

п-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
СССР

6

НОВОСИБИРСК

1959

ИЗВЕСТИЯ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
СССР

6

содержание

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1959

1959 № 6 Известия  
Сибирского отд.  
Академии наук СССР

п 23482

А. С. Оленин. Перевосибирского	3
ФИЗИКА	
Е. И. Харламова. С	7
центрального	
О. В. Ольшевский, строенных эл	18
Г. З. Максимов. Н	27
периодически	
Б. Н. Девятков. Опр	34
непрерывноде	
ций и режим	
Ю. И. Соловьев. К	44
жестким шта	
И. А. Рыков. Управ	50
А. А. Цвид. Расчет	59
лодом	
Н. М. Волкова, Г.	70
фторотитаната калия	
Е. И. Маслова, И. С. Лилеев. О взаимодействии между $Li_2O$ , $Al_2O_3$ , $SiO_2$ и $CaO$ при температурах спекания (Сообщение 4-е)	78
А. Г. Быкова, Е. И. Хазанов. К вопросу о выборе технологической схемы переработки нефелиновых пород Ужурского месторождения Красноярского края	83
Л. И. Верещагин, Е. К. Васильев, А. С. Нахманович, И. Л. Котляревский. Каталитический способ получения и некоторые физические характеристики 2, 4-, 2,6-диметилпиридинов и 2, 4, 6-триметилпиридина	89
М. Ф. Ляпунов. О формировании тенардита в озере Б. Ажбулат	95
БИОЛОГИЯ	
С. А. Коляго. К вопросу использования почвенно-географических материалов для определения направления развития сельского хозяйства и соотношения его основных отраслей	101
И. Л. Клевенская. Распространение и состав актиномицетов в южных черноземах Кулунды	106
Л. А. Мирошниченко. Микробиологические основы применения минеральных удобрений в почвах Иркутской области	112
И. И. Гительзон, И. А. Терсков. Физиологическое значение кислотной стойкости эритроцитов	120
ХРОНИКА	
Научно-техническое совещание по перспективам комплексного использования торфяных ресурсов Новосибирского экономического района.— С. И. Шабанов	134

А. С. ОЛЕНИН

### ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ КРУПНЕЙШИХ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ НОВОСИБИРСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА

XXI съезд партии наметил грандиозную программу развития народного хозяйства страны на семилетие. В соответствии с принципом приближения промышленности к источникам дешевого сырья эта программа предусматривает быстрое развитие производительных сил в восточных районах страны и, в частности, в Западной Сибири, располагающей неисчерпаемыми энергетическими и сырьевыми ресурсами.

Однако в ряде районов Западной Сибири, особенно в Новосибирской области, многие отрасли промышленности и сельскохозяйственного производства вместо максимального использования местных ресурсов до сих пор продолжают ориентироваться на привозное сырье и материалы. Сюда завозят топливо, химикаты, теплоизоляционные и электроизоляционные материалы, лаки и краски, синтетические смолы и пластические массы, удобрения для сельского хозяйства и т. д. Перевозка таких материалов, часто на большие расстояния, вместо изготовления их на месте потребления приводит к нерациональной загрузке транспорта, вызывает большие непроизводительные затраты, сдерживает развитие отдельных важных отраслей промышленности и в итоге наносит огромный ущерб народному хозяйству.

Значительную роль в создании собственной сырьевой базы для топливно-энергетической, химической и других отраслей промышленности Новосибирской области может сыграть комплексное использование имеющихся здесь крупнейших торфяных ресурсов.

По предварительным подсчетам, разведанные промышленные запасы торфа в Новосибирской области позволяют организовать только на первоочередных массивах ежегодную добычу до 25 млн. т торфа.

Из этого торфа при условии его комплексного использования с применением уже разработанных технологических схем и процессов можно ежегодно получать до 1 млн. т торфяных брикетов для бытовых целей, 2,5 млн. т высококачественного торфяного кокса для металлургических целей, 3,6 млрд. м<sup>3</sup> высококалорийного газа для промышленных и бытовых целей, а также для органического синтеза, 500 тыс. т фенолов, 25 тыс. т фурфурола, 75 тыс. т органических кислот (уксусной, щавелевой и др.), 240 тыс. т кормовых дрожжей, 80 тыс. т высококачественного воска, 200 тыс. т торфоаммиачных удобрений, до 5 млн. м<sup>2</sup> торфоизоляционных плит для строительства и отдельных видов машиностроения, кроме того, 8—10 млн. т торфяного топлива можно использовать на тепловых электростанциях, причем этого количества достаточно для работы электростанций мощностью до 1,0 млн. квт.

Организация в Новосибирском экономическом районе производства перечисленных промышленных продуктов на базе комплексного использования местных торфяных ресурсов коренным образом изменит облик и технико-экономические показатели работы многих отраслей промышлен-

п 23482  
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
А. М. КИРГИЗСКОЙ О. Р.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), член-корр. Н. П. Дубинин, д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, проф. В. А. Кротов, член-корр. А. В. Николаев, член-корр. И. И. Новиков, член-корр. Г. А. Пруденский, акад. С. Л. Соболев (главный редактор), д-р биол. наук К. А. Соболевская.

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская, 20.

ности и сельского хозяйства и обеспечит еще более высокие темпы развития производительных сил.

Характерным для Новосибирской области, с точки зрения создания здесь местной химической сырьевой базы, является наличие, с одной стороны, крупнейших торфяных ресурсов, исчисляемых почти в 7 млрд. т, и с другой — расположение на границе области, в соседнем Алтайском крае, горько-соленых озер (Кучук, Малиновое и др.) с огромными запасами мирабилита, соды, поваренной и других солей.

Такое сочетание минерального и органического сырья создает, по мнению Новосибирского совнархоза, исключительно благоприятные условия для строительства крупного высокорентабельного химического комбината, который может обеспечить выпуск чрезвычайно широкого ассортимента синтетических материалов и изделий из них. Продукция комбината вместе с продукцией мощной коксохимической промышленности Кемеровского совнархоза могла бы в значительной мере покрывать потребности не только одного Новосибирского, но и смежных районов, а также идти на экспорт.

Освоение торфяных ресурсов Новосибирской области в крупнопромышленных масштабах представляет, таким образом, непосредственный практический интерес.

Прошедшее в декабре 1958 г. в Новосибирске специальное совещание по проблеме комплексного использования торфяных ресурсов полностью одобрило необходимость скорейшего освоения торфяных массивов и создания на их базе ряда важнейших отраслей производства: энерго-газохимического, изоляционно-строительных материалов, торфобрикетного и др.

Предпосылками к успешному решению этой проблемы являются благоприятное географическое размещение здесь торфяных массивов, концентрация огромных запасов торфа в них и высокое качество торфяных залежей.

Одним из наиболее перспективных для комплексного освоения является Васюганский торфяной массив, расположенный в северной части Новосибирской области и переходящий на территорию Томской области. Этот массив как по площади, так и по запасам торфа является крупнейшим в мире. В нем сосредоточено более 14300 млн. т торфа.

Южная и юго-восточная части массива, имеющие площадь около 1,0 млн. га, представляют особенно большой интерес для первоочередного освоения в крупных масштабах. Здесь сосредоточены залежи торфа низинного и верхового типа, который можно использовать как в качестве топлива и химического сырья, так и для производства изоляционно-строительных материалов, подстилки и т. п.

Для конфигурации этих частей массива в плане и стратиграфии залежей по низинным и верховым участкам характерна компактность распределения промышленных запасов, а это создает надежные условия для организации здесь комплексного использования торфяных ресурсов в больших масштабах с применением наиболее прогрессивного, фрезерного способа добычи торфа.

Качественная характеристика залежи отличается наиболее устойчивыми показателями как по видам торфа, так и по зольности и степени разложения. Этим обеспечивается получение достаточно равноценной продукции в соответствии с требованиями потребителей.

Общие химическая и агрохимическая характеристики торфов Васюганского торфяного массива в сопоставлении с торфами центральных районов страны приведены в табл. 1 и 2. Как видно из таблиц, торфа Васюганского массива отличаются высокими качественными показателями.

Таблица 1

## Сравнительная химическая характеристика торфов Западной Сибири и районов Центра

Показатели	Западная Сибирь (Васюганский массив, Тара-Тартасское месторождение)						Центр (Оринский Мох, Сулово-Панфиловский, Радованский Мох)		
	виды торфяной залежи						виды торфяной залежи		
	флуксум	комплексная верховая	медную	сфагново-осоковую	осоково-топяную	гипново-топяную	комплексная верховая	медную	шейхпер-сфагновою
Степень разложения, %	12	17	25	20	25	30	25	27	35
Зольность, %	2	3,5	2,0	4,18	5,95	5,31	2,4	4,0	3,0
Полукоксы в % на сухой беззольный торф	36,10	39,22	37,10	37,20	41,98	38,01	40,93	38,0	43
Смола »	9,20	9,55	9,64	9,80	12,12	9,36	15,77	14,3	17,8
Подсмольные воды »	27,16	26,92	27,60	24,70	16,14	21,33	22,28	29,3	19,0
Газ+потери »	27,54	24,31	25,66	28,30	29,76	31,40	21,02	18,4	20,2

Таблица 2

## Агрохимическая характеристика торфов Западной Сибири

Показатели	Древесно-переходный	Осоково-переходный	Тростниково-переходный	Гипново-переходный	Гипново-низинный	Гипново-низинный, железистые карбонаты	Древесно-низинный
Степень разложения, %	30	30	35	35	33	41	35
Зольность абс. сух., %	7,8	10,8	15,0	16,1	14,3	36,6	15,0
Кислотность (pH)	6,8	7,0	7,5	6,5	7,0	7,3	7,5
Азот общий, %	2,90	3,12	3,60	3,28	3,15	3,21	2,82
Фосфор общий, %	0,79	0,33	0,23	—	0,48	0,39	0,30
Кальций, %	7,64	10,71	19,21	9,82	12,06	45,14	11,59
Калий, %	0,12	0,16	0,11	0,20	0,39	0,30	0,18

Топографическое положение торфяных месторождений Западной Сибири по отношению к основным водоприемникам обеспечивает возможность донного осушения массивов, с уклонами в магистральных каналах, равным 0,0005—0,001. Климатическая характеристика района Васюганского массива (табл. 3) показывает, что возможности для есте-

Таблица 3

## Сравнительная климатическая характеристика Новосибирской области и центральных областей страны за период май—август

Показатели	Новосибирская обл.	Районы Центра (Московская обл.)
Продолжительность периода сушки торфа ( <i>t</i> воздуха около +10°), дней	106	118
Влажность воздуха относительная, %	69	71,5
Количество ясных дней	28	33,5
Количество полужасных дней	25	32
Количество активных дней сушки торфа	73	79
Среднесуточная температура воздуха в период сушки торфа, °С	+16,8	+15,3
Среднегодовые осадки, мм	380	620
Среднегодовая температура, °С	-1,5	+2,7
Возможное количество циклов при фрезерной добыче торфа	24	25

ственной сушки торфа в Новосибирской области иные, чем в центральных торфодобывающих областях, однако они вполне достаточны для организации здесь крупнопромышленного торфяного производства.

