соотношения исходных компонентов — двухатомные фенолы: алкилбромид : КОН = 1 : 2,5 : 2,2 (в молях).

Синтезы проводились в круглодонной колбе, снабженной мешалкой, термометром, обратным холодильником и капельной воронкой. Смесь двухатомных фенолов и алкилбромида нагревалась до температуры кипения бромида и в течение трех часов по каплям добавлялся раствор гидроокиси калия. После добавления всей щелочи реакционная смесь выдерживалась в течение двух часов при температуре кипения. Продукт реакции отделялся после охлаждения путем экстраги-

рования смеси серным эфиром. Эфирный экстракт промывался водой до нейтральной реакции и сушился хлористым кальцием. Эфир отгонялся и продукт перегонялся в вакууме при 20 мм рт. столба.

Метилловый эфир двухатомных фенолов изготовлялся взаимодействием диметилсульфата с фенолами методом Виллиамсона [5]. Применялись следующие соотношения исходных компонентов (в молях) — двухатомные фенолы: диметилсульфат: NaOH = 1 : 2,5 : 2,5.

Двухатомные фенолы со щелочью поддерживались при постоянном перемешивании при 40°С до получения гомогенной смеси. Затем добавлялся диметилсульфат при температуре 70—80°С. Отделение продукта реакции проводилось как описано выше.

Ацетилируемость двухатомных фенолов подсмольной воды горючих сланцев известна по соответствующему способу определения гидроксильной группы. Для изготовления диацетата двухатомных фенолов применялось ацетилирование уксусным ангидридом в присутствии серной кислоты [5].

Для синтеза брались двухатомные фенолы и уксусный ангидрид в молярном соотношении 1 : 2,5. К двухатомным фенолам в колбу при постоянном перемешивании добавлялся смесь уксусного ангидрида с катализатором. Температура реакционной смеси после добавления уксусного ангидрида поддерживалась в пределах 70—80°С в течение одного часа. После остывания реакционной смеси последняя выливалась на лед, свободная кислота нейтрализовалась бикарбонатом натрия, а образовавшийся диацетат экстрагировался серным эфиром. Готовый продукт перегонялся.

Таблица 2

Характеристика синтезированных продуктов

Наименование	Пределы кип. при остат. давлении 20 мм рт. ст., °С	Выход от фенолов, %	Содержание ОН, %
Диметилловый эфир двухат. фенол.	118—153	107	2,38
Диэтиловый " " "	134—171	128	3,3
Дипропиловый " " "	143—192	147	5,1
Дибутиловый " " "	167—205	150	6,25
Дигексилловый " " "	209—249	130	7,9
Диацетат " " "	147—158	121	0

Содержание свободной гидроксильной группы (определено ацелированием в пиридине) в полученных продуктах приведено в таблице 2.

Конденсация в примененных условиях синтеза диэфиров двухатомных фенолов протекает неполностью. Она протекает тем лучше, чем меньше количество углеродных атомов в алкильной группе эфира.

В целях получения стабильных продуктов, которые не окислялись бы в воздухе, необходимо обеспечить блокирование свободных гидроксильных групп. Это совершилось при помощи дополнительного ацелирования. Полученные после ацелирования продукты перегонялись в вакууме. Получились слабозелтые маслянистые продукты удельного веса 0,98—1,09 с приведенными в таблице 3 пределами кипения.

Таблица 3

Пределы кипения пластификаторов

Главный компонент продукта		Пределы кипения при остаточном давлении 20 мм рт. ст., °С
Диметилловый	эфир двухат. фенолов	127—162
Диэтиловый	„ „ „	139—182
Дипропиловый	„ „ „	147—190
Дибутиловый	„ „ „	165—217
Дигексиловый	„ „ „	209—245

Пластифицирующая способность полученных продуктов определялась приготовлением винипласта из поливинилхлорида игелит марки «Г». При изготовлении винипласта применялись поливинилхлорид и пластификатор в весовом соотношении 1 : 0,7 без наполнителя и стабилизатора.

Смесь поливинилхлорида и пластификатора выдерживалась в термостате при температуре 140—150° С в течение одного часа. Таким же образом изготовлялся пластифицированный дибутилфталатом винипласт, который служил для сравнения.

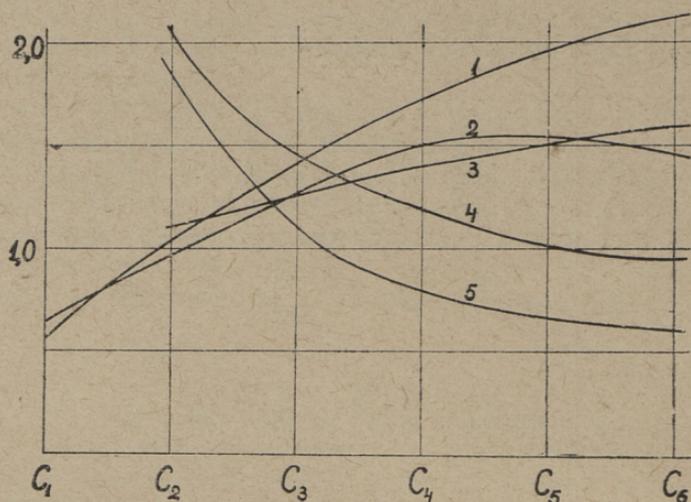
Вырезанные из больших кусков образцы винипласта с размерами 14×10×4 мм испытались на изгиб и удар при различных температурах на аппарате Динстат (№ 622/60/39). Удлинение и предел прочности при растяжении были определены на установке, предусмотренной для определения механических свойств бумажных изделий.

Вычисленные механические свойства пластифицированно-

Механические свойства пластифицированного поливинилхлорида

Пластификатор	Предел прочности при растяжении	Модуль упругости	Относ. удли. при разрыве	Относ. остат. удли.	Удельная ударная вязкость		Предел прочности при изгибе	
					при комн. темп.	10° С	при комн. темп.	10° С
Дибутилфталат Диацетат двухатомных фенолов	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,14	0,98	2,16	2,37	2,40	5,0	1,21	1,23
Диметиловый эфир двухат. фенолов	—	—	—	—	0,40	0,61	0,65	0,57
	2,04	1,11	1,83	2,33	1,89	1,85	0,94	1,02
Дипропиловый эфир двухат. фенолов	1,39	1,27	1,09	0,47	2,40	3,20	1,25	1,41
	1,22	1,40	0,80	0,48	2,83	4,10	1,51	1,72
Дигексиловый эфир двухат. фенолов	0,98	1,60	0,61	0,50	2,47	4,26	1,46	2,15

го винипласта приведены в таблице 4. Данные выражены в виде относительных величин по сравнению с пластифицированным дибутил-фталатом-винипластом.



Фиг. 1. Зависимость свойств винипласта от длины углеводородного радикала пластификатора:

1 — предел прочности при изгибе при 10°C; 2 — предел прочности при изгибе при комн. темп.; 3 — модуль упругости; 4 — предел прочности при растяжении; 5 — относительное удлинение при разрыве

Наилучшие пластифицирующие свойства имеет пластификатор, содержащий главным образом дипропиловый эфир двухатомных фенолов (см. фиг. 1). При определении летучести пластификатора (ГОСТ 8728-58) выяснилось, что вышеупомянутый пластификатор обладает слишком высокой летучестью (0,53%) и поэтому неприменим. Более пригодным является пластификатор на базе дибутилового эфира двухатомных фенолов (летучесть 0,45%).

Необходимо однако учитывать, что предпочтение следует отдавать только такому диэфиру, в котором содержится минимальное количество ацетилгрупп.

Для выяснения характера распределения свободных гидроксильных групп в синтезированных диэфирах двухатомных фенолов, дибутиловый эфир подвергался фракционной перегонке при остаточном давлении 40 мм рт. ст. Определение гидроксильных групп в полученных при перегонке фракциях показало, что таким образом невозможно получить продукт, не содержащий гидроксильных групп.

Далее была исследована зависимость содержания гидроксильных групп дибутилового эфира двухатомных фенолов

от молярных соотношений исходных компонентов и продолжительности реакции.

Результаты проведенных серий опытов показали, что избыток алкилбромида способствует образованию эфира. Резкое снижение содержания гидроксильных групп наблюдается до применения 2,5-кратного избытка бутилбромида, при дальнейшем повышении количества галоида содержание гидроксильной группы уменьшается уже незначительно. Влияние продолжительности реакции и избытка щелочи незначительно.

Исходя из полученных результатов найдено, что при изготовлении дибутилового эфира двухатомных фенолов сланцевой подсмольной воды целесообразно применять следующую рецептуру: на 1 моль фенолов 3 моля алкилбромида и 2,5 моля гидроокиси калия. Продолжительность реакции равна 5 часам.

При таких условиях получился дибутиловый эфир двухатомных фенолов, содержащий 3,14% гидроксильных групп.

Выводы

1. Двухатомные фенолы подсмольной воды переработки горючих сланцев пригодны для этерификации органическими галоидами.

2. Синтезированные диэфиры двухатомных фенолов обладают хорошими пластифицирующими свойствами для поливинилхлорида и могут быть использованы для приготовления пластических масс, отвечающих различным требованиям.

3. Найдены оптимальные условия для лабораторного способа изготовления дибутилового эфира двухатомных фенолов подсмольной воды горючих сланцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Thinius. *Chemie, Physik und Technologie der Weichmacher*. Leipzig, 563 (1960).
2. Kirk-Otmer. *Encyclopedie of Chem. Technology*, Vol. XI, 717 (1953).
3. Б. И. Иванов, Н. Ф. Шаронова. *Труды ВНИИПС*, вып. 2, 164 (1954).
4. E. Klarmann, L. W. Gathyas and V. A. Shternov. *J. Amer. Chem. Soc.*, 53, 3391 (1931).
5. Lasser-Cohn. *Arbeitsmethoden für organische-chemische Laboratorium*, 1923.

УДК 661.634

А. Ю. Ваарма,
студент V курса горно-химического факультета
Научный руководитель: *М. А. Вейдерма,*
— доц., канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ЭСТОНСКИХ ФОСФОРИТОВ

Современный этап производства минеральных удобрений характеризуется резким увеличением выпуска наиболее концентрированных видов удобрений. Промежуточным продуктом производства многих концентрированных удобрений (двойной суперфосфат, аммофос и др.) является фосфорная кислота. Последняя может быть выработана путем разложения природных фосфатов растворами серной кислоты (экстракционный способ) или электротермическим способом.

До настоящего времени в СССР сырьем для производства фосфорной кислоты служат апатитовый концентрат и фосфориты Кара-Тая [1, 2]. Внедрение флотационного метода обогащения эстонских фосфоритов создает предпосылки для применения последних в производстве фосфорной кислоты. Учитывая относительно напряженный баланс электроэнергии и дороговизну на Северо-Западе СССР, предпочтительным в этом районе следует считать экстракционный способ [3].

Способы и показатели получения фосфорной кислоты из эстонских фосфоритов еще не исследованы. Следует учесть, что концентраты эстонских фосфоритов в отличие от других фосфоритов СССР имеют более низкое содержание примесей, вредных для кислотной переработки, в частности R_2O_3 и MgO . Также соотношение $CaO : P_2O_5$, определяющее величину расхода кислоты для разложения фосфатов, является для эстонских фосфоритов наиболее низким [4].

Целью настоящей работы являлось определение основных показателей получения фосфорной кислоты из эстонских фосфоритов и представление ориентировочной техно-экономической оценки ее производства. В качестве сырья использован

камерный продукт катионной флотации фосфоритной руды Маардуского месторождения, полученный из института «Механобр». Для получения сравнительных данных проведены некоторые параллельные опыты с апатитовым концентратом. Химический и гранулометрический состав сырья приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химический и гранулометрический анализ сырья, в %

Назначение компонента или гранулометрического класса	Эстонский флотационный концентрат	Апатитовый концентрат
P ₂ O ₅	32,9	39,4
CaO	48,6	52,0
R ₂ O ₃	3,18	1,0
CO ₂	4,38	—
F	2,97	3,17
+ 80 меш	11,35	5,10
— 80 + 100 „	10,10	3,90
— 100 + 150 „	29,90	13,60
— 150 + 200 „	0,55	1,25
— 200 „	47,10	75,00

Исследования проводились в условиях периодической экстракции по дигидратному режиму, т. е. осаждением дигидрата сульфата кальция. Во всех опытах применяли 75% серную кислоту и раствор разбавления, содержащий 18% H₃PO₄. Соотношение жидкой и твердой фазы в экстракционной пульпе было принято Ж : Т = 4 : 1. 50 г фосфата смешивали с реагентами в фарфоровом стакане, снабженном мешалкой и установленном на водяной бане. Сперва в стакан наливали раствор разбавления, подогретый до температуры на 20° ниже заданной для опыта. Затем в стакан медленно засыпали фосфат и наливали отмеренное количество серной кислоты. По окончании опыта пульпу переносили на фарфоровую воронку и фильтровали под вакуумом. Осадок фосфогипса промывали водой и анализировали. Анализ подвергались также полученная фосфорная кислота и промывные воды. Методика анализов заимствована из литературы [5—7].

Всего было проведено три серии опытов. В первой серии было изучено влияние температуры экстракции на разложение фосфата, фильтрацию и промывку фосфогипса. В этих опытах применялась стехиометрическая норма серной кислоты, рассчитанная по содержанию CaO в фосфате. Время

Таблица 2

Влияние температуры на изготовление фосфорной кислоты

Сырье и температура экстракции	К-во фосфорной кислоты, <i>мл</i>	Уд. вес фосфорной кислоты, <i>г/см³</i>	Состав фосфорной кислоты, %		Состав фосфогипса, %				Содержание P_2O_5 в промывной воде, %	Время фильтрации, <i>мин</i>	Коэффициент разложения, %	
			P_2O_5	SO_3	P_2O_5 общ.	P_2O_5 водораст. вор.	CaO	SO_3				H_2O гигр.
Фосфоритный концентрат, 55°	72	1,275	25,3	0,322	14,95	14,50	30,2	42,8	43,5	36	99,2	
" " 70°	25	1,270	36,4	0,698	4,18	4,10	35,1	50,0	50,7	37	99,7	
" " 80°	25	1,300	37,8	1,098	3,52	2,38	35,5	51,8	39,5	30	100,0	
Апатитовый концентрат, 55°	67	1,240	22,4	—	11,18	10,31	33,9	42,7	51,2	30	88,2	
" " 70°	36	1,341	34,1	0,478	12,95	10,60	32,3	40,8	41,4	40	88,4	

экстракции было принято 3 часа, для промывки осадка было использовано 75 мл воды.