Промышленное освоение юго-восточной части Васюганского торфяного массива позволит уже на участках первой очереди обеспечить ежегодную добычу торфа в 5—6 млн. т и создать на этой базе производство газа, химических продуктов, торфяных брикетов, изоляционно-строительных плит, подстилки и удобрения.

Процесс строительства здесь крупного промышленного торфопредприятия будет облегчаться тем, что к этой части торфяного массива уже подведена ширококолейная лесовозная железная дорога, по которой можно будет вначале перевозить машины и механизмы для строительства, а затем и вывозить готовую продукцию.

Кроме Васюганского торфяного массива, который может обеспечить ежегодную добычу 25—30 млн. т торфа, на территории Новосибирской области имеется более 300 небольших по площади торфяников, представляющих интерес для местной добычи торфа совхозами и колхозами на удобрение, подстилку и топливо.

Использование малых торфяников для заготовки удобрения и подстилки имеет большое значение, так как малогумусные оподзоленные и солончаковые почвы области требуют внесения большого количества удобрений. Крайняя необходимость внесения в почву местных органических удобрений, в частности торфяных, отмечена в решениях выездной сессии ВАСХНИЛ по вопросам развития сельского хозяйства Новосибирской области, состоявшейся в августе 1958 г. в Новосибирске.

Наиболее рациональным путем использования торфа в сельском хозяйстве области является производство торфоаммиачных удобрений, а также торфяной подстилки. Затраты на производство и особенно вывозку торфяных удобрений по сравнению с чистым торфом значительно ниже, а эффективность применения торфа при этом в несколько раз большая.

Таким образом, Новосибирская область, располагая огромными торфяными ресурсами, имеет широкие возможности как для крупнопромышленной добычи торфа, так и для заготовки его колхозами и совхозами на топливо, удобрение, подстилку и другие цели.

Поставленные в настоящее время новосибирскими областными организациями и Сибирским отделением Академии наук СССР задачи комплексного освоения торфяных ресурсов для развития химической промышленности, газификации промышленных центров, производства торфяного топлива, изоляционно-строительных материалов и эффективных видов торфяных удобрений являются крупными народнохозяйственными задачами. Реальность их решения в предстоящем семилетии предопределяется современным высоким уровнем техники и механизации торфяного производства, заинтересованностью в этом важном деле не только местных организаций, но и всего коллектива работников торфяной промышленности нашей страны.

Главное управление торфяного фонда  
при Совете Министров РСФСР

Поступила в редакцию  
12/II 1959

Е. И. ХАРЛАМОВА

### О ДВИЖЕНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЬЮТОНОВСКОМ ПОЛЕ СИЛ

§ 1. Рассмотрим твердое тело, центр масс которого является неподвижной точкой  $O$ . Допустим, что каждая частица  $m_i$  данного тела притягивается неподвижной точкой  $C$  по закону Ньютона:

$$\vec{F}_i = -f \frac{m_i}{r_i^2} \vec{r}_i,$$

где  $\vec{r}_i$  — вектор, проведенный из точки  $C$  к частице  $m_i$ ,  
 $f$  — некоторая постоянная.

Неподвижные оси координат  $O\xi\eta\zeta$  с началом в точке  $O$  выбираем так, чтобы ось  $O\zeta$  проходила через точку  $C$  по направлению от  $C$  к  $O$ . Если расстояние  $OC$  обозначить через  $R$ , то координаты точки  $C$  в этой системе есть  $(0, 0, -R)$ . Координаты частицы  $m_i$  обозначим через  $(\xi_i, \eta_i, \zeta_i)$ . Обозначим  $\frac{f}{R^2}$  через  $g$ , тогда  $F_i = m_i g \frac{R^2}{r_i^2}$  и проекции силы  $\vec{F}_i$  на оси  $O\xi\eta\zeta$  будут

$$F_{i\xi} = -F_i \frac{\xi_i}{r_i} = -m_i g \frac{R^2 \xi_i}{r_i^3}, \quad F_{i\eta} = -F_i \frac{\eta_i}{r_i} = -m_i g \frac{R^2 \eta_i}{r_i^3},$$

$$F_{i\zeta} = -F_i \frac{R + \zeta_i}{r_i} = -m_i g \frac{(R + \zeta_i) R^2}{r_i^3}.$$

Предположим теперь, что размеры тела малы по сравнению с  $R$ . Тогда, рассматривая отношения координат точки  $m_i$  к  $R$  как величины первого порядка малости и сохраняя в вычислениях лишь первые степени этих отношений, воспользовавшись соотношением  $r_i^2 = \xi_i^2 + \eta_i^2 + (R + \zeta_i)^2$ , найдем:

$$F_{i\xi} = -m_i g \frac{\xi_i}{R}, \quad F_{i\eta} = -m_i g \frac{\eta_i}{R}, \quad F_{i\zeta} = -m_i g + 2m_i g \frac{\zeta_i}{R}.$$

Эту силу можно рассматривать как результирующую двух сил с компонентами

$$\left( -m_i g \frac{\xi_i}{R}, \quad -m_i g \frac{\eta_i}{R}, \quad -m_i g \frac{\zeta_i}{R} \right), \\ (0, 0, -m_i g + m_i \mu \zeta_i), \quad (1^1)$$

где через  $\mu$  обозначена постоянная  $3 \frac{g}{R}$ . Первая из этих сил проходит через неподвижную точку, сила  $(1^1)$  параллельна оси  $O\zeta$ .

Свяжем неизменно с телом систему координат  $Oxuz$ , направив оси

этой системы по главным осям эллипсоида инерции тела для неподвижной точки  $O$ . Моменты инерции тела относительно этих осей обозначим через  $A, B, C$  и введем величины  $a, b, c$  равенствами  $a^2 = \frac{1}{A}$ ,  $b^2 = \frac{1}{B}$ ,  $c^2 = \frac{1}{C}$ . Будем считать для определенности  $a > b > c$ .

В качестве параметров, определяющих положение тела, выберем эллиптические координаты  $u, v$  на поверхности эллипсоида инерции, связанные с углами Эйлера соотношениями,

$$\begin{aligned} \sin^2 \Theta \sin^2 \varphi &= \frac{(a^2 + u)(a^2 + v)}{(b^2 - a^2)(c^2 - a^2)}, & \sin^2 \Theta \cos^2 \varphi &= \frac{(b^2 + u)(b^2 + v)}{(c^2 - b^2)(a^2 - b^2)}, \\ \cos^2 \Theta &= \frac{(c^2 + u)(c^2 + v)}{(a^2 - c^2)(b^2 - c^2)}, \end{aligned} \quad (1^2)$$

и угол прецессии  $\psi$ . В последующем для сокращения записи введем обозначения

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{\frac{(a^2 + u)(a^2 + v)}{(b^2 - a^2)(c^2 - a^2)}}, & \gamma' &= \sqrt{\frac{(b^2 + u)(b^2 + v)}{(c^2 - b^2)(a^2 - b^2)}}, \\ \gamma'' &= \sqrt{\frac{(c^2 + u)(c^2 + v)}{(a^2 - c^2)(b^2 - c^2)}}. \end{aligned} \quad (1^3)$$

Очевидно, имеет место тождество

$$\gamma^2 + \gamma'^2 + \gamma''^2 = 1. \quad (1^4)$$

Величины  $\gamma, \gamma', \gamma''$  имеют геометрический смысл направляющих косинусов оси  $Oz$  по отношению к осям  $Oxyz$ .

Пусть  $x_i, y_i, z_i$  — координаты частицы  $m_i$  в системе  $Oxyz$ , тогда  $\zeta_i = x_i \gamma + y_i \gamma' + z_i \gamma''$ , проекции силы (1) на оси  $Oxyz$  запишутся так:

$$\begin{aligned} F_{ix} &= -m_i g \left[ 1 - \frac{\mu}{g} (x_i \gamma + y_i \gamma' + z_i \gamma'') \right] \gamma, & F_{iy} &= -m_i g \left[ 1 - \frac{\mu}{g} (x_i \gamma + \right. \\ & & \left. + y_i \gamma' + z_i \gamma'') \right] \gamma', & F_{iz} &= -m_i g \left[ 1 - \frac{\mu}{g} (x_i \gamma + y_i \gamma' + z_i \gamma'') \right] \gamma''. \end{aligned}$$

Эта система сил имеет силовую функцию

$$U = -\frac{\mu}{2} (A\gamma^2 + B\gamma'^2 + C\gamma''^2). \quad (1^5)$$

Имеем вследствие (1<sup>3</sup>):

$$A\gamma^2 + B\gamma'^2 + C\gamma''^2 = \frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2} = \frac{uv}{a^2 b^2 c^2}, \quad U = -\frac{\mu}{2} \frac{uv}{a^2 b^2 c^2}. \quad (1^6)$$

Движение твердого тела вокруг неподвижной точки под действием сил, имеющих силовую функцию (1<sup>5</sup>), рассматривалось различными авторами.

В задаче Брюна (см. [1], стр. 499) силовая функция имеет вид (1<sup>5</sup>). Кроме известных интегралов энергии и площадей, Брюн указал еще один интеграл в виде

$$A^2 p^2 + B^2 q^2 + C^2 r^2 - \mu(BC\gamma^2 + CA\gamma'^2 + AB\gamma''^2) = \kappa. \quad (1^7)$$

Задачу Брюна привел к квадратурам Кобб ([2], стр. 210—215), выбрав в качестве параметров, определяющих положение тела, углы Эйлера. При этом общее решение задачи получено Коббом в виде интегралов

лов от полных дифференциалов, связанных с некоторой алгебраической поверхностью.

Исследуя вопрос о характеристической функции в динамике твердого тела, Чаплыгин [3] приводит к квадратурам задачу о движении твердого тела, рассмотренную Клебшем и Вебером. И в этой задаче силовая функция записывается в виде (1<sup>5</sup>). Придавая большое значение удачному выбору параметров, Чаплыгин берет в качестве определяющих параметров указанные выше эллиптические координаты  $u, v$  и угол прецессии  $\psi$ . Чаплыгин ограничивается рассмотрением лишь того случая, которому в нашей задаче соответствует равенство нулю постоянной интеграла площадей. В настоящей работе это ограничение снимается.

§ 2. Компоненты угловой скорости тела в осях  $Oxyz$  связаны с углами Эйлера и их производными следующими зависимостями:

$$p = \dot{\psi} \sin \Theta \sin \varphi + \dot{\Theta} \cos \varphi, \quad q = \dot{\psi} \sin \Theta \cos \varphi - \dot{\Theta} \sin \varphi, \quad r = \dot{\psi} \cos \Theta + \dot{\varphi},$$

что с учетом (1<sup>2</sup>), (1<sup>3</sup>) дает

$$p = \dot{\psi} \gamma - \frac{\gamma' \dot{\gamma}''}{\gamma^2 + \gamma'^2}, \quad q = \dot{\psi} \gamma' + \frac{\gamma'' \dot{\gamma}'}{\gamma^2 + \gamma'^2}, \quad r = \dot{\psi} \gamma'' + \frac{\gamma \dot{\gamma} - \dot{\gamma} \gamma''}{\gamma^2 + \gamma'^2}. \quad (2^1)$$

Кинетический момент тела относительно оси  $Oz$  обозначим через  $n = Ap\gamma + Bq\gamma' + Cr\gamma''$ . Подставив сюда выражения (2<sup>1</sup>), получим

$$n = \dot{\psi} \left( \frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2} \right) + \frac{\gamma \gamma' \dot{\gamma}'' - \gamma' \dot{\gamma} \gamma''}{c^2 (\gamma^2 + \gamma'^2)} \left[ \frac{c^2 (a^2 - b^2)}{a^2 b^2} \frac{\dot{\gamma}''}{\gamma''} + \frac{\dot{\gamma}}{\gamma} - \frac{\dot{\gamma}'}{\gamma'} \right], \quad (2^2)$$

что с учетом (1<sup>3</sup>) дает

$$n = \dot{\psi} \frac{uv}{a^2 b^2 c^2} +$$

$$+ \frac{\sqrt{-f(u)f(v)} \left\{ [a^2 b^2 - c^2 (a^2 + b^2 + u)] \frac{u \dot{u}}{f(u)} + [a^2 b^2 - c^2 (a^2 + b^2 + v)] \frac{v \dot{v}}{f(v)} \right\}}{2a^2 b^2 c^2 [(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]}, \quad (2^3)$$

где

$$f(u) = (a^2 + u)(b^2 + u)(c^2 + u).$$

Исключая  $\dot{\psi}$  из (2<sup>1</sup>) при помощи (2<sup>2</sup>), находим

$$\begin{aligned} p \left( \frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2} \right) &= n \gamma + \frac{\gamma' \dot{\gamma}''}{c^2} - \frac{\gamma \dot{\gamma}'}{b^2}, & q \left( \frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2} \right) &= \\ &= n \gamma' + \frac{\dot{\gamma}''}{a^2} - \frac{\gamma' \dot{\gamma}'}{c^2}; \end{aligned} \quad (2^4)$$

$$r \left( \frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2} \right) = n \gamma'' + \frac{\gamma \dot{\gamma}}{b^2} - \frac{\dot{\gamma}'}{a^2}.$$

Кинетическую энергию тела преобразуем с учетом (2<sup>4</sup>) к виду

$$\begin{aligned} 2T = Ap^2 + Bq^2 + Cr^2 &= \frac{n^2}{\frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2}} + \frac{1}{a^2 b^2 c^2} \cdot \left[ \frac{a^2 \dot{\gamma}^2 + b^2 \dot{\gamma}'^2 + c^2 \dot{\gamma}''^2}{\frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2}} - \right. \\ & \left. - \left( \frac{\dot{\gamma} + \gamma' \dot{\gamma} + \gamma'' \dot{\gamma}''}{\frac{\gamma^2}{a^2} + \frac{\gamma'^2}{b^2} + \frac{\gamma''^2}{c^2}} \right)^2 \right]. \end{aligned}$$

Вследствие тождества (14) имеем  $\dot{\gamma}\dot{\gamma} + \dot{\gamma}'\dot{\gamma}' + \dot{\gamma}''\dot{\gamma}'' = 0$ . Переходя к переменным  $u, v$ , получаем

$$2T = \frac{a^2 b^2 c^2}{uv} n^2 + \frac{u-v}{4uv} \left[ \frac{u\dot{u}^2}{f(u)} - \frac{v\dot{v}^2}{f(v)} \right]. \quad (2^5)$$

Подстановка (24) в (17) дает

$$\begin{aligned} & n^2 \left( \frac{\dot{\gamma}^2}{a^4} + \frac{\dot{\gamma}'^2}{b^4} + \frac{\dot{\gamma}''^2}{c^4} \right) + \frac{1}{a^4 b^4 c^4} \left[ \dot{\gamma}'^2 \dot{\gamma}''^2 \left( b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} - c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} \right)^2 + \right. \\ & \left. + \dot{\gamma}''^2 \dot{\gamma}^2 \left( c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} - a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} \right)^2 + \dot{\gamma}^2 \dot{\gamma}'^2 \left( a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} - b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} \right)^2 \right] + \\ & + 2n \frac{\dot{\gamma}' \dot{\gamma}''}{a^2 b^2 c^2} \left[ \frac{1}{a^2} \left( b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} - c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} \right) + \frac{1}{b^2} \left( c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} - a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} \right) + \frac{1}{c^2} \left( a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} - b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} \right) \right] - \\ & - \frac{\mu}{a^2 b^2 c^2} \left( a^2 \dot{\gamma}^2 + b^2 \dot{\gamma}'^2 + c^2 \dot{\gamma}''^2 + \frac{\kappa}{\mu} a^2 b^2 c^2 \right) \left( \frac{\dot{\gamma}^2}{a^2} + \frac{\dot{\gamma}'^2}{b^2} + \frac{\dot{\gamma}''^2}{c^2} \right) = 0. \quad (2^6) \end{aligned}$$

Из (13) находим

$$\frac{\dot{\gamma}^2}{a^4} + \frac{\dot{\gamma}'^2}{b^4} + \frac{\dot{\gamma}''^2}{c^4} = \frac{1}{a^2 b^2 c^2} \left[ u + v + uv \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right) \right]; \quad a^2 \dot{\gamma}^2 + b^2 \dot{\gamma}'^2 + c^2 \dot{\gamma}''^2 = u + v + a^2 + b^2 + c^2;$$

$$\begin{aligned} & \dot{\gamma}'^2 \dot{\gamma}''^2 \left( b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} - c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} \right)^2 + \dot{\gamma}''^2 \dot{\gamma}^2 \left( c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} - a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} \right)^2 + \dot{\gamma}^2 \dot{\gamma}'^2 \left( a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} - b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} \right)^2 = \\ & = \frac{v-u}{4} \left[ \frac{u^2 \dot{u}^2}{f(u)} - \frac{v^2 \dot{v}^2}{f(v)} \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{a^2} \left( b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} - c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} \right) + \frac{1}{b^2} \left( c^2 \frac{\dot{\gamma}''}{\dot{\gamma}} - a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} \right) + \frac{1}{c^2} \left( a^2 \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} - b^2 \frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}} \right) = \\ & = \frac{(a^2 - b^2)(b^2 - c^2)(a^2 - c^2)}{2a^2 b^2 c^2} \left[ \frac{u^2 \dot{u}}{f(u)} + \frac{v^2 \dot{v}}{f(v)} \right]; \end{aligned}$$

$$\dot{\gamma}' \dot{\gamma}'' = \frac{\sqrt{-f(u)f(v)}}{(a^2 - b^2)(b^2 - c^2)(a^2 - c^2)}.$$

Поэтому (26) записывается так:

$$\begin{aligned} & \frac{a^2 b^2 c^2 n^2}{u^2 v^2} \left[ u + v + uv \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right) \right] + \frac{v-u}{4u^2 v^2} \left[ \frac{u^2 \dot{u}^2}{f(u)} - \frac{v^2 \dot{v}^2}{f(v)} \right] + \\ & + \frac{n \sqrt{-f(u)f(v)}}{u^2 v^2} \left[ \frac{u^2 \dot{u}}{f(u)} + \frac{v^2 \dot{v}}{f(v)} \right] - \frac{\mu}{a^2 b^2 c^2} (a^2 + b^2 + c^2 + u + v) = \kappa. \quad (2^7) \end{aligned}$$

Канонические импульсы определяются формулами

$$p_\psi = \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \frac{a^2 b^2 c^2}{uv} n \frac{\partial n}{\partial \dot{\psi}}; \quad p_u = \frac{\partial T}{\partial \dot{u}} = \frac{u-v}{4vf(u)} \dot{u} + \frac{a^2 b^2 c^2}{uv} n \frac{\partial n}{\partial \dot{u}};$$

$$p_v = \frac{\partial T}{\partial \dot{v}} = \frac{v-u}{4uf(v)} \dot{v} + \frac{a^2 b^2 c^2}{uv} n \frac{\partial n}{\partial \dot{v}}.$$

Подставив сюда значения частных производных от  $n$  по  $\dot{\psi}, \dot{u}, \dot{v}$ , полученные из (23), находим

$$\begin{aligned} p_\psi &= n; \quad p_u = \frac{u-v}{4vf(u)} \dot{u} + \frac{n[a^2 b^2 - c^2(a^2 + b^2 + u)]}{2v[(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{-\frac{f(v)}{f(u)}}; \\ p_v &= \frac{v-u}{4uf(v)} \dot{v} + \frac{n[a^2 b^2 - c^2(a^2 + b^2 + v)]}{2u[(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{-\frac{f(u)}{f(v)}}. \quad (2^8) \end{aligned}$$

Выражая из (28)  $\dot{u}, \dot{v}$  в зависимости от  $p_u, p_v, p_\psi$  и подставляя полученные формулы в (25), находим выражение кинетической энергии через канонические импульсы, затем составляем функцию Гамильтона  $H(p_u, p_v, p_\psi, u, v)$ . Определяемые этой функцией канонические уравнения имеют, кроме циклического интеграла  $p_\psi = n = \text{const}$  и интеграла энергии  $H(p_u, p_v, p_\psi, u, v) = h$ , интеграл (27), который в результате замены  $\dot{u}, \dot{v}$  через канонические импульсы приобретает вид  $F(p_u, p_v, p_\psi, u, v) = k$ . Эти три интеграла образуют полную систему, и, следовательно, найденные из них значения  $p_u, p_v, p_\psi$  обращают в полный дифференциал выражение

$$p_u du + p_v dv + p_\psi d\psi = dW.$$

Полный интеграл соответствующего уравнения в частных производных Гамильтона — Якоби находится, таким образом, квадратурой.

Итак, задача сводится к установлению зависимости канонических импульсов от координат  $u, v$  и произвольных постоянных  $n, h, k$ .