Результаты опытов приведены в таблице 2. Коэффициент разложения фосфата $K_{\text{разл}}$ рассчитывали по уравнению [6]

$$K_{\text{разл}} = \frac{0,7}{\text{CaO}/\text{SO}_3} \cdot 100,$$

в котором CaO и SO₃ означают содержание этих компонентов в фосфогипсе.

Из данных таблицы 2 следует, что повышение температуры содействует разложению фосфата, но в небольшой степени.

Микроскопическое исследование фосфогипса показало, что повышение температуры экстракции приводит к укрупнению образовавшихся кристаллов.

Во второй серии опытов главное внимание было уделено изучению скорости разложения фосфатов и полноте промывки фосфогипса. Разложение проводилось в течение 3 часов при температуре 70° и с применением нормы серной кислоты 105% от стехиометрической. Для определения зависимости коэффициента разложения фосфата от времени взаимодействия из смесителя отбирались пробы пыли, которые отфильтровывались и анализировались на содержание CaO и SO₃ в твердой фазе. Оставшийся к концу опытов фосфогипс также отфильтровывался и промывался трижды водой, приняв на грамм фосфогипса 1,2 мл воды при каждой промывке.

По данным анализов были рассчитаны [6, 8]:

а) коэффициент извлечения P_2O_5 в раствор

$$K_{\text{извл}} = 100 - \frac{/(P_2O_5_{\text{общ}}) - (P_2O_5_{\text{водор}})/\Gamma}{(P_2O_5_{\text{фосф}})} 100;$$

б) коэффициент эффективности отмывки фосфогипса

$$K_{\text{отм}} = 100 - \frac{(P_2O_5_{\text{водор}})\Gamma}{(P_2O_5_{\text{фосф}}) \cdot K_{\text{извл}}} 100;$$

в) коэффициент технологического выхода

$$K_{\text{вых}} = \frac{K_{\text{извл}} K_{\text{отм}}}{100}.$$

В приведенных формулах $(P_2O_5_{\text{общ}})$, $(P_2O_5_{\text{водор}})$ и $(P_2O_5_{\text{фосф}})$ означают соответственно содержание общей и водорастворимой P_2O_5 в фосфогипсе и P_2O_5 в исходном фосфате, Γ — гипсовое число на единицу фосфата.

Таблица 3

Зависимость коэффициента разложения фосфата от времени

Время от начала опыта, мин	Содержание в твердой фазе, %				Коэффициент разложения, %	
	CaO		SO ₃			
	эстонский фосфорит	апатит	эстонский фосфорит	апатит	эстонский фосфорит	апатит
10	32,9	35,7	43,8	37,8	93,3	74,0
30	32,6		45,2		97,0	
45	34,6		48,7		98,3	
60	34,8	34,4	50,2	42,4	100,0	86,3
75	30,9		45,8		100,0	
120	32,3	33,1	48,2	42,2	100,0	89,0
180	26,8	31,8	41,8	41,2	100,0	90,7

Таблица 4

Состав сухого фосфогипса после промывки

Сырье	Содержание, %				
	P ₂ O ₅ _{общ}	P ₂ O ₅ _{водор}	CaO	SO ₃	H ₂ O _{гигр.}
эстонский фосфорит	1,15	1,02	26,8	41,8	42,7
апатит	2,15	0	31,8	41,2	40,9

Таблица 5

Анализы фосфорной кислоты, промывных вод и фосфогипса

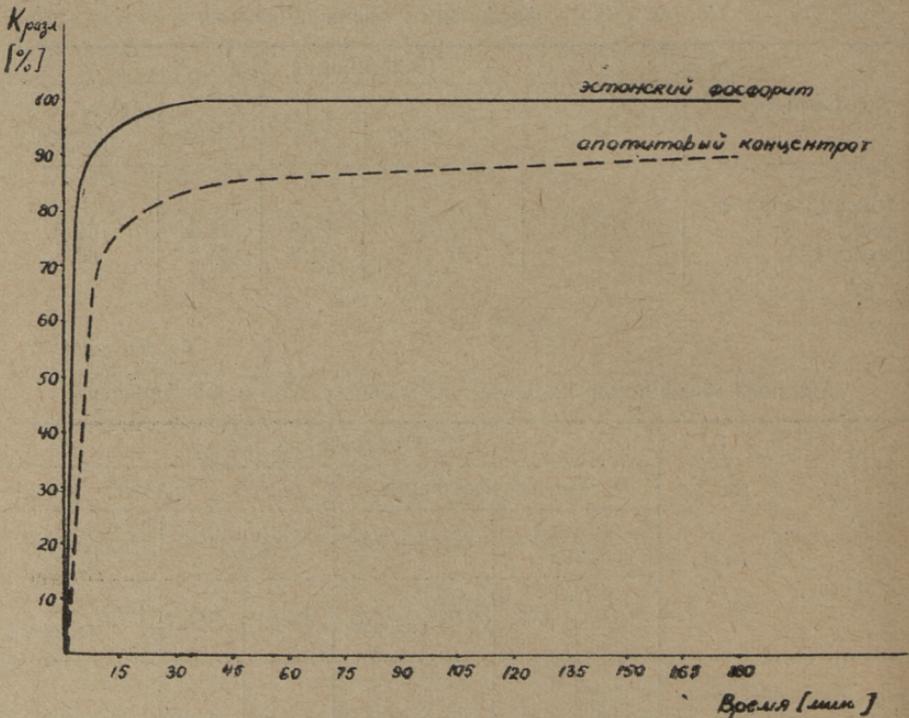
	Содержание, %					
	эстонский фосфорит			апатит		
	жидкая фаза		фосфогипс	жидкая фаза		фосфогипс
	P ₂ O ₅	SO ₃		P ₂ O ₅	SO ₃	
		P ₂ O ₅ _{водораст}			P ₂ O ₅ _{водораст}	
Основная фильтрация	34,70	3,60	19,80	29,85	5,22	16,60
I промывка	9,72	1,08	5,78	9,72	1,62	6,38
II промывка	0,28	0,008	1,19	0,29	0,04	0,21
III промывка	0,01	0	1,02	0	0	0

Основные показатели получения фосфорной кислоты (в %)

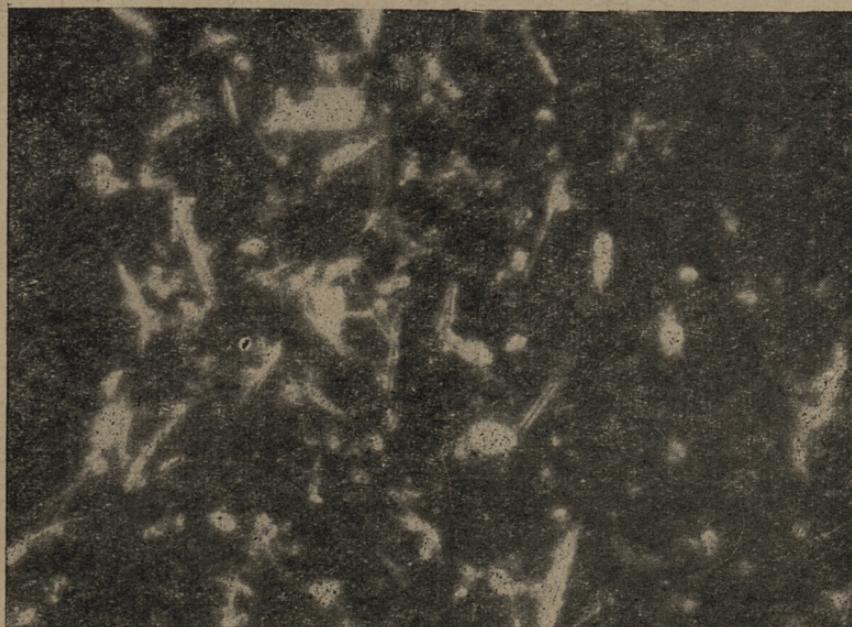
	эстонский фосфорит	апатит
Коэффициент разложения фосфата	100,0	90,7
Коэффициент извлечения P_2O_5 в растворе	99,0	90,1
Коэффициент эффективности отмывки фосфогипса	99,7	100,0
Коэффициент технологического выхода	98,7	90,1

Результаты опытов приведены в таблицах 3—6 и на фиг. 1.

Из результатов опыта следует, что эстонский фосфорит разлагается значительно быстрее и полнее, чем апатитовый концентрат. Через 1 час с начала реакции коэффициент разложения эстонского фосфорита достиг 100%, а коэффициент разложения апатитового концентрата через 3 часа — 90,7%.



Фиг. 1. Зависимость коэффициента разложения фосфата от времени взаимодействия с серной кислотой



Фиг. 2. Микрофотоснимки кристаллов фосфогипса, полученных разложением эстонского фосфорита при 70°C , времени смешивания 3 часа и норме моногидрата серной кислоты:
наверху — 100% от стехиометрической, внизу — 105% от стехиометрической.
1 см на рисунке соответствует 50 мк в натуре

Таблица 7

Анализы фосфорной кислоты, промывных вод и фосфогипса

	Содержание, %									
	эстонский фосфорит					апатит без рециркуляции пудлы				
	без рециркуляции		с рециркуляцией			жидкая фаза		жидкая фаза		
	жидкая фаза	фосфогипс	жидкая фаза	фосфогипс	фосфогипс	жидкая фаза	фосфогипс	жидкая фаза	фосфогипс	водораств.
P ₂ O ₅	SO ₃	P ₂ O ₅ водораств.	P ₂ O ₅	SO ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ водораств.
Основная фильтрация	44,50	2,44	16,86	43,20	2,53	16,02	39,80	5,97	14,38	
I промывка	16,43		2,34	12,60		3,74	17,10		3,50	
II промывка	3,09		0,62	4,18		—	0,79		0	
III промывка	0,77		0,59	1,79		0,62	0		0	

Однако по полноте отмывки образовавшегося фосфогипса эстонский фосфорит несколько уступает апатиту. Несмотря на это, суммарный коэффициент технологического выхода остается у эстонского фосфорита более высоким. Следует отметить, что вследствие большей нормы серной кислоты в данной серии опытов по сравнению с первой серией, кристаллы фосфогипса являлись более крупными. Микрофотоснимки кристаллов представлены на фиг. 2.

В третьей серии опытов подвергались проверке ранее полученные данные о худшей фильтрации и промывке фосфогипса из эстонского фосфорита и изучалось влияние рециркуляции пульпы обратно в смеситель. Разложение проводилось в течение 5 часов; другие условия опыта были аналогичными второй серии. Данные о составе фосфогипса, фосфорной кислоты и промывных вод представлены в табл. 7.

Изменение содержания P_2O_5 в промывных водах и фосфогипсе в ходе промывки выражено графически на фиг. 3. Время фильтрации фосфорной кислоты (до полного прекращения падения капель кислоты из воронки) для эстонского фосфорита оказалось на 50—70% больше, чем для апатитового концентрата. Несмотря на то, что по данным микроскопического исследования кристаллов фосфогипса с применением рециркуляции пульпы получились более крупные кристаллы, чем без рециркуляции, положительного влияния рециркуляции пульпы на отфильтрование и промывку фосфогипса не было обнаружено. Данные о худшей фильтрации и отмывке фосфогипса из эстонского фосфорита нашли подтверждение.

Полученная при последних опытах фосфорная кислота анализировалась также на содержание полуторных окислов и фтора (табл. 8).

Таблица 8

Содержание R_2O_3 и F в фосфорной кислоте

	Содержание, %	
	R_2O_3	F
эстонский флотационный фосфорит	1,21	0,46
апатитовый концентрат	0,64	0,40

По причине большого содержания примесей фосфорная кислота из эстонского фосфорита имеет коричневатато-желтый цвет. В лабораторных условиях переход фтора в кислоту со-

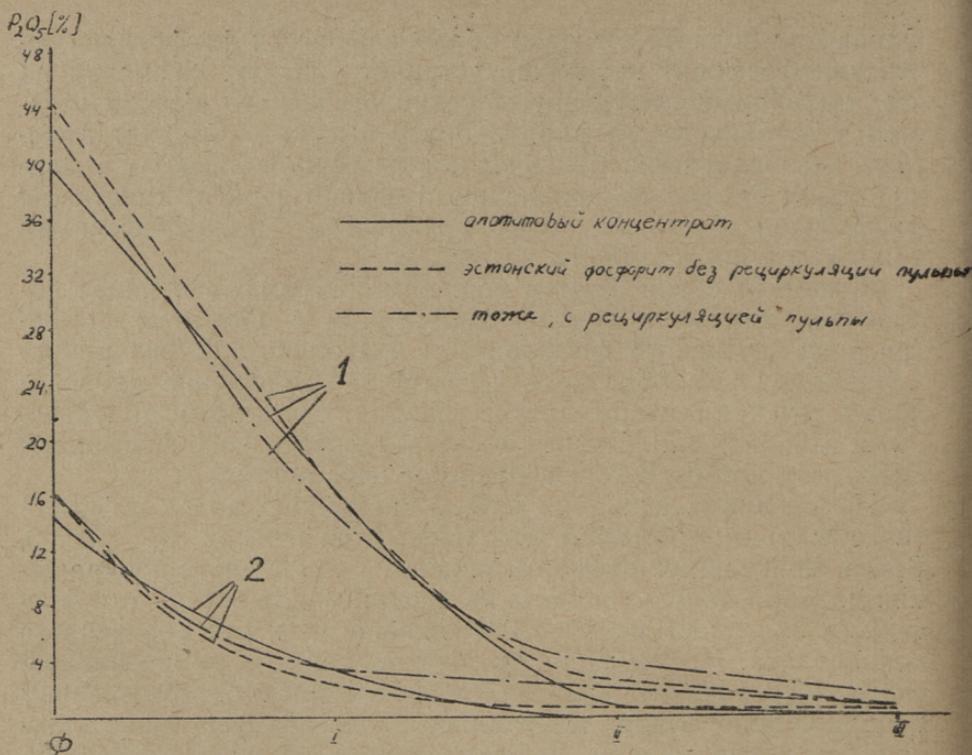


Рис. 3. Содержание P_2O_5 в жидкой и твердой фазе после фильтрации пульпы и промывки фосфогипса:

Обозначения: Φ — основной фильтр; I, II, III — промывные воды в очередности промывки; 1 — содержание P_2O_5 в кислоте и промывных водах; 2 — содержание водорастворимой P_2O_5 в фосфогипсе

ставлял 12—17%, остальное количество фтора перешло в состав фосфогипса и в газовую фазу.

На основании результатов проведенной работы были составлены материальный баланс производства экстракционной фосфорной кислоты из эстонского флотационного фосфорита и калькуляция себестоимости ее выработки. В основу расчетов принят коэффициент технологического выхода P_2O_5 98,5%. Расход моногидрата серной кислоты на 1 тонну P_2O_5 в фосфорной кислоте из эстонского флотационного фосфорита определен в размере 2,7 т.

В условиях Маардуского химкомбината полная себестоимость фосфорной кислоты в пересчете на тонну P_2O_5 из эстонского флотационного фосфорита превышает себестоимость кислоты, полученной из апатитового концентрата, примерно на 10%. Указанное превышение вызвано более высокой стоимостью единицы P_2O_5 в эстонском флотационном фосфорите и большим расходом серной кислоты на 1 тонну P_2O_5 в про-

дукте. При более благоприятных горно-геологических условиях залегания фосфоритов (например, на Нарвском месторождении) себестоимость фосфорной кислоты может быть снижена.

Выводы

1. Эстонский фосфорит разлагается серной кислотой быстрее апатитового концентрата.
2. По условиям фильтрации и отмывки фосфогипса эстонский фосфорит уступает апатитовому концентрату.
3. Расход моногидрата серной кислоты на 1 т P_2O_5 в фосфорной кислоте составляет для эстонских фосфоритов 2,7 т и является минимальным среди фосфатных концентратов СССР за исключением апатитового концентрата. Предполагаемый расход эстонского фосфорита составляет 1,02 т P_2O_5 на 1 т P_2O_5 в кислоте.
4. Себестоимость 1 т P_2O_5 в фосфорной кислоте, при применении в качестве сырья флотационного концентрата фосфоритов Маардуского месторождения, превышает себестоимость фосфорной кислоты, получаемой из апатитового концентрата примерно на 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Воскресенский, Производство фосфорной кислоты методом разложения апатита серной кислотой. ГОСИНТИ, 1961.
2. В. А. Кононов, С. Д. Эвенчик. Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева, № 1, 1961.
3. Е. Д. Файнберг. Хим. пром. № 4, 1961.
4. М. А. Вейдерма. Труды Таллинского политехнического института, серия А № 198, 159, 1962.
5. Методы анализа и контроля производства серной кислоты и суперфосфата. Госхимиздат, 1955.
6. М. Е. Позин и др. Руководство к практическим занятиям по технологии неорганических веществ. Госхимиздат, 1957.
7. В. А. Окнина. Методы химического анализа фосфатных руд. Госхимиздат, 1961.
8. Технология фосфорной кислоты, двойного суперфосфата и фосфатов аммония. Труды НИУИФ, вып. 153, 1940.

УДК 621.383.42 : 546.48'22

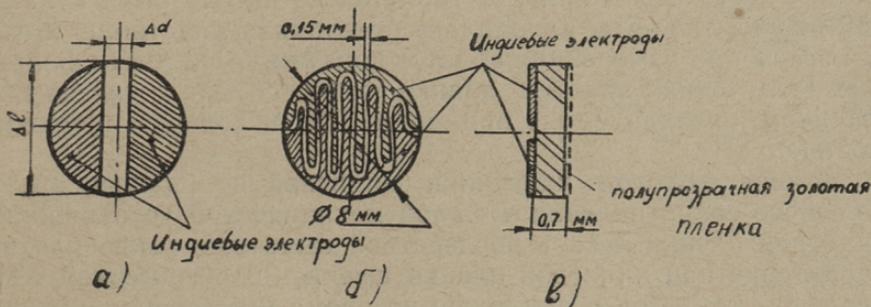
Я. В. Хийе,
 студент V курса горно-химического факультета

Научный руководитель: Ю. А. Варвас,
 ст. препод., канд. хим. наук

О ФОТОПРОВОДИМОСТИ В ОБЪЕМЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Введение

Как известно, фотосопротивления из поликристаллического сульфида кадмия поглощают большую часть возбуждающего света в очень тонком поверхностном слое, толщиной примерно 50 мк. Поэтому такие фотосопротивления снабжаются поверхностными электродами на освещенной стороне. Фоточувствительность таких сопротивлений зависит от ширины Δd и длины Δl (см. фиг. 1а) межэлектродной полосы, причем фототок $I \sim \frac{\Delta l}{\Delta d}$. Используя электроды с наилучшей геометрией, т. н. растровые электроды (см. фиг. 1б), и соответственно приготовленный поликристаллический сульфид кадмия, получена у восьмимиллиметровых таблеток фоточувствительность (S') [1] до $6 \frac{a}{\text{лмв}}$.



Фиг. 1

Но и у растровой конструкции остается большая часть $\left(\frac{5}{6}\right)$ фоточувствительной поверхности под электродами неиспользованной. Чтобы еще повысить чувствительность фотоспротивлений, мы должны использовать всю чувствительную поверхность. Эту задачу позволяет разрешать так называемая «объемная» конструкция, при которой электроды нанесены на противоположные стороны сопротивления и фотопроводимость осуществляется сквозь фоточувствительный слой (см. фиг. 1в). Притом последний должен быть достаточно тонким, чтобы возбуждающий свет поглощался во всей толщине слоя.

Такие высокочувствительные фотоспротивления имели бы важное применение в комбинированных электролюминесцентных элементах, как например оптроны и усилители видимой и инфракрасной части спектра. Такая объемная конструкция позволяет создать не только фотоспротивления, но и поликристаллические фотоэлементы с $p-n$ переходом.

Методика и экспериментальная часть работы

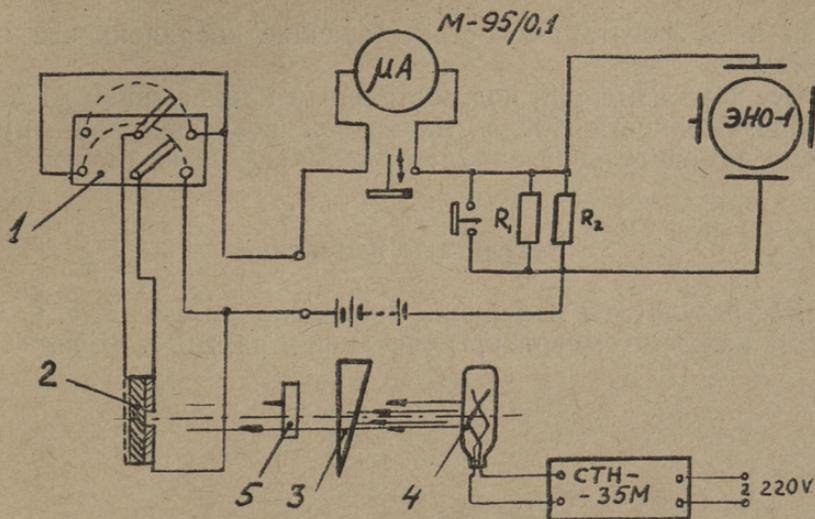
Целью этой работы было выяснить методом сравнения поверхностных и объемных фотоэлектрических параметров основные закономерности получения объемных поликристаллических фотоспротивлений.

Фотоспротивления изготовляли в виде спрессованных и спеченных таблеток, на одну сторону которых нанесено растровый электрод из индия, а на другую полупрозрачная пленка золота (см. фиг. 1в).

Индиевые электроды нанесли путем вакуумного испарения индия от танталовых испарителей через специальный трафарет. Испарения провели в вакууме $10^{-3} \div 10^{-4}$ мм Hg в течение 10 секунд.

Прозрачная пленка золота нанесли путем катодного распыления в вакууме $10^{-1} \div 10^{-2}$ мм Hg в течение 600 секунд током 80 мка. Расстояние от таблеток до катода 5 см. У каждой партии таблеток находилась стеклянная палстинка, которая затем при измерении таблеток послужила световым фильтром. Полученная золотая пленка была с зелено-синеватым оттенком, прозрачностью примерно 10%, и хорошей проводимостью.

Замена золотой пластинки индиевой не удалось из-за большого сопротивления и малой механической устойчивости индиевой пленки. Как в последствии выяснено, такие плохие характеристики индиевой пленки имелись из-за высокой температуры таблеток и подложки во время испарения — индий успел перекристаллизовываться.



Фиг. 2. Схема измерительной аппаратуры:

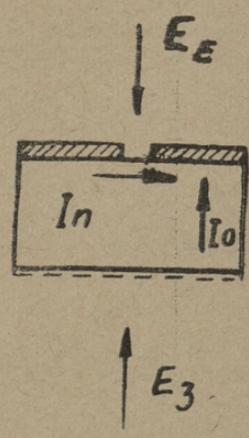
1 — переключатель, 2 — фотосопротивление, 3 — оптический клин, 4 — накаливаемая лампа, 5 — фотозатвор

Материалом для изготовления использовали сульфид кадмия «для люминофоров» активированный двуххлористой медью «ХЧ» при температуре 900° в атмосфере аргона.

Чтобы исследовать влияние хлора, изготавливали три партии с различной концентрацией хлора при одинаковом содержании меди. Полученный кристаллический порошок просеяли в пять фракций, из которых прессовали таблетки, по 0,13 г каждый (см. фиг. 1в). Таблетки спекали в специальной печи на никелевой подложке в атмосфере воздуха при температурах 500, 530, 600 и 650 градусов по 14 минут. На спекшие таблетки нанесли электроды.

У полученных фотосопротивлений измеряли следующие параметры (см. фиг. 3):

- а) поверхностный фототок — $I_{\text{п}}^{\text{Е}}$, возбужденный от света — $E_{\text{Е}}$, прямо падающего на индиевые электроды;
- б) поверхностный фототок — $I_{\text{п}}^{\text{З}}$, возбужденный от света — $E_{\text{З}}$, падающего сквозь пленку золота и фотосопротивление;
- в) объемный фототок I_0 , возбужденный от света — $E_{\text{З}}$, падающего сквозь пленку золота на фотосопротивление;



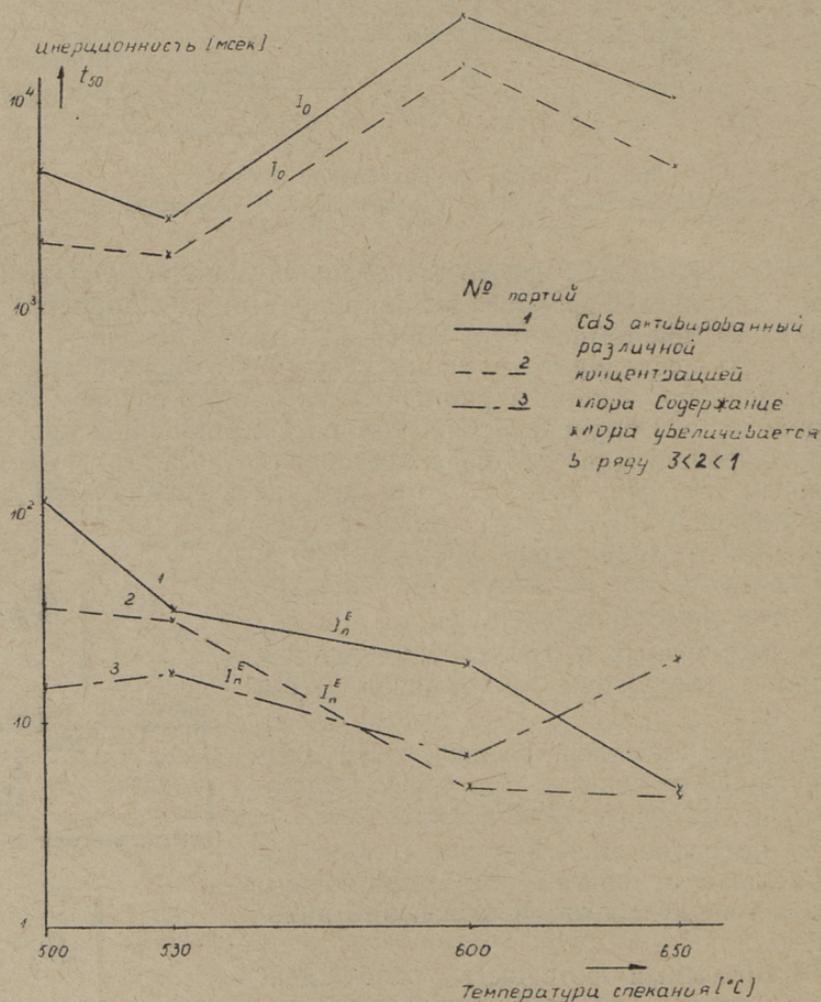
Фиг. 3

г) всем фототокам соответствующие инерционности t_{50} и t'_{50} [1].