Интеграл энергии  $T - U = h$  записывается с учетом (25) и (16) в виде

$$\frac{u-v}{4uv} \left[ \frac{u\dot{u}^2}{f(u)} - \frac{v\dot{v}^2}{f(v)} \right] + \frac{a^2 b^2 c^2}{uv} n^2 + \mu \frac{uv}{a^2 b^2 c^2} = 2h. \quad (2^9)$$

Из (27) и (29), решая уравнение четвертой степени, получаем

$$\frac{\dot{u}}{f(u)} = U(u, v, n, h, k), \quad \frac{\dot{v}}{f(v)} = V(u, v, n, h, k). \quad (2^{10})$$

Вследствие (28), (2^{10}) можем записать:

$$\frac{\partial W}{\partial \dot{\psi}} = n; \quad \frac{\partial W}{\partial u} = \frac{n[a^2 b^2 - c^2(a^2 + b^2 + u)]}{2v[(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{-\frac{f(v)}{f(u)}} + \frac{u-v}{4v} U;$$

$$\frac{\partial W}{\partial v} = \frac{n[a^2 b^2 - c^2(a^2 + b^2 + v)]}{2u[(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{-\frac{f(u)}{f(v)}} + \frac{v-u}{4u} V;$$

откуда

$$\begin{aligned} W &= n(\psi - \psi_0) + \int_{u_0}^u \left\{ \frac{n[a^2 b^2 - c^2(a^2 + b^2 + u)]}{2v[(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{-\frac{f(v)}{f(u)}} + \right. \\ & \left. + \frac{u-v}{4v} U(u, v, n, h, k) \right\} du + \int_{v_0}^v \left\{ \frac{n[a^2 b^2 - c^2(a^2 + b^2 + v)]}{2u[(c^2 + v)(c^2 + u) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \times \right. \\ & \left. \times \sqrt{-\frac{f(u)}{f(v)}} + \frac{v-u}{4u} V(u, v, n, h, k) \right\} dv. \end{aligned}$$

Интегралами канонической системы являются

$$\frac{\partial W}{\partial h} = t - \tau; \quad \frac{\partial W}{\partial k} = x; \quad \frac{\partial W}{\partial n} = y,$$

где  $\tau, x, y$  — постоянные интегрирования. Выпишем эти интегралы в развернутом виде:

$$\begin{aligned}
 t - \tau &= \int_{u_0}^u \frac{u-v}{4v} \frac{\partial U(u, v, n, h, k)}{\partial h} du + \int_{v_0}^v \frac{v-u_0}{4u_0} \frac{\partial V(u_0, v, n, h, k)}{\partial h} dv; \\
 x &= \int_{u_0}^u \frac{u-v}{4v} \frac{\partial U(u, v, n, h, k)}{\partial k} du + \int_{v_0}^v \frac{v-u_0}{4u_0} \frac{\partial V(u_0, v, n, h, k)}{\partial k} dv; \quad (2^{11}) \\
 \psi - \psi_0 &= \int_{u_0}^u \left\{ \frac{c^2(a^2 + b^2 + u) - a^2 b^2}{2v[(c^2 + u)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{\frac{f(v)}{f(u)}} + \right. \\
 &+ \left. \frac{v-u}{4v} \frac{\partial U(u, v, n, h, k)}{\partial n} \right\} du + \int_{v_0}^v \left\{ \frac{c(a^2 + b^2 + v) - a^2 b^2}{2u_0[(c^2 + u_0)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]} \sqrt{\frac{f(u_0)}{f(v)}} - \right. \\
 &\left. - \frac{v-u_0}{4v_0} \frac{\partial V(u_0, v, n, h, k)}{\partial n} \right\} dv.
 \end{aligned}$$

Используя начальные данные  $u(t_0) = u_0$ ;  $v(t_0) = v_0$ ;  $\psi(t_0) = \psi_0$ , находим из (2<sup>11</sup>)

$$\tau = t_0, \quad x = 0, \quad \psi = \psi_0.$$

Для определения входящих в (2<sup>11</sup>) производных от  $U, V$  по  $n, h, k$  подставим (2<sup>10</sup>) в (2<sup>7</sup>), (2<sup>9</sup>), продифференцируем полученные тождества по этим постоянным и разрешим появляющиеся при этом уравнения относительно интересующих нас производных. Получаем

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial U}{\partial h} &= \frac{uv^3}{D} \left[ f(v)V + \frac{2n}{u-v} \sqrt{-f(u)f(v)} \right]; \quad \frac{\partial V}{\partial h} = \frac{uv^3}{D} \left[ f(u)U + \frac{2n}{v-u} \sqrt{-f(u)f(v)} \right]; \\
 \frac{\partial U}{\partial k} &= \frac{u^2 v^3}{D} f(v)V; \quad \frac{\partial V}{\partial k} = \frac{v^2 u^3}{D} f(u)U; \\
 \frac{\partial U}{\partial n} &= -\frac{2a^2 b^2 c^2 n v^2}{D} \left[ f(v)V + \frac{2n}{u-v} \sqrt{-f(u)f(v)} \right] - \frac{v f(v)}{D} V \left\{ (u^2 U + \right. \\
 &+ v^2 V) \sqrt{-f(u)f(v)} + 2na^2 b^2 c^2 \left[ u + v + uv \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right) \right] \left. \right\}; \quad (2^{12}) \\
 \frac{\partial V}{\partial n} &= -\frac{2a^2 b^2 c^2 n u^2}{D} \left[ f(u)U + \frac{2n}{v-u} \sqrt{-f(u)f(v)} \right] - \frac{u f(u)}{D} U \left\{ (u^2 U + \right. \\
 &+ v^2 V) \sqrt{-f(u)f(v)} + 2na^2 b^2 c^2 \left[ u + v + uv \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right) \right] \left. \right\},
 \end{aligned}$$

где

$$D = -\frac{uv}{2} \sqrt{-f(u)f(v)} \left\{ (u-v)^2 UV \sqrt{-f(u)f(v)} - 2n[vf(u)U + uf(v)V] \right\}.$$

Выражения (2<sup>11</sup>) с подстановкой в них (2<sup>12</sup>) и дают полное аналитическое решение рассматриваемой задачи.

§ 3. Вследствие сложности полученных аналитических выражений естественно возникает вопрос о геометрической картине движения. Чаплыгин [4] дал геометрическую картину движения в случае Клебша при условии Вебера. Вследствие того, что некоторые переменные в нашей задаче имеют не тот механический смысл, что в задаче Чаплыгина, его результаты переносятся сюда с некоторыми изменениями.

Как и в исследованиях Чаплыгина, полагаем здесь  $n = 0$ . Введем новые переменные  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$ , связанные с  $p, q, r$  равенствами

$$\xi_1 = \frac{BC(r\gamma' - q\gamma'')}{A\gamma'^2 + B\gamma'^3 + C\gamma'^3}; \quad \xi_2 = \frac{CA(p\gamma'' - r\gamma)}{A\gamma'^2 + B\gamma'^3 + C\gamma'^3}; \quad \xi_3 = \frac{AB(q\gamma - p\gamma')}{A\gamma'^2 + B\gamma'^3 + C\gamma'^3},$$

из которых получаем вследствие того, что  $Ap\gamma + Bq\gamma' + Cr\gamma'' = 0$ ,

$$Ap = \xi_2 \gamma'' - \xi_3 \gamma'; \quad Bq = \xi_3 \gamma - \xi_1 \gamma''; \quad Cr = \xi_1 \gamma' - \xi_2 \gamma. \quad (3^1)$$

Положим, кроме того,

$$BC = a_1, \quad CA = a_2, \quad AB = a_3, \quad I = ABC \cdot h. \quad (3^2)$$

Легко видеть, что имеет место соотношение

$$\frac{\xi_1 \gamma}{a_1} + \frac{\xi_2 \gamma'}{a_2} + \frac{\xi_3 \gamma''}{a_3} = 0. \quad (3^3)$$

Интеграл энергии  $Ap^2 + Bq^2 + Cr^2 + \mu(A\gamma'^2 + B\gamma'^3 + C\gamma'^3) = h$  и интеграл (1<sup>7</sup>) примут, вследствие введенных выражений, вид

$$a_1 a_2 a_3 \left( \frac{\xi_1^2}{a_1} + \frac{\xi_2^2}{a_2} + \frac{\xi_3^2}{a_3} + \mu \right) \left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'^2}{a_2} + \frac{\gamma''^2}{a_3} \right) = I; \quad (3^4)$$

$$(\xi_2 \gamma'' - \xi_3 \gamma')^2 + (\xi_3 \gamma - \xi_1 \gamma'')^2 + (\xi_1 \gamma' - \xi_2 \gamma)^2 - \mu(a_1 \gamma'^2 + a_2 \gamma'^3 + a_3 \gamma'^3) = k.$$

Так как

$$\begin{aligned}
 a_1 \gamma'^2 + a_2 \gamma'^3 + a_3 \gamma'^3 &= a_1(1 - \gamma'^2 - \gamma''^2) + a_2(1 - \gamma'^2 - \gamma^2) + \\
 &+ a_3(1 - \gamma'^2 - \gamma'^3) = a_1 + a_2 + a_3 - (a_1 a_2 + a_2 a_3 + \\
 &+ a_3 a_1) \left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''^2}{a_3} \right) + a_1 a_2 a_3 \left( \frac{\gamma^2}{a_1^2} + \frac{\gamma'^2}{a_2^2} + \frac{\gamma''^2}{a_3^2} \right),
 \end{aligned}$$

то второй интеграл можно записать так:

$$\begin{aligned}
 (\xi_2 \gamma'' - \xi_3 \gamma')^2 + (\xi_3 \gamma - \xi_1 \gamma'')^2 + (\xi_1 \gamma' - \xi_2 \gamma)^2 + \mu(a_1 a_2 + a_2 a_3 + \\
 + a_3 a_1) \left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''^2}{a_3} \right) - \mu a_1 a_2 a_3 \left( \frac{\gamma^2}{a_1^2} + \frac{\gamma'^2}{a_2^2} + \frac{\gamma''^2}{a_3^2} \right) = k', \quad (3^5)
 \end{aligned}$$

где

$$k' = k + \mu(a_1 + a_2 + a_3).$$

Эллипсоид инерции запишем в виде

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 = ABC,$$

или с учетом (3<sup>2</sup>)

$$\frac{x^2}{a_1} + \frac{y^2}{a_2} + \frac{z^2}{a_3} = 1. \quad (3^6)$$

Вертикальный луч  $x = b\gamma$ ,  $y = b\gamma'$ ,  $z = b\gamma''$  пересекает эллипсоид (3<sup>6</sup>) при некотором значении  $b = b_1$ . Уравнение плоскости, касательной к эллипсоиду в точке пересечения его этим лучом, имеет вид

$$b_1 \left( \frac{x\gamma}{a_1} + \frac{y\gamma'}{a_2} + \frac{z\gamma''}{a_3} \right) = 1, \quad (3^7)$$

а плоскость, ей параллельная, но проходящая через центр эллипсоида, запишется уравнением

$$\frac{x\gamma}{a_1} + \frac{y\gamma'}{a_2} + \frac{z\gamma''}{a_3} = 0. \quad (3^8)$$

Плоскость (3<sup>8</sup>) сопряжена к вертикали по отношению к эллипсоиду (3<sup>6</sup>).