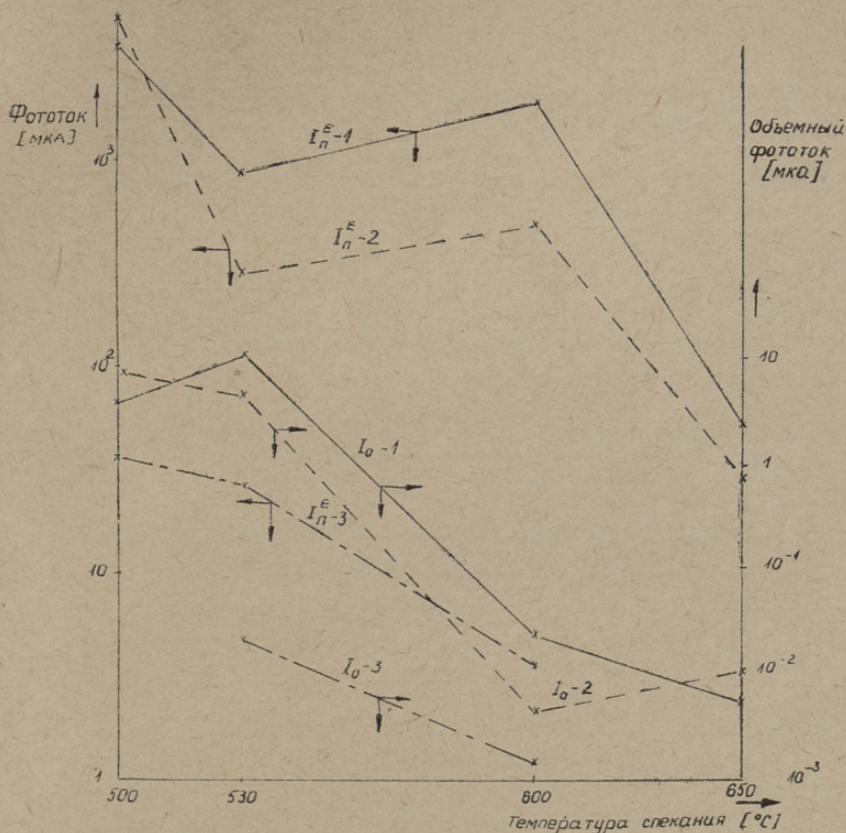
Все токи измеряли под постоянным напряжением 41 вольт при освещенности 200 лк накальной вольфрамовой лампы. Схема измерительной аппаратуры приведена на фиг. 2.

Результаты измерений

Все результаты измерений приведены на фиг. 4, 5, 6, 7, 8, 9. Для каждой температуры спекания и партии сульфида кад-



Фиг. 4. Инерционность объемной и поверхностной проводимостей



Фиг. 5. Зависимость фототоков от температуры спекания

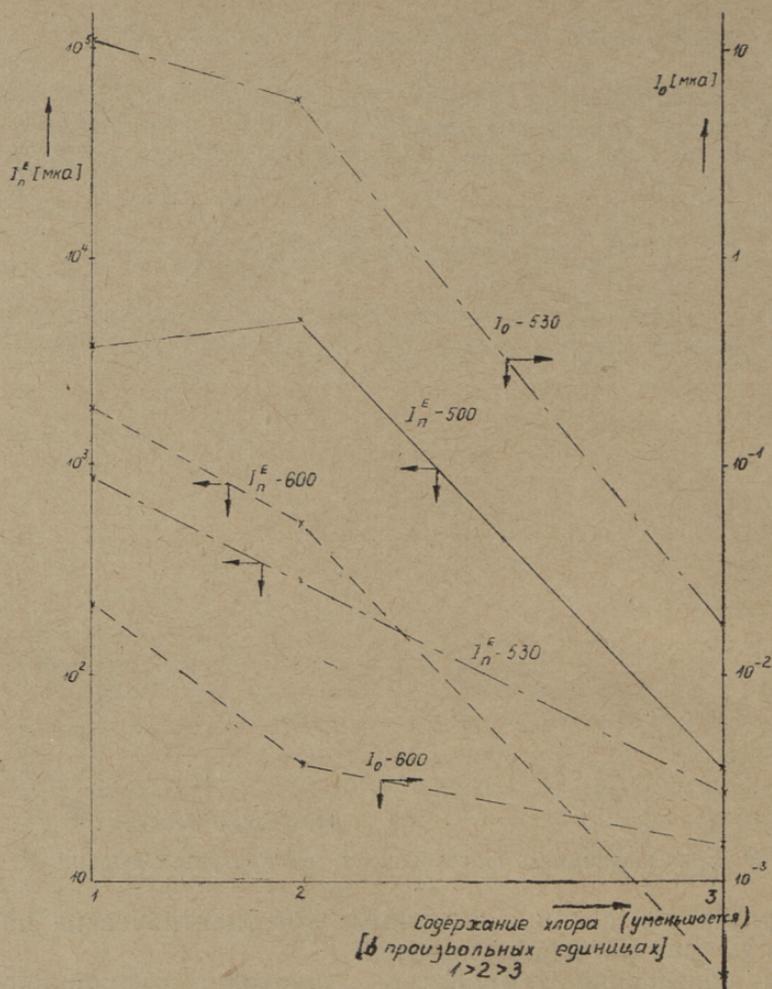
мия приведены средние величины фотоэлектрических параметров из трех фотосопротивлений.

При повышении температуры спекания инерционность объемного тока повышается, а сам объемный ток уменьшается более трех порядков. Инерционность же поверхностного тока и сам поверхностный ток уменьшаются (см. фиг. 4, 5).

Это повидимому влияние кислорода, проникшего в кристаллы и реагирующего с CdS при повышенной температуре. Образующееся CdO [2, 3, 4] уменьшает прозрачность кристалла и повышает абсорбцию света в тонком поверхностном слое.

Несомненно при повышении температуры спекания повышается и диффузия примесей из кристалла в окружающую среду. Например, хлор может диффундировать из кристаллов в виде хлорида кадмия, вследствие чего проводимость уменьшается.

Влияние концентрации хлора ясно показано на фиг. 6. При уменьшении концентрации хлора фототоки сильно умень-

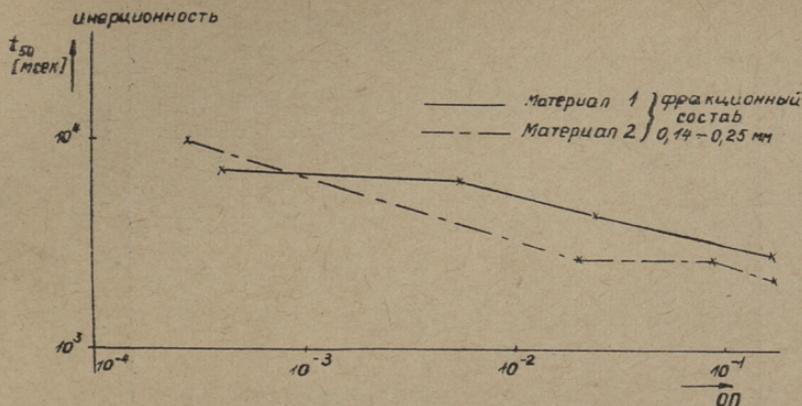


Фиг. 6. Зависимость фототоков от содержания хлора

шаются. Аналогичную тенденцию имеет и инерционность (см. фиг. 4).

Помимо увеличения примесной проводимости хлор способствует и лучшей перекристаллизации сульфида кадмия в процессе спекания, где хлорид кадмия (CdCl_2) действует как растворяющий флюс [3].

Инерционность объемной проводимости t_{50} лежит в пределах 2 000 ÷ 16 000 мсек, а t'_{50} 4 000 ÷ 40 000 мсек (см. фиг. 4). Такая большая инерционность следствие большой толщины фоточувствительного слоя, сквозь которого свет не может проникнуть вглубь таблетки. Чем ниже освещенность, тем больше инерционность фотоспротивления. Это показывает и за-



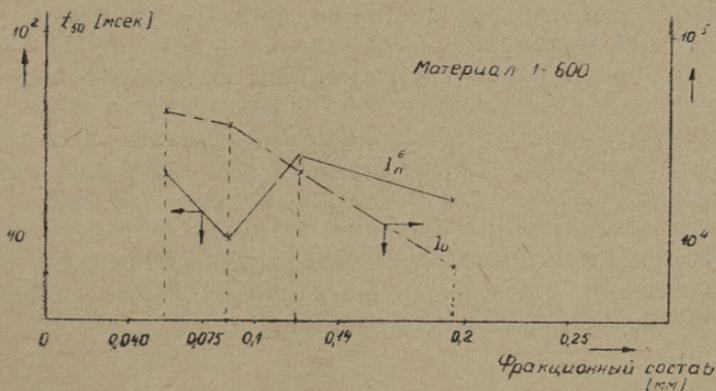
Фиг. 7. Инерционность t_{50} объемной проводимости в зависимости от относительной прозрачности ОП

висимость между относительной прозрачностью (ОП) и инерционностью объемной проводимости (см. фиг. 7).

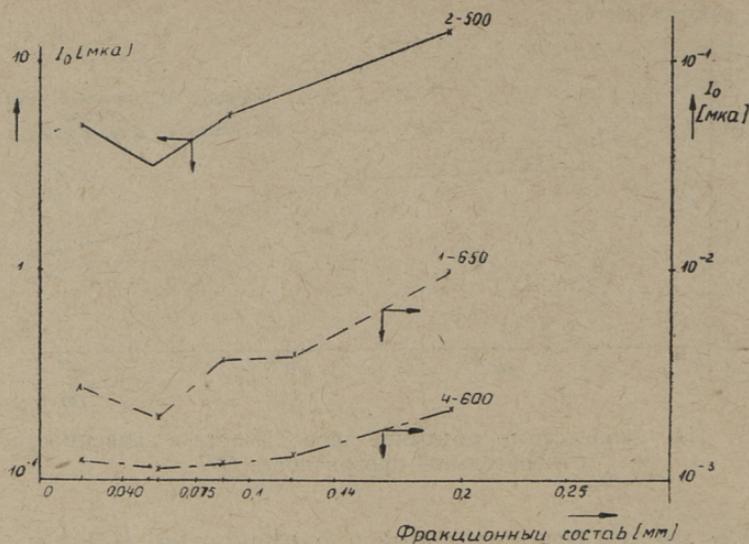
$$ОП = \frac{I_{П}^3 100}{I_{П}^E}$$

Как видно, при увеличении относительной прозрачности инерционность фотоспротивления уменьшается.

Большое влияние на объемную проводимость и инерционность имеет фракционный состав кристаллизованного материала (см. фиг. 8 и 9). Так при увеличении среднего размера зерна от 0,058 мм до 0,20 мм объемная инерционность уменьшается приблизительно в 5 раз, а объемная проводимость повышается в четыре раза.



Фиг. 8



Фиг. 9

Исследования микроструктуры зерен показали, что зерна представляют собой большие спекшие кристаллы, которые состоят из маленьких кристаллов диаметром 7—15 мк. Следовательно, микрокристаллическая структура всех фракций была приблизительно одинакового размера. Поэтому такое влияние фракционного состава на инерционность объемного тока можно объяснить только тем, что уже при кристаллизации полученные большие спекшие зерна дали при спекании таблеток кристаллиты с более хорошей прозрачностью и с более однородным составом.

По оптимальным условиям, полученным из этой работы (т. е. низкая температура спекания, фоточувствительный низкоинерционный материал с большим размером зерен) изготовляли фотоспротивления с кратностью 20 (кратностью называется отношение фототока к темновому току); в этой работе получили кратность до 10. Но особенно важно, что удалось уменьшать инерционность от 2000 до 200 мсек при толщине фоточувствительного слоя 0,7 миллиметров. Но, если будет выработан метод для уменьшения толщины фоточувствительного слоя приблизительно в 10 раз, тогда становится реальной возможность получить фотоспротивление с большой чувствительностью и низкой инерционностью.

Выводы

1. По результатам работы установили, что свет проникает и возбуждает фотопроводимость на большей глубине (0,7 мм), чем это до сих пор предполагали (0,04—0,05 мм).

2. Определили оптимальные условия для изготовления объемных фотоспротивлений с данной толщиной фоточувствительного слоя.

3. Указали дальнейшие пути для изготовления и улучшения фоточувствительности объемных фотоспротивлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Варвас, П. Л. Кукк, А. Х. Сталь, М. Г. Ляэтс. Труды ТПИ, серия А, № 195, 143 (1962).
2. Н. Б. Хенней. Полупроводники, 505. Издание иностр. лит., Москва (1962).
3. Р. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел. Изд. иностр. лит., Москва, (1962).
4. К. Хауффе. Реакции в твердых телах и на их поверхности, I. Изд. иностр. лит., Москва (1962).
5. R. H. Vube. Phys. Rev. **101**, 6, 1668 (1956).

Р. Э. Прийман, М. Х. Эверт и др.,
студенты V курса горно-химического факультета

Научный руководитель: *Г. В. Озеров,*
доц., канд. техн. наук

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ СЛАНЦЕНАКОПЛЕНИЯ

В 1956 году при изучении состава и свойств неорганической части кукерсита Н. Л. Дилакторским (ИССМ АН ЭССР) были высказаны соображения о наличии в пределах Прибалтийского сланцевого бассейна исключительно благоприятной геологической обстановки для проведения исследований по изучению условий осадконакопления, и предложен метод выполнения этих работ, заключающихся в установлении гранулометрического состава устойчивых против выветривания терригенных минералов, выделяемых из различных слоев. В качестве такого устойчивого минерала был предложен кварц.

В 1958 году институт геологии АН ЭССР и Управление геологии и охраны недр при Совете Министров ЭССР произвели анализ терригенного кварца в пробах, взятых по вертикальному разрезу в шахте № 10 треста «Эстонсланец» [1].

По рекомендации проф. Н. Л. Дилакторского группа студентов горно-химического факультета ТПИ под руководством доцента кафедры химической технологии органических веществ Г. В. Озерова с целью дальнейшего развития начатых работ провела анализы терригенного кварца в пробах, взятых по вертикальным разрезам промышленной пачки. Отобранный материал представлял собой слои А—А', А'—В, В, В—С, С—D, E сланцев на шахте № 2, шахте № 6 треста «Эстонсланец» и на Алексеевском карьере Ленинградской области.

Пробы были любезно предоставлены С. С. Бауковым (Институт геологии АН ЭССР).

Экспериментальная часть

Для взятых образцов были определены потери при прокаливании, содержание CO_2 и гигроскопическая влага. Результаты представлены в таблице 1.

Получение кристаллического кварца из горючего сланца было проведено на основании методики, разработанной ИССМ АН ЭССР [1]. В процессе работы были внесены некоторые незначительные изменения и дополнения, обусловленные бригадной работой.

После окончательной проверки проб и отсутствия ортоклаза и фторидов под микроскопом, определяли гранулометрический состав выделенного кварца методом взвешивания зерен, оседающих при стоянии суспензии на чашечку, подвешенную на коромысле весов [2].

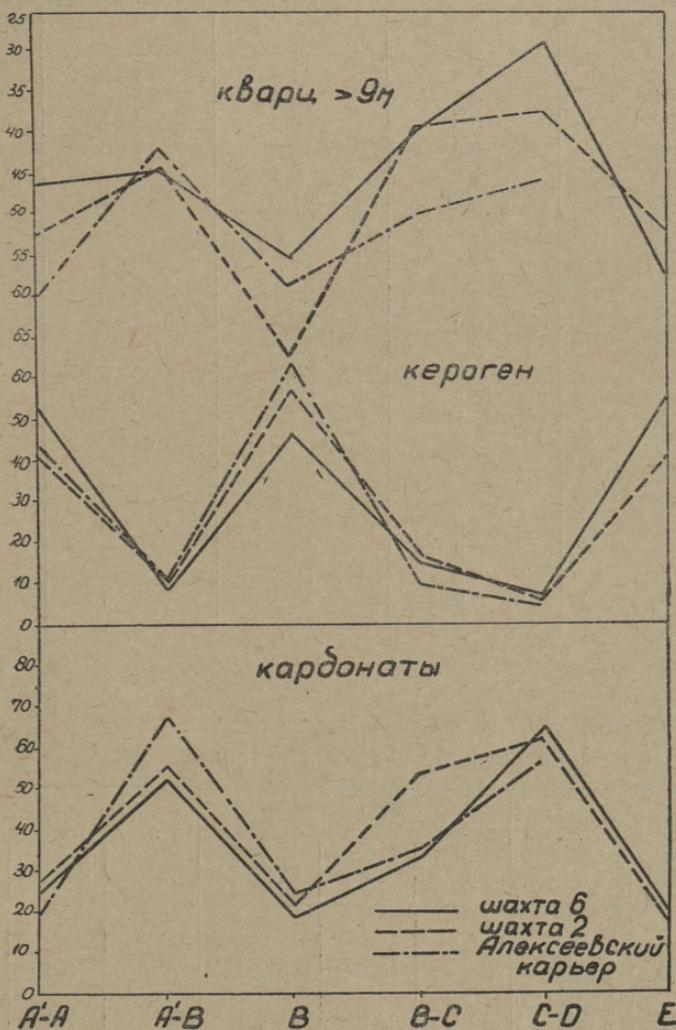
Пробы весом около грамма высыпались в эрленмейеровские колбы, снабженные обратным холодильником и содержащие 150 мл дистиллированной воды. Пробы кипятились в течение одного часа, после чего разбавлялись до 225 мл и переносились в седиментационные цилиндры. После тщательного перемешивания на глубину 10 см опускалась седиментационная чашечка, подвешенная к коромыслу весов. Первое взвешивание осадка производилось через 30 секунд с момента прекращения перемешивания.

На основе полученных данных строились кривые седиментации в координатах время-вес.

По этим кривым вычислялся графически вес осадка, вес фракции и гранулометрический состав кварца.

В таблицах 2 и 3 и диаграмме 1 собраны данные, полученные в результате химической обработки проб и седиментометрических исследований.

Диаграмма относительного содержания
керогена, кварца и карбонатов



Фиг. 1.

Компонентный состав сланца и известняка

Слой, номер пробы	Гигроскопическая влага, %	Кероген, %	Карбонаты, %	Альверитоглинистая часть, %
Шахта 2				
A-A'-68	0,2	41,3	25,8	32,7
B-74	0,2	56,3	18,7	24,8
A'-B-66	0,2	9,95	54,5	35,35
B-C-74	0,2	15,9	54,0	29,9
C-D-61	0,2	5,4	62,5	31,9
E-100	0,2	41,0	18,2	40,6
Шахта 6				
A-A'-109a	0,2	51,0	24,8	24,0
A'-B-1096	0,2	8,47	54,0	37,33
B-104	0,2	47,3	28,2	24,3
B-C-112	0,2	14,8	32,3	52,7
C-D-102	0,2	6,8	63,6	29,4
E-100	0,2	56,8	20,4	22,6
Алексеевский карьер				
A-A'	0,2	41,8	19,6	38,4
A-B	0,2	9,9	68,0	21,9
B	0,2	64,2	23,8	11,8
B-C	0,2	10,3	36,0	53,5
C-D	0,2	5,5	57,6	36,7

Таблица 2

Содержание кварца и ортоклаза, %

Шахта 6			Шахта 2			Алексеевский карьер		
Слой №	Кварц	Ортоклаз	Слой №	Кварц	Ортоклаз	Слой №	Кварц	Ортоклаз
A-A'			A-A'			A-A'		
109a	7,71	9,89	68	11,50	6,20	A-A'	8,30	6,79
A'-B			A'-B			A'-B	7,47	2,23
1096	1,78	3,82	66	4,92	2,39	B	6,60	6,47
B-104	3,46	4,21	B-74	5,65	3,66	B-C	2,10	2,62
B-C			B-C			C-D	2,70	3,08
112	4,48	2,57	74	1,30	1,62			
C-D			C-D					
102	3,41	3,08	61	3,78	1,65			
E-100	7,07	5,20	E-78	7,34	2,30			

Седиментометрический анализ
(сводная таблица по графическим построениям)

$D = 2,7 \text{ г/см}^3$; $D' = 1 \text{ г/см}^3$; $\eta = 0,01$ пуаза; $H = 10 \text{ см}$

Проба №	Время, в мин	Ø час- тиц, в мк	Вес осадка			Вес фракции		
			мг	% отн.	% абс.	мг	% отн.	% абс.
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Шахта № 6

109а А—А'	1	>20,0	15,0		42,8	9,0		25,7
	2,5	13,0	4,0	54,2	11,4	4,0	37,1	11,4
	5	9,0	3,0	62,8	8,6	6,0	54,25	17,15
	10	6,2	3,0	71,4	8,6	1,0	57,1	2,85
	20	4,4	2,0	77,1	5,7	5,0	71,4	14,3
	60	2,6	5,0	91,4	14,3	3,0	80,0	8,6
	∞	<2,6	3,0/35	100,0	8,6	7,0/35	100,0	20,0
109б А'—Б	1	>20,6	14,0		38,9	6,0		16,7
	2,5	13,0	7,0	58,4	19,5	6,0	33,4	16,7
	5	9,0	4,0	69,5	11,1	8,0	55,6	22,2
	10	6,2	3,0	77,8	8,3	3,0	63,9	8,3
	20	4,4	3,0	86,1	8,3	4,0	75,0	11,1
	60	2,6	1,0	88,9	2,8	4,0	86,1	11,1
	∞	<2,6	4,0/36	100,0	11,1	5,0/36	100,0	13,9
104 В	1	>20,0	27,0		31,8	13,0		15,3
	2,5	13,0	15,0	49,4	17,6	10,0	27,1	11,8
	5	9,0	12,0	63,5	14,1	15,0	44,7	17,6
	10	6,2	8,0	72,9	9,4	11,0	57,6	12,9
	20	4,4	10,0	84,7	11,8	6,0	64,7	7,1
	60	2,6	8,0	84,1	9,4	20,0	88,2	23,5
	∞	<2,6	5,0/85	100,0	5,9	10,0/85	100,0	11,8
112 В—С	1	>20,0	9,0		45,0	4,0		20,0
	2,5	13,0	3,0	60,0	15,0	4,0	40,0	20,0
	5,0	9,0	2,0	70,0	10,0	4,0	60,0	20,0
	10	6,2	1,0	75,0	5,0	1,0	65,0	5,0
	20	4,4	1,0	80,0	5,0	1,0	70,0	5,0
	60	2,6	2,0	90,0	10,0	2,0	80,0	10,0
	∞	<2,6	2,0/20	100,0	10,0	4,0/20	100,0	20,0
102 С—D	1	>20,0	33,0		62,2	26,0		49,1
	2,5	13,0	7,0	75,4	13,2	5,0	58,1	9,4
	5,0	9,0	5,0	84,8	9,4	7,0	71,7	13,2
	10	6,2	2,0	88,6	3,8	6,0	83,0	11,3
	20	4,4	1,0	90,5	1,9	2,0	94,4	3,8
	60	2,6	3,0	96,2	5,7	4,0	86,8	7,6
	∞	<2,6	2,0/53	100,0	3,8	3,0/53	100,0	5,6
100 E	1	>20,0	15,0		36,5	10,0		24,3
	2,5	13,0	6,0	51,1	14,7	4,0	34,1	9,8
	5,0	9,0	4,0	61,0	9,8	4,0	43,9	9,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100 E	10	6,2	4,0	70,8	9,8	4,0	53,7	9,8
	20	4,4	5,0	82,9	12,2	4,0	63,5	9,8
	60	2,6	6,0	97,6	14,7	4,0	73,3	9,8
	∞	<2,6	1,0/41	100,0	2,4	11,0/41	100,0	26,7

Шахта № 2

68 A-A'	1	>20,0	16,0		45,7	10,0		28,6
	2,5	13,0	4,0	57,1	11,4	4,0	40,0	11,4
	5	9,0	4,0	68,5	11,4	3,0	48,6	8,6
	10	6,2	2,0	74,2	5,7	4,0	60,0	11,4
	20	4,4	3,0	82,9	8,7	3,0	68,6	8,6
	60	2,6	4,0	94,3	11,4	6,0	85,7	17,1
	∞	<2,6	2,0/35	100,0	5,7	5,0/35	100,0	14,3
66 A'-B	1	>20,0	26,0		38,8	15,0		22,4
	2,5	13,0	13,0	58,2	19,4	6,0	31,4	9,0
	5	9,0	10,0	73,1	14,9	16,0	55,3	23,9
	10	6,2	6,0	82,0	8,9	8,0	67,2	11,9
	20	4,4	5,0	89,5	7,5	7,0	77,6	10,0
	60	2,6	5,0	97,0	7,5	12,0	95,5	17,9
	∞	<2,6	2,0/67	100,0	3,0	3,0/67	100,0	4,5
74 B	1	>20,0	6,0		16,7	1,0		2,8
	2,5	13,0	5,0	30,6	13,9	4,0	13,9	11,1
	5	9,0	5,0	44,5	13,9	3,0	22,2	8,3
	10	6,2	4,0	55,6	11,1	4,0	33,3	11,1
	20	4,4	6,0	72,3	16,7	5,0	47,7	13,9
	60	2,6	7,0	91,7	19,4	6,0	63,9	16,7
	∞	<2,6	3,0/36	100,0	8,3	13,0/36	100,0	36,1
74 B-C	1	>20,0	17,0		56,6	12,0		40,0
	2,5	13,0	2,0	63,3	6,7	4,0	53,3	13,3
	5	9,0	2,0	70,0	6,7	2,0	60,0	6,7
	10	6,2	1,0	73,3	3,3	1,0	63,3	3,3
	20	4,4	3,0	83,3	10,0	2,0	70,0	6,7
	60	2,6	2,0	90,0	6,7	2,0	76,7	6,7
	∞	<2,6	3,0/30	100,0	10,0	7,0/30	100,0	23,6
61 C-D	1	>20,0	44,0		61,1	36,0		50,0
	2,5	13,0	4,0	66,7	5,6	5,0	57,0	6,9
	5,0	9,0	3,0	70,8	4,2	5,0	63,0	6,9
	10,0	6,2	7,0	80,6	9,7	5,0	70,9	6,9
	20	4,4	5,0	87,5	6,9	6,0	79,2	8,4
	60	2,6	6,0	95,8	8,3	7,0	88,9	9,7
	∞	2,6	3,0/72	100,0	4,2	8,0/72	100,0	11,2
78 E	1	>20,0	12,0		48,0	7,0		28,0
	2,5	13,0	3,0	60,0	12,0	3,0	40,0	12,0
	5,0	9,0	3,0	72,0	12,0	2,0	48,0	8,0
	10,0	6,2	2,0	80,0	8,0	5,0	68,0	20,0
	20	4,4	1,0	84,0	4,0	2,0	76,0	8,0
	60	2,6	2,0	92,0	8,0	3,0	88,0	12,0
	∞	<2,6	2,0/25	100,0	8,0	3,0/25	100,0	12,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Алексеевский карьер