Интеграл  $Ap\gamma + Bq\gamma' + Cr\gamma'' = 0$ , вследствие принятых обозначений, запишется в виде

$$\frac{p\gamma}{a_1} + \frac{q\gamma'}{a_2} + \frac{r\gamma''}{a_3} = 0,$$

что означает, что вектор  $(p, q, r)$  находится в плоскости  $(3^8)$  и, следовательно, сопряжен к вертикали. Из  $(3^3)$  заключаем, что вектор  $(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$  тоже сопряжен к вертикали. Из  $(3^1)$  получаем  $Ap\zeta_1 + Bq\zeta_2 + Cr\zeta_3 = 0$ , или  $\frac{p\zeta_1}{a_1} + \frac{q\zeta_2}{a_2} + \frac{r\zeta_3}{a_3} = 0$ , т. е. векторы  $(p, q, r)$  и  $(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$  сопряжены по отношению к эллипсоиду  $(3^6)$ . Таким образом, векторы

$$(p, q, r), (\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3), (\gamma, \gamma', \gamma'') \quad (3^9)$$

образуют сопряженную тройку по отношению к эллипсоиду  $(3^6)$ .

Обозначим величины векторов  $(p, q, r)$  и  $(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$  соответственно через  $\omega$  и  $\omega l$ . Точки пересечения эллипсоида  $(3^6)$  с прямыми, идущими по направлениям  $(\gamma, \gamma', \gamma'')$ ,  $(\frac{\zeta_1}{\omega l}, \frac{\zeta_2}{\omega l}, \frac{\zeta_3}{\omega l})$ ,  $(\frac{p}{\omega}, \frac{q}{\omega}, \frac{r}{\omega})$ , удалены от центра эллипсоида на величины сопряженных полуосей, которые обозначим через  $b_1, b_2, b_3$ .

Введем косоугольную систему координат  $Ox'y'z'$ , направив  $Ox'$  вертикально вверх,  $Oy'$  по вектору  $(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$ ,  $Oz'$  по вектору угловой скорости. Поскольку эти оси направлены по сопряженной тройке диаметров эллипсоида  $(3^6)$ , его уравнение запишется так:

$$\frac{x'^2}{b_1^2} + \frac{y'^2}{b_2^2} + \frac{z'^2}{b_3^2} = 1. \quad (3^{10})$$

При переходе от осей  $Oxyz$  к  $Ox'y'z'$  в любое выражение вида  $\frac{x_0^2}{a_1} + \frac{y_0^2}{a_2} + \frac{z_0^2}{a_3}$ , где  $x_0, y_0, z_0$  — координаты какой-либо точки в системе  $Oxyz$ , пе-

реходит в выражение  $\frac{x_0'^2}{b_1^2} + \frac{y_0'^2}{b_2^2} + \frac{z_0'^2}{b_3^2}$ , где  $x_0', y_0', z_0'$  — координаты той же точки в системе  $Ox'y'z'$ . Так как векторы  $(3^9)$  в осях  $Ox'y'z'$  имеют проекции  $(1, 0, 0)$ ,  $(0, \omega l, 0)$ ,  $(0, 0, \omega)$ , то выражения

$$\frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'^2}{a_2} + \frac{\gamma''^2}{a_3} \quad \text{и} \quad \frac{\zeta_1^2}{a_1} + \frac{\zeta_2^2}{a_2} + \frac{\zeta_3^2}{a_3}$$

переходят соответственно в  $\frac{1}{b_1^2}$  и  $\frac{\omega^2 l^2}{b_2^2}$ . Квадрат модуля векторного произведения векторов  $(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$  и  $(\gamma, \gamma', \gamma'')$  равен  $\omega^2 l^2 \sin^2(x', y')$ .

Объемы параллелепипедов, построенных на сопряженных тройках полуосей эллипсоида, равны, поэтому

$$a_1 a_2 a_3 = b_1^2 b_2^2 b_3^2 \sin^2(x', y' z').$$

Так как суммы квадратов площадей трех параллелограммов, построенных на сопряженных полуосях, равны для любой тройки сопряженных полуосей, то

$$a_1 a_2 + a_2 a_3 + a_3 a_1 = b_1^2 b_2^2 \sin^2(x', y') + b_2^2 b_3^2 \sin^2(y', z') + b_3^2 b_1^2 \sin^2(z', x').$$

Заметим, что плоскость  $(3^7)$  удалена от центра эллипсоида  $(3^6)$  на

расстояние  $b_1 \left( \frac{\gamma^2}{a_1^2} + \frac{\gamma'^2}{a_2^2} + \frac{\gamma''^2}{a_3^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$ . С другой стороны, это расстояние равно  $b_1 \sin(x', y' z')$ , поэтому

$$\frac{\gamma^2}{a_1^2} + \frac{\gamma'^2}{a_2^2} + \frac{\gamma''^2}{a_3^2} = \frac{1}{b_1^4 \sin^2(x', y' z')}.$$

С учетом всех полученных выражений интегралы  $(3^4)$  и  $(3^5)$  запишутся так:

$$b_1^2 b_2^2 b_3^2 \sin^2(x', y' z') \sin^2(y', z') \left( \frac{\omega^2 l^2}{b_2^2} + \mu \right) \frac{1}{b_1^2} = I;$$

$$\omega^2 l^2 \sin^2(x', y') + \frac{\mu}{b_1^2} [b_1^2 b_2^2 \sin^2(x', y') + b_2^2 b_3^2 \sin^2(y', z') +$$

$$+ b_3^2 b_1^2 \sin^2(z', x')] - \mu \frac{b_1^2 b_2^2 b_3^2 \sin^2(x', y' z') \sin^2(y', z')}{b_1^4 \sin^2(x', y' z')} = k',$$

или

$$b_3^2 (\omega^2 l^2 + \mu b_2^2) \sin^2(x', y' z') \sin^2(y', z') = I; \quad (3^{11})$$

$$(\omega^2 l^2 + \mu b_2^2) \sin^2(x', y') + \mu b_3^2 \sin^2(z', x') = k'. \quad (3^{12})$$

Введем в рассмотрение эллиптический цилиндр

$$\frac{z'^2}{b_3^2} + \mu \frac{y'^2}{\omega^2 l^2 + b_2^2 \mu} = 1. \quad (3^{13})$$

Этот цилиндр и эллипсоид  $(3^{10})$  имеют в точке  $(0, 0, b_3)$  общую касательную плоскость  $z' = b_3$ . Так как ось  $Oz'$  является мгновенной осью вращения тела, то скорость точки  $(0, 0, b_3)$  равна нулю. Таким образом, цилиндр, кроме неподвижной оси  $Ox'$ , имеет в каждое мгновение на своей поверхности точку, скорость которой равна нулю. Для доказательства того, что этот цилиндр неподвижен в пространстве, достаточно установить, что полуоси его поперечного сечения остаются неизменными.

Обозначим точки пересечения осей  $Oz'$  и  $Oy'$  с цилиндром соответственно через  $G$  и  $H$  (рис. 1), тогда

$$OG = b_3; \quad OH = \sqrt{\frac{\omega^2 l^2}{\mu} + b_2^2}.$$

Из уравнения  $(3^{13})$  следует, что полуоси  $OG, OH$  являются сопряженными по отношению к эллипсу, полученному в сечении цилиндра плоскостью  $Oy'z'$ . Главные полуоси этого эллипса обозначим через  $OL$  и  $OM$ . Так как площади параллелограммов, построенных на сопряженных полуосях данного эллипса, равны, то имеем  $OL \cdot OM = OG \cdot OH \sin(y', z') = \frac{1}{\pi} S$ , где  $S$  — площадь рассматриваемого эллипса.

Площадь поперечного сечения цилиндра обозначим через  $S'$ , а его главные полуоси через  $O'L', O'M'$ . Так как

$$S' = S \cos \alpha = S \cos \left[ \frac{\pi}{2} - (x', y' z') \right] = S \sin(x', y' z'),$$

то

$$O'L' \cdot O'M' = \frac{S}{\pi} \sin(x', y' z') = OG \cdot OH \sin(y', z') \sin(x', y' z').$$

С учетом (3<sup>11</sup>) находим:

$$(O'L' \cdot O'M')^2 = b_3^2 \left( \frac{l^2 \omega^2}{\mu} + b_2^2 \right) \sin^2(y', z') \sin^2(x', y' z') = \frac{l}{\mu} = \text{пост.}, \quad (3^{14})$$

т. е. произведение длин главных осей поперечного сечения цилиндра остается постоянным.

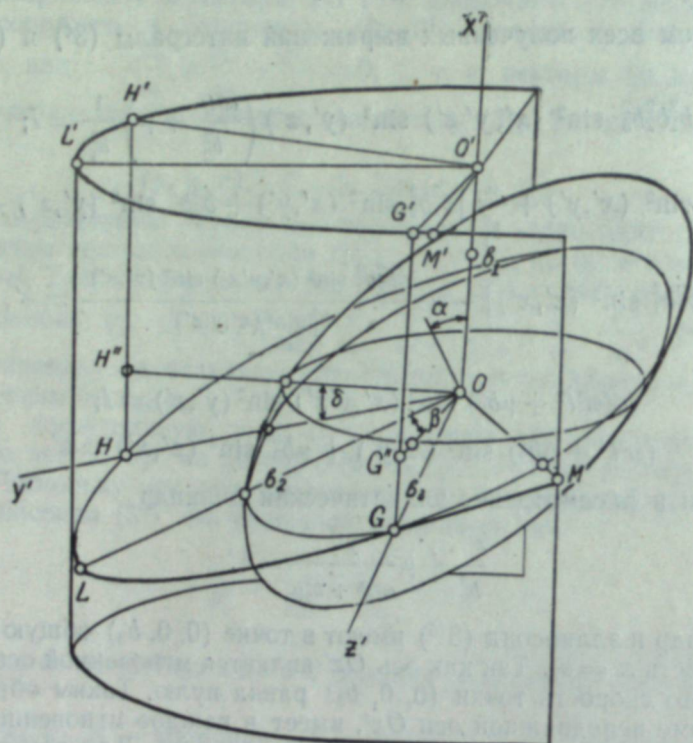


Рис. 1.