A-A'	1	>20,0	5,0		25,0	2,0		10,0
	2,5	13,0	3,0	40,0	15,0	2,0	20,0	10,0
	5	9,0	1,0	45,0	5,0	4,0	40,0	20,0
	10	6,2	1,0	50,0	5,0	1,0	35,0	5,0
	20	4,4	4,0	70,0	20,0	2,0	45,0	10,0
	60	2,6	3,0	85,0	15,0	7,0	80,0	35,0
	∞	<2,6	3,0/20	100,0	15,0	4,0	100,0	20,0
A'-B	1	>20,0	25,0		56,9	14,0		31,8
	2,5	13,0	7,0	72,8	15,9	8,0	50,0	18,2
	5	9,0	4,0	81,9	9,1	9,0	70,4	20,4
	10	6,2	2,0	86,4	4,5	3,0	77,2	6,8
	20	4,4	3,0	93,2	6,8	3,0	84,0	6,8
	60	2,6	2,0	97,7	4,5	7,0	93,1	9,1
	∞	<2,6	1,0/44	100,0	2,3	3,0/44	100,0	6,8
B	1	>20,0	30,0		50,7	20,0		33,9
	2,5	13,0	7,0	62,6	11,9	7,0	45,8	11,9
	5,0	9,0	5,0	71,1	8,5	7,0	57,7	11,9
	10	6,2	5,0	79,6	8,5	4,0	64,5	6,8
	20	4,4	4,0	86,4	6,8	8,0	78,0	13,5
	60	2,6	5,0	94,9	8,5	4,0	84,8	6,8
	∞	<2,6	9,0/59	100,0	5,1	9,0/59	100,0	15,2
B-C	1	>20,0						
	2,5	13,0				8,0		20,0
	5	9,0	30,0		75,0	12,0	50,0	30,0
	10	6,2	3,0	82,5	7,5	8,0	40,0	20,0
	20	4,4	2,0	87,5	5,0	5,0	82,5	12,5
	60	2,6	1,0	90,0	2,5	2,0	87,5	5,0
	∞	<2,6	4,0/40	100,0	10,0	5,0/40	100,0	12,5
C-D	1	>20,0	37,0		41,1	18,0		20,0
	2,5	13,0	15,0	57,8	16,7	13,0	34,5	14,5
	5,0	9,0	13,0	72,3	14,5	18,0	54,5	20,0
	10	6,2	8,0	81,2	8,9	12,0	67,8	13,3
	20	4,4	6,0	87,8	6,6	9,0	77,8	10,0
	60	2,6	6,0	94,4	6,6	14,0	93,3	15,5
	∞	<2,6	5,0/90	100,0	5,6	6,0/90	100,0	6,7

Обсуждение экспериментальных данных

Кривые распределения фракций кварца, построенные на основании данных седиментометрического анализа, имеют для всех слоев различных шахт сходный характер, с четко выраженным максимумом. Это обстоятельство подтверждает те выводы, которые были сделаны проф. Н. Л. Дилакторским на

основании изучения проб по вертикальному разрезу промышленной пачки сланца на шахте № 10 треста «Эстонсланец» [1]:

Во-первых, о поступлении терригенного материала с одной и той же области сноса, во-вторых, судя по примерно одинаковой степени угловатости зерен кварца, — о сохранении условий выветривания горных пород, являвшихся источником терригенного кварца, и наконец в третьих, о сохранении состава транспортирования пластического материала с суши в море.

По данным седиментационного анализа построена диаграмма относительного содержания керогена, карбонатов и зерен кварца > 9 мк. Можно было бы взять и другую фракцию кварца, но при фракции > 9 мк закономерности выражаются более четко. Изучение гранулометрического состава кварца по вертикалям на одном участке морского дна показывает, что увеличение мелкой фракции соответствует понижению уровня древнего морского дна, или удалению береговой линии.

По возрастанию или уменьшению относительного количества мелких фракций в ряде слоев, находящихся друг над другом, можно говорить о трансгрессивном и регрессивном направлении движения уровня моря.

Из диаграммы видно, что понижение уровня моря ведет к увеличению накопления карбонатов, а повышение к накоплению керогена.

Анализ диаграммы показывает, что сланец и известняковые прослойки образовались при периодическом изменении глубины моря, приводившим к накоплению органических масс во время трансгрессии и карбонатной составляющей во время регрессии.

В результате исследования получены данные распределения фракций кварца по вертикальным разрезам промышленных пачек сланца по шахтам № 2 и № 6 треста «Эстонсланец» и Алексеевского карьера Ленинградской области.

В дальнейшем накопление таких же данных по другим шахтам дает возможность зарисовать береговую линию древнего моря и уточнить условия сланценакопления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Л. Дилакторский, С. С. Бауков, М. М. Дилакторская. Опыт применения седиментометрического анализа для выяснения условий сланценакопления. Известия АН ЭССР, том. X, Таллин, 1961.
2. Н. А. Ригуровский. Седиментометрический анализ. Изд. АН СССР, Москва-Ленинград, 1948.

УДК

Х. Я. Кала,
студент V курса инженерно-экономического факультета

Научный руководитель: *И. А. Сойдра,*
ст. препод., канд. техн. наук

О МОРАЛЬНОМ ИЗНОСЕ ОБОРУДОВАНИЯ В СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Марксистско-ленинская политическая экономия учит, что все промышленное оборудование изнашивается как **физически** так и **морально**. Карл Маркс, исследуя экономику капиталистического общества, писал: «... Кроме материального снашивания машина подвергается, так сказать, и моральному снашиванию. Она утрачивает меновую стоимость, по мере того как машины такой же конструкции начинают воспроизводиться дешевле или лучшие машины вступают с ней в конкуренцию. В обоих случаях, как бы еще нова и жизнеспособна ни была машина, ее стоимость определяется уже не тем рабочим временем, которое фактически овеществлено в ней, а тем, которое необходимо теперь для воспроизводства ее самой или для воспроизводства лучшей машины» [1]. Моральный износ таким образом, прежде всего означает уменьшение стоимости оборудования, так как часть затраченного на его изготовление общественно необходимого труда не воспроизводится. Уменьшение стоимости оборудования и его моральный износ происходит в двух формах: первая связана с удешевлением воспроизводства тех же самых машин и оборудования, вторая — с конструированием и внедрением новых, более производительных машин.

Моральный износ оборудования — это объективный процесс, присущий любой общественно-экономической формации, где расширенное воспроизводство происходит на базе обновляющейся техники. Этот процесс отражает развитие производительных сил. Поэтому моральный износ машин и оборудования отражает не какой-либо естественный процесс, происходящий в самой машине, а общественно-экономические отношения. Он представляет собой такую экономи-

ческую категорию, которая характеризует потери рабочего времени в результате «преждевременного» технического устаревания средств производства.

Хотя технический прогресс является материальной предпосылкой (основой) морального износа, он все же не выступает прямой причиной его. В зависимости от характера общественного производства моральный износ оборудования обуславливает те или иные объективные экономические законы. В социалистическом народном хозяйстве моральный износ оборудования обуславливается действием экономических законов социалистического общества, прежде всего основного экономического закона социализма, а также закона непрерывного роста производительности труда, закона стоимости, закона преимущественного развития производства средств производства и др.

Ленин, характеризуя основной экономический закон социализма, подчеркивал роль высшей техники в росте общественного производства. Массовое применение высшей техники повышает удельный вес новейшего совершенного оборудования и машин в машинном праке. А это неизбежно сопровождается моральным износом оборудования.

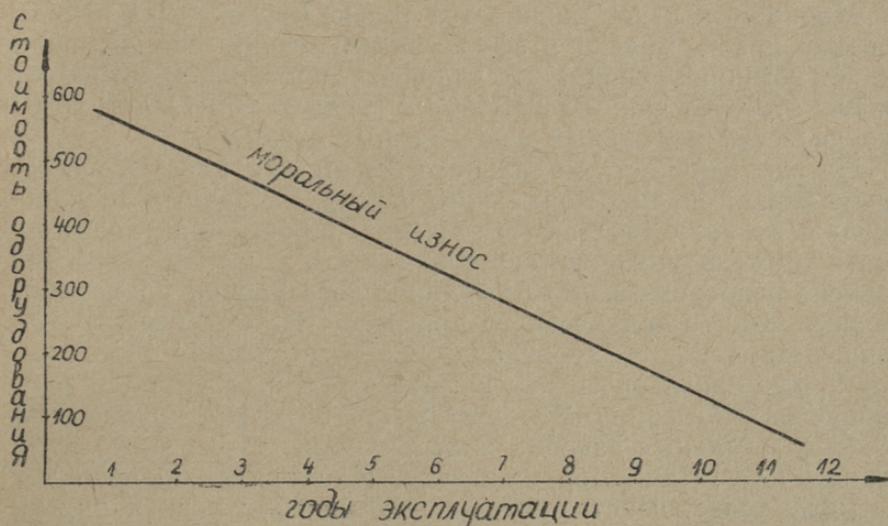
Технический прогресс обуславливает в процессе морального износа оборудования не только уменьшение его стоимости. Гораздо существеннее то, что с применением высшей техники старое оборудование утрачивает свою экономическую эффективность по сравнению с новым. Те экономические результаты, которые достигаются при использовании устаревшей техники, не отвечают больше требованиям развития социалистического народного хозяйства. Старые машины и оборудование не могут обеспечить непрерывного роста производительности труда, экономики общественного труда и все более полного удовлетворения растущих потребностей общества. В этом и проявляется неизбежность морального износа устаревшей техники — общественная причина его. Моральный износ оборудования таким образом представляет собой экономический результат технического прогресса, происходящего на основе экономических законов социализма. Чем быстрее технический прогресс, тем больше оборудования изнашивается морально.

Масштабы морального износа оборудования увеличивает еще целый ряд факторов, важнейшими из которых являются неудовлетворительное использование оборудования и медленное внедрение в производство новых типов машин. В ряде отраслей народного хозяйства причиной морального износа является изменение технологии производства. В тяжелом машиностроении износ зачастую возникает из-за слишком длительного производственного цикла. Так например, слишком мед-

ленно у нас ведется строительство прокатных станов — 5—6 лет, а с момента проектирования на строительство нового прокатного стана уходит даже 10 лет. Так долго изготовляющееся оборудование уже не может отвечать требованиям времени — развитие техники и растущие потребности машиностроения требуют более совершенного оборудования.

Моральный износ оборудования зависит также от отрасли народного хозяйства. Так на транспорте моральный износ больше чем в сельском хозяйстве, а в промышленности, в свою очередь, больше чем на транспорте. Быстрота морального износа оборудования неодинакова даже по отдельным отраслям промышленности. В машиностроительной промышленности техническое оборудование морально изнашивается значительно быстрее, чем, например, в текстильной. Подобное явление вполне закономерно, поскольку расширенное воспроизводство требует преимущественного развития тяжелой промышленности. Поэтому технический прогресс шире охватывает отрасли промышленности I подразделения общественного производства, и в силу этого моральный износ наносит здесь больший ущерб, чем во II подразделении. Кроме названных выше факторов, быстрота морального износа зависит еще от типа организации производства.

Некоторые экономисты, как академик С. Струмилин [2], А. Степанов [3] и другие утверждают, что моральный износ оборудования происходит постоянно, из года в год. Эту точку зрения можно коротко охарактеризовать следующей схемой.



Фиг. 1.

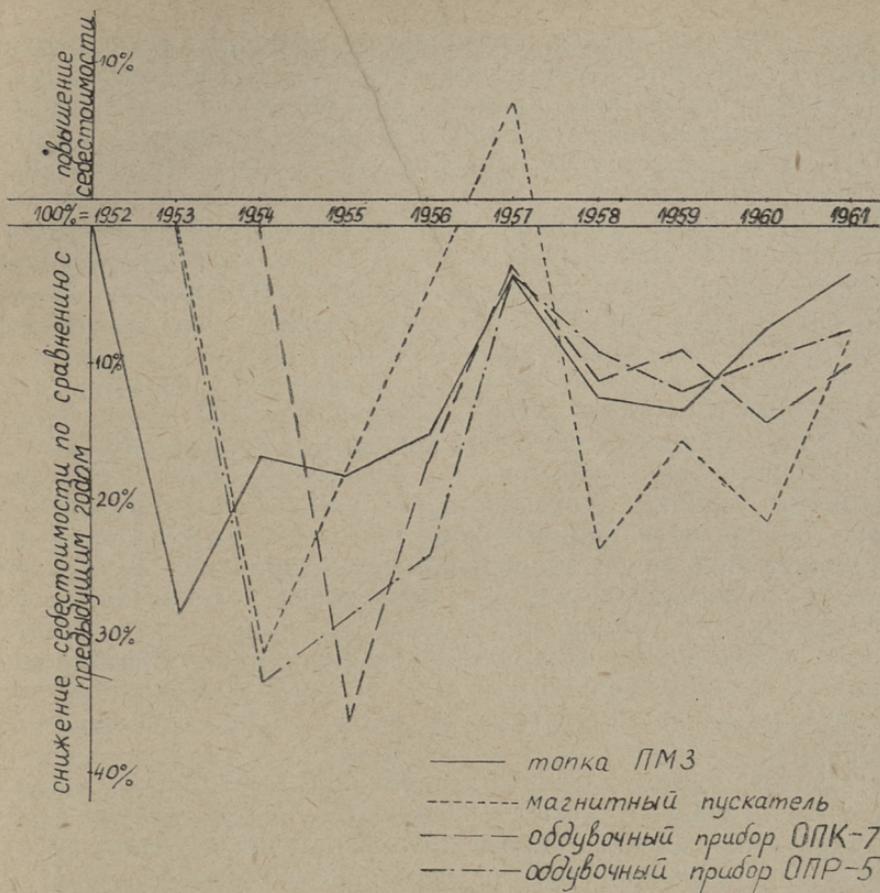
Утверждается, что соответственно увеличению времени эксплуатации оборудования и росту производительности труда в процессе воспроизводства, а также внедрению нового, более совершенного оборудования, постоянно уменьшается первоначальная стоимость устаревшего оборудования. Это может иметь место в отношении отдельных машин и установок на отдельных предприятиях, но далеко еще не означает морального изнашивания в данной отрасли промышленности или в масштабе всего народного хозяйства. Для этого требуется, чтобы новое оборудование стало господствующим и определяло бы общественно-необходимые издержки труда при изготовлении данной продукции.

Для выяснения характера морального износа оборудования придется исследовать внедрение в производство новых моделей оборудования и рассмотреть это вместе с действием закона стоимости в социалистическом обществе. Подход к вопросу морального износа с данного аспекта приводит к точке зрения, что процесс морального износа происходит не постоянно, а периодически.

По данным Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС) в СССР в 1945—1957 г.г. новая модель металлорежущих станков в серийное производство внедрялось в среднем через 7,28 года. Хотя в новых, быстро развивающихся отраслях промышленности, как тепловозостроении и др., этот промежуток был короче — в среднем 2 года, но все-таки имела место периодичность.

Моральный износ начинается только тогда, когда использование новой модели в сфере эксплуатации оборудования станет доминирующей. У металлорежущих станков потребуются для этого по данным ЭНИМС в среднем 10—11 лет, чем и определяется моральный износ старых станков.