Сопряженные полуоси  $OG$ ,  $OH$  проектируются на поперечное сечение цилиндра в сопряженные же полуоси  $O'G'$ ,  $O'H'$ , причем  $O'G' = OG \cos \beta = OG \sin(x', z')$ ;  $O'H' = OH \cos \delta = OH \sin(x', y')$  (углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  отмечены на рис. 1). Но сумма квадратов сопряженных полуосей эллипса равна сумме квадратов его полуосей, т. е.

$$(O'L')^2 + (O'M')^2 = (O'G')^2 + (O'H')^2 = (OG)^2 \sin^2(x', z') + (OH)^2 \sin^2(x', y') = b_3^2 \sin^2(x', z') + \left( \frac{\omega^2 l^2}{\mu} + b_2^2 \right) \sin^2(x', y'),$$

что с учетом (3<sup>12</sup>) дает

$$(O'L')^2 + (O'M')^2 = \frac{k'}{\mu} = \text{пост.} \quad (3^{15})$$

Из (3<sup>14</sup>) и (3<sup>15</sup>) заключаем, что полуоси эллипса поперечного сечения цилиндра остаются постоянными, и, следовательно, цилиндр (3<sup>13</sup>) неподвижен в пространстве. Так как неизменно связанный с телом эллипсоид (3<sup>10</sup>) касается цилиндра (3<sup>13</sup>) в точке пересечения его с мгновенной осью вращения, то этот эллипсоид катится без скольжения по поверхности цилиндра, причем неподвижный центр эллипсоида находится на оси цилиндра.

При  $\mu = 0$  имеем движение твердого тела вокруг неподвижной точки в случае Эйлера. Цилиндр (3<sup>13</sup>) вырождается в пару плоскостей, и рассмотренная в данном параграфе геометрическая картина движения сводится к картине движения Пуансо.

Институт гидродинамики  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
22/1 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. Аппель, Руководство теоретической (рациональной) механики, т. 2, М., 1911.
2. G. Kobb, Sur le problème de la rotation d'un corps autour d'un point fixe. Bull de la Soc. Math., 23, 1895.
3. С. А. Чаплыгин, Характеристическая функция в динамике твердого тела. Собр. соч., т. 3, Гостехиздат, М.—Л., 1950.
4. С. А. Чаплыгин, О некоторых случаях движения твердого тела в жидкости (статья первая). Собр. соч., т. I, Гостехиздат, М.—Л., 1948.



О. В. ОЛЬШЕВСКИЙ, В. К. ЩЕРБАКОВ

### СИММЕТРИЧНЫЕ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Впервые вопросы поведения настроенных электропередач в режиме симметричного короткого замыкания рассматривались в работе А. А. Вульфа и О. В. Щербачева [1], где были установлены основные зависимости такого режима и показано влияние активного эффекта короны на кратность возникающих перенапряжений. Однако исследования проводились на схеме электропередачи длиной 850 км при основной частоте 100 герц, что не соответствует исходным требованиям, предъявляемым к дальним электропередачам в настоящее время.

Задача данной работы заключалась в том, чтобы, учитывая основные нелинейные параметры электропередачи, определенные на основе современных данных, установить порядок кратности возникающих перенапряжений в наиболее тяжелом режиме установившегося симметричного короткого замыкания.

Наряду с нелинейным режимом электропередачи, рассматривался также и линейный режим. Последний едва ли может иметь место в действительных условиях. Однако исследование такого режима необходимо,

так как оно дает возможность установить ряд соотношений, мало зависящих от возможного изменения параметров электропередачи. В частности, это относится к определению положения резонансных коротких замыканий, точек максимального напряжения и т. д. Кроме того, предварительное рассмотрение линейного режима позволяет выделить собственное влияние нелинейных параметров.

Исследовались следующие наиболее характерные схемы настройки (рис. 1):

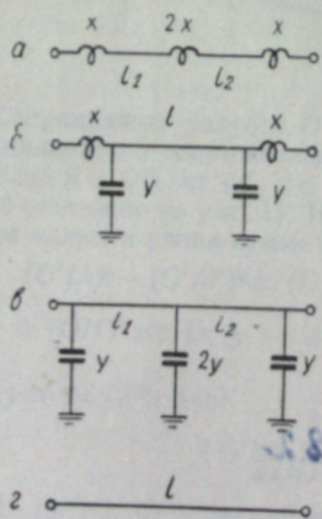


Рис. 1. Схемы настройки линий.

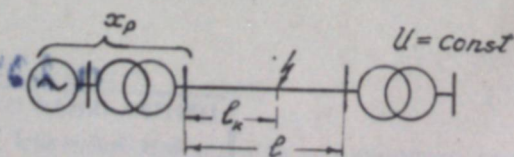


Рис. 2. Общая схема электропередачи.

- схема с тремя продольными индуктивностями,
- схема с концевыми настраивающими индуктивностями,
- схема с тремя поперечными емкостями,
- однородная настроенная линия, приведенная к полуволне распределенными емкостями.

Последние два способа настройки включают ряд схем, отличающихся одна от другой числом пунктов подключения настраивающей емкости.

Общая исходная схема электропередачи показана на рис. 2.

В работе рассматривались только основные гармоники тока и напряжения частотой 50 герц.

При исследовании режима короткого замыкания с учетом короны были взяты экспериментальные характеристики потерь мощности на корону, снятые на опытном пролете линии 400 кВ НИИПТа при хорошей погоде [2].

В настоящее время не имеется опытных данных по потерям на корону при более высоких номинальных напряжениях. Как показали расчеты с помощью имеющихся зависимостей [3], повышение номинального напряжения электропередачи не приводит к существенному изменению характеристик потерь на корону, так как с повышением напряжения соответственно меняется и конструкция линии. Поэтому предполагалось, что экспериментальные данные по коронированию линии 400 кВ в определенной степени справедливы не только для этого уровня напряжения, но и других, еще не освоенных уровней. Кроме того, предполагалось, что удельные потери на корону, зависящие от погодных условий, по всей длине линии одинаковы.

### Линейный режим короткозамкнутой электропередачи

В основу исследования линейного режима короткого замыкания настроенной электропередачи было положено следующее уравнение:

$$U_m = \frac{U_e B_m}{B_k}, \quad (1)$$

где  $B_k$  — коэффициент короткого замыкания четырехполюсника, замещающего схему электропередачи;

$B_m$  — коэффициент максимального напряжения;

$U_e$  — напряжение, приложенное в начале линии.

Коэффициент  $B_m$  учитывает изменение кратности максимального напряжения относительно кратности тока в точке короткого замыкания.

Следует заметить, что при этом рассматривается только одна составляющая линейного тока короткого замыкания (в отпайке ток равен нулю, так как составляющие тока с каждой стороны линии равны по величине и противоположны по фазе).

Не имея возможности привести полностью выводы основных соотношений для рассматриваемых способов настройки, остановимся только на основных положениях применявшейся для этой цели методики.

Эквивалентные коэффициенты четырехполюсника, замещающего схему короткозамкнутой электропередачи, находились перемножением матриц, составленных из отдельных ее элементов. Полученные выражения коэффициентов, представляющие сумму произведений гиперболических функций на сумму параметров настраивающих устройств, преобразовывались таким образом, чтобы можно было отделить действительную и мнимую части. Приравниванием коэффициента  $B_k$  нулю устанавливалось положение резонансного короткого замыкания при заданном значении концевой реактивности и определенной длине настраиваемой линии. Установленное положение резонансного короткого замыкания  $\lambda_{кор}$  позволило перейти к отысканию амплитуды резонансной кривой.

Положение точки максимального напряжения  $\lambda_m$ , зависящее от ме-

О. В. ОЛЬШЕВСКИЙ, В. К. ЩЕРБАКОВ

СИММЕТРИЧНЫЕ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ  
НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Впервые вопросы поведения настроенных электропередач в режиме симметричного короткого замыкания рассматривались в работе А. А. Вульфа и О. В. Щербачева [1], где были установлены основные зависимости такого режима и показано влияние активного эффекта короны на кратность возникающих перенапряжений. Однако исследования проводились на схеме электропередачи длиной 850 км при основной частоте 100 герц, что не соответствует исходным требованиям, предъявляемым к дальним электропередачам в настоящее время.

Задача данной работы заключалась в том, чтобы, учитывая основные нелинейные параметры электропередачи, определенные на основе современных данных, установить порядок кратности возникающих перенапряжений в наиболее тяжелом режиме установившегося симметричного короткого замыкания.

Наряду с нелинейным режимом электропередачи, рассматривался также и линейный режим. Последний едва ли может иметь место в действительных условиях. Однако исследование такого режима необходимо, так как оно дает возможность установить ряд соотношений, мало зависящих от возможного изменения параметров электропередачи. В частности, это относится к определению положения резонансных коротких замыканий, точек максимального напряжения и т. д. Кроме того, предварительное рассмотрение линейного режима позволяет выделить собственное влияние нелинейных параметров.

Исследовались следующие наиболее характерные схемы настройки (рис. 1):

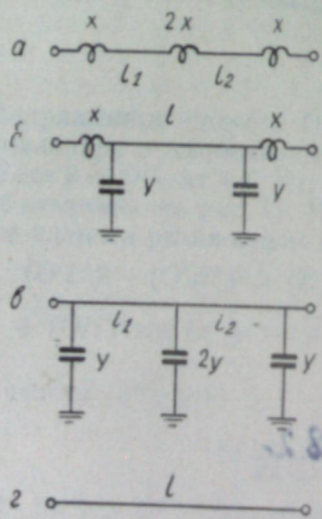


Рис. 1. Схемы настройки линий.

Исследовались следующие наиболее характерные схемы настройки (рис. 1):

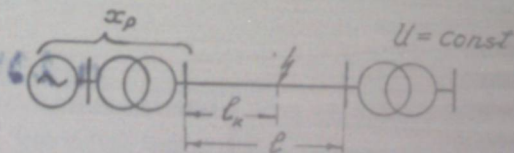


Рис. 2. Общая схема электропередачи.

- а) схема с тремя продольными индуктивностями,
- б) схема с концевыми настраивающими индуктивностями,
- в) схема с тремя поперечными емкостями,
- г) однородная настроенная линия, приведенная к полуволне распределенными емкостями.

коэффициента  $B_m$ , когда резонансное короткое замыкание находится в конце настроенной линии, если не учитывать емкости. При этом  $B_m = 1$ .

$$B_m = -\text{sh } \beta' \lambda \csc^2 \lambda/2. \quad (2)$$

При резонансном коротком замыкании  $B_m$  при тех же условиях равно

$$B_m = -\text{sh } \beta' \lambda. \quad (3)$$

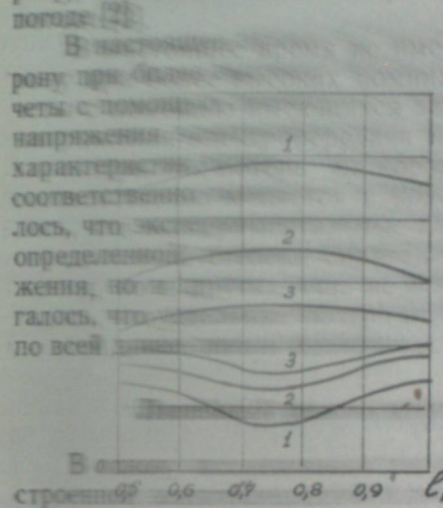


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $B_m$  от места короткого замыкания схем а и в; где 1—1500 км, 2—2000 км, 3—3000 км.