На периодичность морального износа указывает и наблюдение первой формы морального износа. Усовершенствование методов воспроизводства (выраженное в росте производительности труда, в снижении себестоимости и т. д.), как известно, зависит непосредственно от технического уровня производства и от темпов технического прогресса. Но технические усовершенствования не происходят при изготовлении определенной продукции равномерно, из года в год, а чередуются через определенный период. Это доказывает практика крупных машиностроительных заводов нашей страны, в том числе и Эстонской ССР. Например, на заводе «Ильмарине» большие технические усовершенствования в изготовлении важнейших видов продукции чередуются в среднем периодом через 4 года (см. фиг. 2).



Фиг. 2. Динамика снижения себестоимости важнейших видов продукции завода «Ильмарине» (в процентах по сравнению с предыдущим годом)

Наряду с двумя формами морального износа оборудования очень важно различать и две разные сферы производства:

- 1) сферу производства оборудования, где оно выступает как продукт труда и
- 2) сферу эксплуатации оборудования, где оно является средствами труда.

Характерно, что защитники тезиса постоянного, равномерного протекания процесса морального износа оборудования не различают этих двух важных сфер общественного производства. Но без этого нельзя правильно понимать и самого явления морального снашивания.

В сфере производства оборудования первая форма морального износа возникает тогда, когда индивидуальные издержки труда предприятий, производящих новые,

более дешевые изделия, становятся общественно-необходимыми. Со второй формой морального износа дело обстоит иначе. Если на каком-либо заводе в производстве появляется новая, более усовершенствованная модель, то обществу уже не полезно продолжать выпуск старого образца. Он подлежит снятию с производства и замене новым во всех предприятиях. Поэтому в сфере производства оборудования оно подвергается влиянию второй формы морального износа при появлении хотя бы одной новой, более производительной модели. Таким образом в сфере производства оборудования обе формы морального износа имеют различное действие.

В сфере эксплуатации проявляются первая и вторая форма износа одинаково. Внедрение одной или нескольких новых машин (хотя более дешевых и производительных) не вызывает еще само по себе изменения общественно-нормальных условий производства. Стоимость произведенных товаров не изменится, хотя их себестоимость на применяющих новое оборудование предприятиях снижается. Это продолжается до тех пор, пока новые условия не станут общественно нормальными, т. е. не будут определять общественно необходимые издержки производства на изготовление данных товаров. Только при этом условии уменьшается первоначальная стоимость старого оборудования, отражая его моральное снашивание.

Следовательно, в сфере эксплуатации моральный износ не возникает сразу, в момент внедрения нового оборудования, а через определенный промежуток времени. Продолжительность периода морального износа зависит при этом от периодичности внедрения в серийное производство новых моделей, от темпов ежегодного прироста их производства и использования в сфере эксплуатации, от модернизации старого оборудования и других факторов.

Основным критерием морального износа оборудования является снижение экономической эффективности и части используемой техники. Новое, более производительное оборудование обеспечивает, как известно, более высокую производительность труда и позволяет экономить больше материалов и труда, чем эксплуатация оборудования, выпущенного много лет назад. Более низкая экономическая эффективность старого оборудования проявляется еще в том, что при его эксплуатации затрачивается больше сырья, топлива, электроэнергии и вспомогательных материалов. В конце 1960 года, например, завод «Вольта» начал выпускать новые, более мощные электродвигатели единой серии пятого габарита. Если мощность старых двигателей этой серии типа АО-51-2 равнялась 4,5 кВт и коэффициент полезного дейст-

вия — 85,5 процента, то соответствующие показатели новой марки составляют 10 квт и 88 процентов. Благодаря применению нового изоляционного материала и конструктивным усовершенствованиям вес двигателя на киловатт мощности уменьшился в среднем на 15 процентов. Завод сбережет на серийном производстве этих двигателей большое количество материалов, а потребители при их эксплуатации сэкономят электроэнергию.

Сопоставление компонентов экономической эффективности старого и нового оборудования и позволяет выявить моральный износ оборудования. Чем больше разница между показателями экономической эффективности нового и старого оборудования, тем больше моральный износ старого оборудования. При этом нужно учитывать то, что «граница» между морально изношенными машинами и той техникой, которая еще не подвергается влиянию этой категории, все время меняется. Это подтверждается внедрением новой техники на наших промышленных предприятиях. Только за первые 3 года семилетки в Советском Союзе создано и внедрено свыше 6 тысяч новых видов машин, механизмов и приборов. Ежегодно создаются сотни более совершенных станков и оборудования того же типа.

Для выявления морального износа оборудования можно также исходить из периода окупаемости капиталовложений, производимых при замене существующей техники новой. Чем короче этот период, то есть чем быстрее компенсируются расходы на замену оборудования за счет экономии, получаемой от эксплуатации новой техники, тем выше степень морального износа оборудования и тем неотложнее потребность в его быстрой замене новым. Находящаяся в эксплуатации техника может считаться морально изношенной в том случае, если период окупаемости капиталовложений, произведенных при ее замене более совершенной техникой, будет короче нормального периода окупаемости самого оборудования.

Моральный износ оборудования определяется и уменьшением стоимости того же оборудования в процессе воспроизводства. Чем выше при этом стоимость старого оборудования, тем больше разница в индивидуальной стоимости нового и старого оборудования и, следовательно, тем выше степень морального износа старого оборудования.

Наряду с бурным развитием технической мысли и внедрением в производство нового, более совершенного оборудования, в нашей промышленности еще значительная часть оборудования эксплуатируется в течение слишком длительного периода. Это явление служит косвенным показателем морального снашивания.

По данным переписи оборудования по состоянию на 1 августа 1958 года, в промышленности Эстонской ССР 42 процента металлорежущих станков прослужило более 10 лет, в том числе 18 процентов — свыше 20 лет. В оснащении кузнечно-прессовых цехов оборудование сроком службы до 10 лет составило 53 процента, от 10 до 20 лет — 28 процентов и свыше 20 лет — 19 процентов. Значительно хуже обстояло дело с технологическим оборудованием: в целлюлозной бумажной и шерстяной промышленности более половины его прослужило свыше 20 лет.

Довольно остро вопрос морального износа стоит в тяжелой промышленности Советского Союза. На июньском (1959 года) Пленуме ЦК КПСС отмечалось, что на заводах Российской Федерации имеется около 80 мелких прокатных станов, из них только три современные, а 77 — это устаревшие станы, XIX и даже XVIII веков. На некоторых из этих устаревших станов производительность труда в 20—30 раз ниже, чем на современных. Такие же примеры можно привести и по другим отраслям промышленности. Использование подобного оборудования на протяжении длительного времени наносит значительный ущерб нашему народному хозяйству, оно недополучает много продукции.

В результате морального износа оборудования в социалистической промышленности возникают потери двоякого характера: покрываемые и непокрываемые. Покрываемые потери возникают на предприятиях при «преждевременной» замене морально изношенного оборудования новым в каждый конкретный момент. Размер покрываемых потерь зависит от тех сумм, которые остались неамортизированными в первоначальной стоимости ликвидируемого оборудования и дополнительных затрат на его демонтаж и приобретение нового, более совершенного оборудования. Последнее, однако, благодаря своей высокой производительности, быстро покрывает дополнительные расходы. Поэтому замена старого оборудования более совершенным оборудованием связано с убытками временного характера, не препятствующими внедрению новой техники.

Непокрываемые потери постоянного характера возникают в том случае, если в народном хозяйстве продолжают производить и использовать малоэффективное морально изношенное оборудование, или если оно своевременно не модернизируется. Убытки при этом, естественно, намного больше, чем в первом случае.

Несмотря на значительно меньший удельный вес покрываемых убытков, они за год также достигают миллиардов рублей. Обобщенные данные о непокрываемых убытках отсут-

ствуют, но отдельные факты свидетельствуют об их размерах. Так, например, уральский автозавод до последнего времени выпускал трехтонные грузовики конструкции 1933 года. Их эксплуатация означает по сравнению с более совершенными марками машин такого же тоннажа перерасход 42 тысяч тонн бензина в год. Использование одного тепловоза ТЭ-2 (коэффициент полезного действия 18 процентов) в течение десяти лет вместо паровоза (коэффициент полезного действия 4—7 процентов) позволило бы государству сэкономить 10 миллионов рублей [4].

Ликвидация и уменьшение вредного влияния морального износа требуют прежде всего прекращения производства морально изношенного оборудования.

Другой проблемой является замена устаревшего оборудования новым. «Преждевременная» замена устаревшего оборудования, правда, сопровождается потерей заключенного в него овещественного труда, но в результате замены достигаются превышающие эти потери экономия живого труда, повышение производительности труда и уровня производства. В 1961 г. на Ордена Ленина хлопчатобумажном комбинате «Кренгольмская Мануфактура» свыше 300 старых механических ткацких станков системы Платт были заменены новыми ткацкими автоматами типа АТ-100-5 М, что дало значительный экономический эффект. Все затраты на приобретение новых станков окупятся уже через 3 года. Но в Эстонской ССР в целом замена устаревшего оборудования новым идет еще недопустимо медленно. В последние годы план внедрения новой техники, модернизации оборудования и замены устаревших машин новыми остался в республике невыполненным. Так в 1960 г. из 348 намеченных мероприятий было осуществлено только 254. Неблагополучным в этом отношении был и 1961 год. На предприятиях Совнархоза из предусмотренных планом 180 мероприятий выполнено 137, т. е. 76%. В результате внедрения в 1961 г. новой техники и замене старого оборудования новым достигнут экономический эффект в сумме 5,4 миллионов рублей и высвобождено 730 человек с годовым фондом зарплаты в сумме 827 тыс. рублей. Экономия в таком масштабе еще раз подчеркивает необходимость укрепления борьбы за выполнение планов развития новой техники.

Существенным фактором, уменьшающим моральный износ оборудования, является модернизация устаревшего оборудования, в результате чего, как показывает практика, производительность оборудования повышается в среднем на 25 процентов, а при комплексной модернизации — даже в 1,5—2 раза.

Все большую роль в уменьшении морального износа приобретает снижение расходов на ремонт оборудования. Снижение стоимости ремонта позволяет восполнять физический износ с меньшими затратами труда, ремонтного оборудования, материалов, электроэнергии и т. д., уменьшая тем самым часть амортизации, идущей на капитальный ремонт. С другой стороны — и это очень существенно — сокращение затрат на ремонт позволяет производить капитальный ремонт в масштабе, превышающем действительный износ, то есть модернизировать ремонтируемое оборудование путем оснащения его дополнительными приспособлениями и более совершенными механизмами. Под влиянием морального износа модернизация, связанная с капитальным ремонтом, стала прямой жизненной потребностью для народного хозяйства.

Больше, чем до сих пор, следует уделять внимания проблеме лучшего, более полного использования оборудования. Например, повышение загрузки оборудования вдвое позволяет в такой же мере сократить угрозу морального износа.

Другим мероприятием, уменьшающим моральный износ, является использование устаревшей техники в менее важных секторах народного хозяйства и сокращение стоимости оборудования за счет уменьшения его излишнего веса при проектировании.

Кроме прямого материального ущерба, моральный износ сопровождается также глубокими социально-экономическими последствиями. В условиях социалистического народного хозяйства учет социально-экономических последствий морального износа оборудования направлено на укрепление социалистической экономики. При социализме замена морально изношенного оборудования более производительным приводит к экономии общественно необходимого рабочего времени и улучшению условий труда.

Е. С. Шлеймович,
студент V курса инженерно-экономического факультета

Научный руководитель: *Э. Г. Вильберт,*
ст. преподаватель

РЕОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО УЧАСТКА ЗАВОДА «ИЛЬМАРИНЕ»

В машиностроительной промышленности важнейшим вспомогательным производством является инструментальное производство. Правильно организованное инструментальное производство является одним из важнейших факторов технического прогресса. На это неоднократно обращалось внимание и на Пленумах Центрального Комитета КПСС, когда на них шла речь о развитии промышленности. За последнее время построено много новых предприятий инструментальной промышленности и расширены старые, созданы мощные специализированные цехи по производству некоторых дефицитных инструментов, предприняты шаги к улучшению качества инструмента. И все же производство инструментов в настоящее время в состоянии удовлетворить только 60% потребности в них народного хозяйства. Для удовлетворения остальной потребности предприятия должны организовать производство инструмента и технологической оснастки в своих инструментальных цехах. Учитывая это, необходимо упорядочить работу инструментальных цехов. Задача настоящей работы — дать обзор деятельности экспериментально-инструментального участка завода «Ильмарине», выявить скрытые резервы и определить пути их мобилизации для улучшения работы участка, выполнения им своих основных задач, как то:

1. Бесперебойное и своевременное снабжение участков инструментальной оснасткой.
2. Сокращение расхода и запасов инструментальной оснастки.
3. Повышение качества инструмента.
4. Снижение затрат на изготовление инструментальной оснастки.

Завод «Ильмарине» является предприятием энергетического машиностроения. Его основную продукцию составляют: обдувочные устройства для котельных агрегатов, дробеструй-

ные установки, магнитные пускатели типа МКР-0-58 и ПМИ-111, переключатели типа КВ и КФ, шкафы автоматического управления, мазутные форсунки, полуавтоматические шлаковые затворы ПМЗ, электропривод, а также изделия ширпотреба (управляемые детские санки и др.). Производство носит в основном серийный характер, хотя некоторые изделия, как например магнитные пускатели, изготавливаются в массовом порядке, а также изделия, как шкафы автоматического управления — единичном порядке. Таким образом, номенклатура выпускаемой заводом продукции весьма разнообразна.

Всю потребность завода в специальном инструменте и приспособлениях должен удовлетворять экспериментально-инструментальный участок завода. От организации работы участка и его производственной мощности зависит бесперебойное и своевременное снабжение основных участков завода качественным специальным инструментом и приспособлением, что в свою очередь влияет на производительность труда, ритmicность производства и качество выпускаемой заводом продукции.