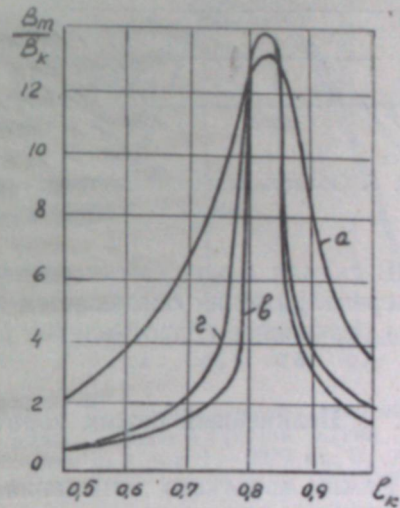


Рис. 4. Резонансные кривые схем а, в и г;  $l = 2000$  км,  $U_e = 1$ .

Сопоставление приведенных выражений (2 и 3) ясно указывает на различное значение коэффициента  $B_m$  в схеме а. На рис. 3 представлены кривые изменения коэффициента  $B_m$  в зависимости от положения короткого замыкания и длины настраиваемой линии. Из этих кривых видно, что в схеме с индуктивностями коэффициент  $B_m$  всегда больше единицы, в то время как в схеме с емкостями — меньше единицы. Величина коэффициента  $B_m$  не остается постоянной при перемещении точки короткого замыкания. В одном случае кривая изменения  $B_m$  имеет максимум, а в другом — минимум, причем положение этих экстремальных точек совпадает и находится на длине 0,75. С уменьшением длины линии степень изменения кривых  $B_m$  возрастает.

В схеме в причиной уменьшенного значения коэффициента  $B_m$  по сравнению с однородной линией является то обстоятельство, что емкость, включенная в середине линии, резко меняет фазу протекающего тока, вследствие чего меняется знак падения напряжения. Коэффициент  $B_m$  может служить показателем, определяющим форму резонансной кривой. Чем больше этот коэффициент, тем шире резонансная кривая, и наоборот. Иллюстрацией отмеченному положению являются совмещенные резонансные кривые трех схем, приведенные на рис. 4, где резонансное короткое замыкание находится на длине 0,82.

В схемах, имеющих концевые настраивающие индуктивности, можно избежать появления симметричного резонансного короткого замыкания. Для этого необходимо, чтобы резонансная точка находилась в пределах сопротивления настраивающего реактора.

Таблица 1

Схема	$B_k$	Положение резонансного к.з.	Положение точки максимального напряжения	$B_m$
a	$\sin \lambda_{k2} (f \cos \lambda_{k2} - x_p \sin \lambda_{k2})$ $f = x^2 - x \cdot x_p + 1$	$\lambda_{k2} + \operatorname{arctg} \frac{x_p}{2}$	$\lambda_{k2} - \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \lambda_{k2} + 2x)$	$2x \cos(\lambda_{k2} - \lambda_m) \cos \lambda_{k2} + \sin(\lambda_{k2} - \lambda_m + \lambda_{k2})$
b	$(x + x_p)(\cos \lambda_k - \operatorname{ctg} \lambda_{k0} \sin \lambda_k)$	$\operatorname{arctg} \left( y - \frac{1}{x + x_p} \right)$	$\lambda_k - \frac{\pi}{2}$ при $\lambda_k > \frac{\pi}{2}$ ; 0 при $\lambda_k < \frac{\pi}{2}$	1 при $\lambda_k > \frac{\pi}{2}$ ; $\sin \lambda_k$ при $\lambda_k < \frac{\pi}{2}$
в	$\sin \lambda_{k2} \sin \lambda_{k2} (\operatorname{ctg} \lambda_{k2} - \operatorname{ctg} \lambda_{kop})$	$\lambda_{k2} + \operatorname{arctg} \left( y + \frac{x_p}{\sin^2 \lambda_{k2}} \right)$	$\lambda_{k2} - \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \lambda_{k2} - 2y)$	$\sin(\lambda_k - \lambda_m + \lambda_{k2}) - 2y \sin(\lambda_{k2} - \lambda_m) \sin \lambda_{k2}$
г	$\sin \lambda_k + x_p \cos \lambda_k$	$\operatorname{arctg} \left( -\frac{1}{x_p} \right)$	$\lambda_k - \frac{\pi}{2}$	1

Примечания: 1. Индекс 2 при обозначении волновой длины ( $\lambda_{k2}$ ) указывает, что отсчет необходимо производить от средней точки линии. Другие волновые длины отсчитываются от начала линии.

2. Для схем а и в выражения справедливы при к.з. на открытой линии.

ста короткого замыкания, определялось путем приравнивания нулю коэффициента  $D_k$ . В свою очередь, это давало возможность найти значение коэффициента  $B_m$ .

Таким образом, были получены выражения для ряда величин, характеризующих режим короткозамкнутой линии в зависимости от значения концевой реактивности и длины настраиваемой линии.

Некоторые из этих выражений приведены в табл. 1. Чтобы показать их в более простом виде, они даны без учета активных потерь в линии. Влияние затухания становится заметным только на коэффициенте  $B$  непосредственно в резонансной области.

В результате исследования установлено, что, несмотря на различие способов настройки, они имеют примерно одинаковые амплитуды резонансных кривых в том случае, когда резонансное короткое замыкание находится на равном расстоянии от концов линии. Эта амплитуда колеблется в пределах 8—20. С увеличением длины линии она несколько падает.

Из выражения (1) видно, что кратность перенапряжений является функцией отношения коэффициентов  $B_k$  и  $B_m$ . Однако отмеченное выше примерное равенство амплитуд резонансных кривых не является следствием того, что указанные коэффициенты, соответствующие разным способам приведения к полуволне, имеют идентичные значения. Каждая схема имеет свои коэффициенты, отличные от других. Наиболее отчетливо это можно проследить на схемах а и в, имеющих противоположные свойства, что вытекает из различия их эквивалентных волновых сопротивлений относительно волнового сопротивления однородной линии.

В схеме а выражение коэффициента  $B_m$ , когда резонансное короткое замыкание находится в конце настроенной линии, если не учитывать его мнимой составляющей, равно

$$B_k = -\operatorname{sh} \beta' \lambda \operatorname{csc}^2 \lambda_{k2}. \quad (2)$$

В схеме в выражение  $B_m$  при тех же условиях равно

$$B_k = -\operatorname{sh} \beta' \lambda. \quad (3)$$

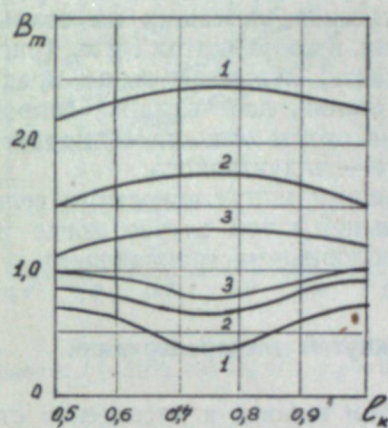


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $B_m$  от места короткого замыкания схем а и в:  
1—1500 км, 2—2000 км, 3—3000 км.

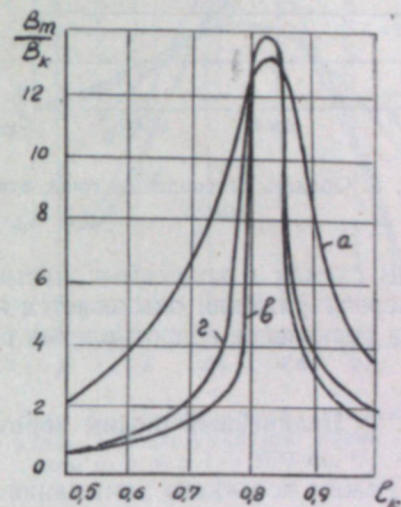


Рис. 4. Резонансные кривые схем а, в и г;  $l = 2000$  км,  $U_e = 1$ .

Сопоставление приведенных выражений (2) и (3) ясно указывает на увеличенное значение коэффициента  $B_k$  в схеме а. На рис. 3 представлены кривые изменения коэффициента  $B_m$  в зависимости от положения короткого замыкания и длины настраиваемой линии. Из этих кривых видно, что в схеме с индуктивностями коэффициент  $B_m$  всегда больше единицы, в то время как в схеме с емкостями — меньше единицы. Величина коэффициента  $B_m$  не остается постоянной при перемещении точки короткого замыкания. В одном случае кривая изменения  $B_m$  имеет максимум, а в другом — минимум, причем положение этих экстремальных точек совпадает и находится на длине 0,75. С уменьшением длины линии степень изменения кривых  $B_m$  возрастает.

В схеме в причиной уменьшенного значения коэффициента  $B_m$  по сравнению с однородной линией является то обстоятельство, что емкость, включенная в середине линии, резко меняет фазу протекающего тока, вследствие чего меняется знак падения напряжения. Коэффициент  $B_m$  может служить показателем, определяющим форму резонансной кривой. Чем больше этот коэффициент, тем шире резонансная кривая, и наоборот. Иллюстрацией отмеченному положению являются совмещенные резонансные кривые трех схем, приведенные на рис. 4, где резонансное короткое замыкание находится на длине 0,82.

В схемах, имеющих концевые настраивающие индуктивности, можно избежать появления симметричного резонансного короткого замыкания. Для этого необходимо, чтобы резонансная точка находилась в пределах сопротивления настраиваемого реактора.

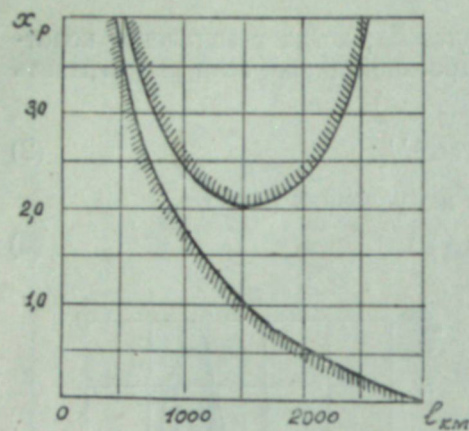


Рис. 5. Область резонансных точек схемы *a*.

В схемах с концевыми настраиваемыми индуктивностями величина перенапряжений оказывается наименьшей в том случае, когда концевое реактивное сопротивление равно половине настраиваемого.

### Нелинейный режим короткозамкнутой электропередачи

Режим короткого замыкания с учетом короны и насыщения стали концевых элементов электропередачи определялся графо-аналитическим методом пересечения характеристик. Применительно к холостым линиям этот метод был использован в работе В. А. Веникова, Л. А. Жукова и Н. Д. Анисимовой [4].