Экспериментально-инструментальный участок завода, кроме изготовления приспособлений и инструмента, которые составляют 72% от всех производимых в течение года экспериментально-инструментальным участком работ, производит также изготовление металлических моделей и кокилей для литейного участка, изготовление опытных образцов изделий и конструктивных узлов, ремонт и восстановление инструмента и приспособления, а также заточку инструмента.

Все выше указанное входит в прямые обязанности экспериментально-инструментального участка. Но, к сожалению, участку приходится выполнять и такие работы, которые никак не связаны с его основной деятельностью. А именно, производить термическую обработку и шлифование деталей изделий, составляющих товарную продукцию завода.

Объясняется это тем, что на участке сосредоточено соответствующее оборудование.

Производство на экспериментально-инструментальном участке носит большей частью индивидуальный характер.

Участок подразделяется по технологическому признаку на отделения:

- 1) механической обработки,
- 2) шлифовально-заточное,
- 3) слесарное,
- 4) термической обработки.

Из обслуживающих хозяйств экспериментально-инструментальный участок имеет: склад заготовок и материалов, про-

межучточную кладовую и инструментально-раздаточную кладовую.

Производственная площадь экспериментально-инструментального участка равна 455 м² и распределяется по отделениям следующим образом:

Таблица 1

Распределение производственной площади по отделениям

№№ п/п	Отделение	Площадь, м ²	Площадь на единицу основного оборудования	Норматив на единицу основного оборудования
1	Механическое	134,7	9,6	10,5—14,5
2	Шлифовально-заточное	71,0	5,9	8—10
3	Слесарное	163,0	16,3	4—6
4	Термическое	86,3	3,1	2,7—3

Как видно из таблицы, производственная площадь механического и шлифовально-заточного отделений не соответствует нормативам. Меньше положенного площади инструментально-раздаточной кладовой и промежуточной кладовой.

Основное оборудование экспериментально-инструментального хозяйства состоит из 28 единиц, что составляет 15% соответствующего оборудования завода, причем многие станки являются устаревшими. Средний коэффициент загрузки оборудования — 0,66, но различные группы оборудования загружены неравномерно. Так «узким местом» на участке являются токарные станки, у которых загрузка намного выше, чем у других станков.

На экспериментально-инструментальном участке действует позаказная система планирования. Все участки к 25-му числу каждого месяца сдают заявки на изготовление инструмента и приспособлений главному технологу завода.

Главный технолог, учитывая заказы участков, заказы, поступающие извне завода, выпуск новых изделий, экспериментальные работы, и зная производственную мощность экспериментально-инструментального участка, составляет месячный план участку. Месячный план состоит из двух частей: номенклатурный план и дополнительный план, в который включены переходящие работы. Итог работы также подводит главный технолог завода.

План по труду и по обработке изделий, составляющих товарную продукцию завода, дает участку планово-производственный отдел завода. Все плановые производственные задания в отчетном году участком выполнялись успешно.

Недостатки в организации и работе экспериментально-инструментального участка:

- 1) значительные недостатки имеются в системе планирования и учета производства,
- 2) отсутствуют технические нормы,
- 3) производственная площадь участка недостаточна,
- 4) недостаточно количество оборудования и рабочих,
- 5) не организована централизованная заточка и доводка основного режущего инструмента,
- 6) плохо используются внутренние резервы повышения производительности труда.
- 7) участие в изготовлении изделий, составляющих товарную продукцию завода.

Все эти недостатки являются причиной того, что экспериментально-инструментальный участок не в состоянии удовлетворить всю потребность завода в специальном инструменте и приспособлении.

Для улучшения работы участка необходимо, в первую очередь, улучшить систему планирования производства. С этой целью нужно создать бюро инструментального хозяйства, обязанностью которого являлось бы определение годовой потребности завода в инструменте и приспособлениях, составление годовых, квартальных и месячных производственных программ экспериментально-инструментального участка, осуществление надзора за эксплуатацией инструмента.

Потребность завода в инструменте и приспособлениях должна определяться, исходя из норм расхода, установленных на каждое изделие. На основании потребности завода в инструменте и приспособлениях должна составляться производственная программа на год. Годовая программа составляется в укрупненном виде по группам оснастки. Эти группы могут быть следующими:

- 1) штампы, 2) прессформы, 3) приспособления для токарных работ, 4) приспособления для фрезерных работ, 5) кондукторы, 6) металлические модели и кокили, 7) режущий инструмент (резцы, фрезерные головки), 8) приспособления для сборки, 9) специальный инструмент, 10) прочие приспособления.

При этом в годовую производственную программу должны быть включены все работы по изготовлению инструмента и приспособлений для выполнения заводом плана по выпуску продукции, изготовлению инструмента и приспособлений для выпуска новых изделий, инструмента второго порядка, ремонту, восстановлению и заточке инструмента, изготовлению опытных образцов и прочих работ.

Годовая производственная программа, выраженная в нормочасах, должна явиться основой при составлении плана по труду, при расчете плановой суммы производственных затрат. Кроме того, годовая объемная программа должна лечь в основу при расчете потребного количества оборудования.

Наряду с позаказной системой планирования необходимо применить и систему планирования «максимум-минимум» для инструмента и приспособлений частого употребления.

Месячные производственные программы должны составляться в нормо-часах и в ценностном выражении. Объем программы определяется исходя из объема производственной программы. Производственная программа на месяц должна состоять из двух разделов: плана выпуска и плана запуска. Месячная программа, заданная экспериментально-инструментальному участку, может считаться выполненной, если выполнено задание по общему объему производства в нормочасах, и кроме того выполнены все позиции ассортиментной программы.

На экспериментально-инструментальном участке завода действует система нарядов — на каждую изготавливаемую деталь и производимую операцию нужно выписывать отдельный наряд. Необходимо перевести участок на маршрутную систему. Здесь на каждую деталь выписывается только один лист, на котором в технологической последовательности отмечаются все операции. Это позволит мастерам больше внимания уделять изготовлению инструмента и контролю за его качеством.

Однако основным условием для улучшения снабжения основного производства инструментом и приспособлениями является увеличение производственной мощности участка.

Для увеличения производственной мощности экспериментально-инструментального участка необходимо, в первую очередь, заменить устаревшее оборудование и приобрести недостающее.

Расчет потребного количества оборудования производится исходя из трудоемкости механической обработки. По производственным расчетам потребность в инструменте и приспособлениях на 1963 год составляет 157 235 нормочасов. (Это более чем в 2 раза превышает количество нормочасов, выработанных в 1962 году). На долю механической обработки из этого количества приходится 94 029 нормочасов. Плановый коэффициент выполнения норм принимается равным 1, 2 и коэффициент загрузки оборудования — 0,8. Расчет потребного количества оборудования приведен в таблице № 2.

Исходя из трудоемкости, потребуется 26 станков, но нужно учитывать специфику инструментального производства.

Расчет потребного количества оборудования

№№ п/п	Группа оборудования	Годовая трудоем- кость ра- бот с учетом планово- го коэф- фиц. вы- полнения норм	Расчет- ная годо- вая тру- доем- кость, в часах	Действи- тельный фонд ра- бочего времени 1 станка, в часах	Количество станков	
					расчет- ное	принято
1	Токарные станки	36 897	46 121	3 976	11,6	12
2	Фрезерные станки	20 675	25 844	3 976	6,5	7
3	Шлифовальные стан- ки	5 725	7 156	3 976	1,8	2
4	Строгальные станки	2 862	3 578	3 976	0,9	1
5	Координатно-расточ- ные станки	2 926	3 657	3 976	0,92	1
6	Долбежные станки	2 576	3 220	3 976	0,81	1
7	Заточные станки	6 696	8 370	3 976	2,11	2
Всего		78 357	97 946	—	24,64	26

Некоторые станки бывают в работе незначительное время, но они необходимы для производства. Поэтому к расчетному количеству оборудования прибавляется два шлифовальных станка, 3 заточных и 3 сверлильных станка. Итак, основное оборудование экспериментально-инструментального участка должно составлять 34 единицы.

Повышение производственной мощности экспериментально-инструментального участка невозможно без увеличения количества рабочих. По расчетам, в основу которых вошло количество основных станков на участке и трудоемкость работ, количество рабочих необходимо увеличить до 86 человек, т. е. в 2 раза.

Площадь, которую в настоящее время занимает экспериментально-инструментальный участок, является недостаточной. Для увеличения производственной площади участка можно надстроить III этаж. Это даст 260 м² дополнительной площади. С надстройкой III этажа необходимо изменить компоновку отделений. На I этаже расположится термическое и шлифовально-заточное отделения, на II этаже механическое отделение, на III — слесарное отделение.

Повышение производственной мощности участка за счет увеличения количества оборудования, рабочих, расширения производственной площади требует капитальных затрат.

Затраты на приобретение нового оборудования

№№ п/п	Наименование станка	Тип	Кол-во	Стоим. единицы оборуд. в руб.	Всего
1	Токарно-винторезные	1К62	4	1405	5620
2	Токарно-винторезные	1Е61	2	1483	2966
3	Вертикально-фрезерный	6Н13П	1	2880	2880
4	Вертикальный шпоночно-фре- зерный	692А	1	1020	1020
5	Вертикально-сверлильный	3225	1	4000	4000
6	Универсальный заточный	2А125	1	530	530
7	Доводочный	3А64	1	605	605
8		3816	1	3220	3220
Всего		—	12	—	20 841

Затраты на увеличение фонда заработной платы составят 61 217 рублей.

Всего капитальные затраты на увеличение производственной мощности экспериментально-инструментального участка составят 585,7 тыс. руб.

Кроме того, значительного повышения производственной мощности участка можно добиться и без капитальных затрат, путем выявления и мобилизации внутренних резервов.

Одним из таких резервов является повышение производительности труда. За счет устранения недостатков в организации производства и повышения трудовой дисциплины можно добиться увеличения производительности труда рабочих на 11,2%.

Повысить мощность экспериментально-инструментального участка можно путем конструирования и применения в инструментальном производстве различных специальных приспособлений, применения новой, усовершенствованной технологии обработки. Например, изменение последовательности технологической обработки и применение специального приспособления для закалки червяка электропривода намного сокращает производственный цикл и улучшает качество детали. Условная годовая экономия составит 1222,2 рубля при затратах на изготовление приспособления 38,6 рубля.

Таким образом, на заводе имеется много резервов повышения производственной мощности экспериментально-инструментального участка, и тем самым улучшения снабжения инструментом и приспособлениями основного производства.

В связи с реорганизацией экспериментально-инструментального участка необходимо обратить особое внимание на

внедрение централизованной заточки основного режущего инструмента — резцов и сверл. Вся централизованную заточку инструмента нужно сосредоточить на экспериментально-инструментальном участке, где имеется соответствующее оборудование и квалифицированная рабочая сила. Дополнительные расходы связаны только с приобретением доводочного станка и изготовлением некоторых специальных приспособлений и составляют 3350 руб. А условная годовая экономия только от централизованной заточки резца составит 8142 рубля. Экономия получается за счет сокращения времени заточки на 40% — 3822 рубля и за счет уменьшения расхода резцов — 4320 рублей.

Таким образом, организация централизованной заточки дает большую экономию, имея следующие преимущества:

- 1) повышается производительность труда станочников,
- 2) снижается себестоимость продукции,
- 3) снижается расход инструмента, так как увеличивается его стойкость,
- 4) становится возможным применение более рациональной технологии обработки,
- 5) высокое качество инструмента дает возможность станочникам достигать большей точности и чистоты обработки,
- 6) уменьшается износ точил.

Все мероприятия, указанные в настоящей работе, должны значительно поднять уровень организации инструментального производства, благодаря чему повысится производительность труда на участках основного производства и снизится себестоимость выпускаемой заводом продукции.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Ю. Э. Энгельбрехт. Некоторые вопросы расчета покрытий	3
2. Ю. А. Тярно. Расчет цилиндрических железобетонных оболочек средней длины	13
3. И. Я. Хархурим. Опыт расчета многоярусной рамы промышленного здания на электронной вычислительной машине М-3	23
4. Ю. Э. Рейсман и А. Р. Сандберг. Измерение потерь воды в жилых зданиях города Таллин	37
5. В. И. Нелис. Борьба со скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах	43
6. Г. В. Таветер. Автоматизация торсионного магнитометра	57
7. Р. А. Ойдрам. Широкополосный усилитель для регистрации ионизационных процессов	61
8. Я. К. Лоотус. О некоторых вопросах расчета машин постоянного тока с печатной обмоткой	71
9. И. Р. Партс. О вопросах магнитной гидравлики униполярного преобразователя	79
10. Р. В. Сиймпоег. Некоторые результаты исследования ударного износа с влажным песком	89
11. Э. В. Юга. Влияние температуры охлаждающей воды на износ цилиндров дизеля 2Ч 8,5/II	97
12. А. М. Иванов. О влиянии температуры наддувочного воздуха на параметры рабочего процесса судового двигателя	103
13. Т. Л. Тепакс. Исследование возможностей производства агара из красных водорослей Балтийского моря	109
14. М. О. Вяги. Исследование синтеза пластификаторов на базе фенолов сланцевой подсмольной воды	117
15. А. Ю. Ваарма. Исследование получения экстракционной фосфорной кислоты из эстонских фосфоритов	125
16. Я. В. Хийе. О фотопроводимости в объеме поликристаллического сульфида кадмия	137
17. Р. Э. Прийма, М. Х. Эверт и др. О закономерностях сланценакопления	147
18. Х. Я. Кала. О моральном износе оборудования в социалистической промышленности	155
19. Е. С. Шлеймович. Реорганизация работы экспериментально-инструментального участка завода «Ильмарине»	165

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
СТУДЕНТОВ IV

Таллинский политехнический институт

Редактор Р. Паккас

Технический редактор Я. Мыттус

Сдано в набор 2 IX 1964. Подписано к печати 27 II 1965.
Бумага 60×90^{1/16}. Печатных листов 11,0. Учетно-издатель-
ских листов 8,5. Тираж 500 экз. МВ-00745.
Заказ 7099.

Типография им. Х. Хейдеманна,
Тарту, ул. Юликооли, 17/19, I

Цена 60 коп.

Цена 60 коп.