При учете только короны за исходную величину принималось напряжение в начале линии. Изменением значения напряжения находились основные входные зависимости, которые давали возможность заместить короткозамкнутую линию сосредоточенным комплексным нелинейным сопротивлением. Это замещение необходимо для дальнейших расчетов электропередачи, когда требуется ввести параметры концевых элементов.

При дополнительном учете характеристики намагничивания трансформатора и насыщенного значения реактивного сопротивления генератора приходим к эквивалентной схеме, состоящей из трех нелинейных элементов.

Действительный режим работы генератора определяется пересечением внешней характеристики нагрузки с насыщенной характеристикой генератора, при этом точка пересечения, очевидно, зависит от тока возбуждения, предшествовавшего короткому замыканию. В данном случае величину тока возбуждения находили из условия выдачи нерегулируемым генератором максимальной активной мощности в доаварийном режиме. Установленное значение эдс  $E_{id}$  позволяло при помощи построения дополнительной характеристики  $E_{id} = f(U_e)$  найти начальное напряжение при заданной точке короткого замыкания и затем соответствующую кратность перенапряжений на линии.

Вначале рассмотрим влияние только нелинейных параметров короны.

На рис. 6 представлены кривые зависимости величины максимального напряжения от места короткого замыкания при номинальном на-

пряжении в начале линии. Из кривых видно, что схемы с настраиваемыми емкостями имеют амплитуду резонансной кривой, равную примерно 3, а схемы с продольными индуктивностями — примерно 2,5. Спад кривой напряжения в схеме *a* по сравнению с другими схемами замедлен, что вызвано относительно большой величиной коэффициента  $B_m$ . Обратное явление в схеме *b*, где, как указывалось выше, значение  $B_m$  относительно невелико.

В схеме *a* резонансное короткое замыкание может смещаться не только в концевой настраиваемый реактор, но и в реактор, находящийся в середине линии. Для выполнения первого условия достаточно, чтобы значение концевой реактивности  $x_p$  находилось в пределах  $0 - \text{ctg}^2 \lambda / 2$ ; для выполнения второго —  $\frac{2}{\sin \lambda} - \infty$ . Отсюда находится область резонансных точек короткого замыкания, лежащих на открытой линии, в координатах  $l$  и  $x_p$  (рис. 5). Область, лежащая выше предельной линии, дает входное сопротивление схемы емкостного характера, ниже — индуктивного.

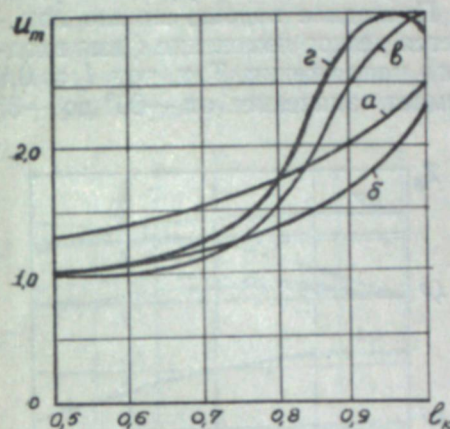


Рис. 6. Резонансные кривые с учетом короны;  $l = 2000$  км,  $U_e = 1$ ,  $x_p = 0$ .

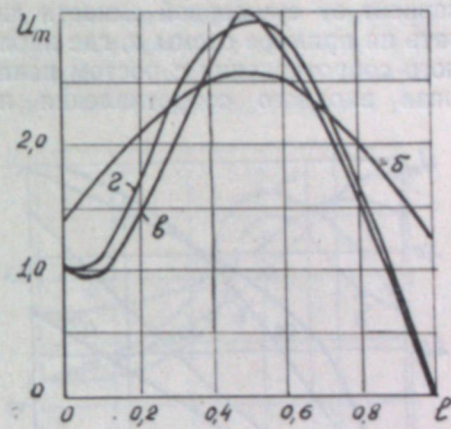


Рис. 7. Распределение напряжения вдоль короткозамкнутой линии для схем *b*, *v* и *g*;  $l = 2000$  км,  $U_e = 1$ .

На рис. 7 показано распределение напряжения вдоль линии при коротком замыкании в ее конце. Настраиваемые реакторы создают скачок напряжения, за счет чего напряжение по концам коронирующей линии будет выше, чем приложенное. Иначе говоря, общий уровень напряжения за счет скачка будет повышаться, что приводит к более равномерному распределению напряжения вдоль коронирующей линии. По этой причине значение максимального напряжения в схемах с концевыми индуктивностями будет ниже, чем в схемах с одними емкостями. Последнее следует хотя бы из того, что затухание, вызванное короной, пропорционально среднеквадратичному напряжению. Этот вывод был сделан для однородной линии [5], но он справедлив также и для схем, имеющих сосредоточенные параметры. Можно легко показать на примере рис. 7, что для всех рассматриваемых схем среднеквадратичное напряжение примерно одинаково. Отсюда следует, что более неравномерное распределение напряжения приводит к увеличенной кратности перенапряжений.

Вполне очевидно влияние начального напряжения на величину максимального напряжения, но характер зависимости между ними определяется местом короткого замыкания (рис. 8). Если для резонансного короткого замыкания однородной линии справедлива зависимость  $U_m = \sqrt{U_e}$ , то при удалении короткого замыкания от резонансной точки зависимость между  $U_e$  и  $U_m$  все больше становится линейной.

Кривые рис. 8 справедливы для однородной линии, но их характер сохраняется и для других схем настройки. На ход этих кривых значительное влияние оказывает реактивный эффект короны, характер действия которого зависит от положения точки короткого замыкания по отношению к резонансной. В самом деле, если  $\lambda_k > \lambda_{кор}$ , то дополнительная зарядная мощность, генерируемая короной, увеличивает реактив-

ную составляющую входного сопротивления (рис. 9) и тем самым тормозит изменение максимального напряжения. В этом случае активный и реактивный эффекты короны действуют в одном направлении. Если же  $\lambda_k < \lambda_{кор}$ , то дополнительная зарядная мощность короны уменьшает реактивную составляющую входного сопротивления (см. рис. 9), что способствует более быстрому изменению максимального напряжения. Здесь характер влияния активного и реактивного эффектов короны не одинаков. Следует заметить, что влияние реактивного эффекта короны зависит от суммарной емкости линии. Последнее хорошо можно показать на примере схемы *a*, где наблюдается резкое изменение фазы входного сопротивления с ростом начального напряжения. Так, при  $I_k = 0,9$  фаза входного сопротивления принимает значение от  $-80^\circ$  до  $+3^\circ$

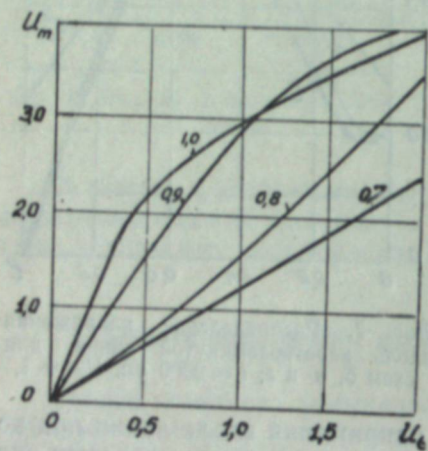


Рис. 8. Изменение максимального напряжения однородной линии при различном положении короткого замыкания;  $l = 2000$  км,  $x_p = 0$ .

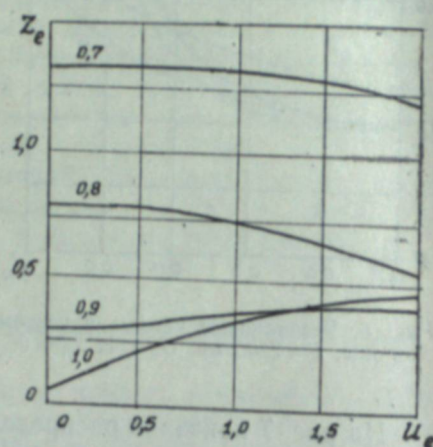


Рис. 9. Зависимость входного сопротивления однородной линии от  $U_e$  при различном положении точки короткого замыкания;  $l = 2000$  км,  $x_p = 0$ .

при изменении напряжения в начале линии от 0 до 2,0, в то время как в схеме *b* при этих же условиях фаза меняется от  $-80^\circ$  до  $-24^\circ$ . Следует при этом добавить, что изменение фазы определяется не только реактивным и активным эффектами короны, но характером самих настраивающих устройств. Настраивающие реакторы при наличии значительных активных потерь в линии способствуют более быстрому изменению фазы входного сопротивления. Настраивающие емкости в этом случае оказывают противоположное действие.

Одним из результатов влияния активного и реактивного эффектов короны является сдвиг резонансной точки в сторону начала линии, который, естественно, увеличивается с ростом напряжения. При увеличении напряжения  $U_e$  до двукратного эквивалентная волновая длина линии меняется примерно на 5%.

Изменение длины настраиваемой линии заметно сказывается на характеристиках короткого замыкания (рис. 10). В частности, в схемах с настраивающими индуктивностями уменьшение длины линии приводит сначала к некоторому росту кратности перенапряжений, а затем к их понижению, что объясняется действием двух противоположных факторов — с одной стороны, увеличением сопротивления настраивающих реакторов, а с другой — самим уменьшением длины линий. В схемах с настраивающими емкостями сказывается только уменьшение длины линии, что ведет к определенному росту перенапряжений.

На рис. 11 представлены резонансные кривые, построенные с учетом влияния короны и насыщения параметров конечных элементов. Величины амплитуд феррорезонансных кривых всех схем примерно одинаковы и лежат в пределах 2,5—2,8. С ростом конечной реактивности феррорезонансная кривая деформируется, ее левая часть приобретает характер крутого падения, в то время как правая часть становится относительно пологой, чего не наблюдается при линейных элементах электропередачи (ср. рис. 4).

Феррорезонансные явления при коротких замыканиях обладают следующей характерной особенностью. При линейных параметрах электропередачи каждому резонансному короткому замыканию соответствует амплитуда резонансной кривой. То же самое наблюдается и в слу-

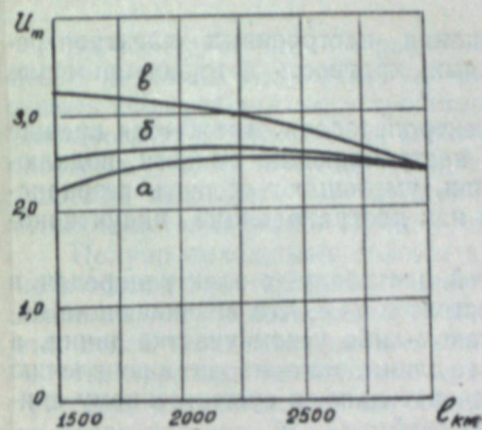


Рис. 10. Влияние длины настраиваемой линии на кратность перенапряжений;  $U_e = 1$ ,  $I_k = 1$ ,  $x_p = 0$ .

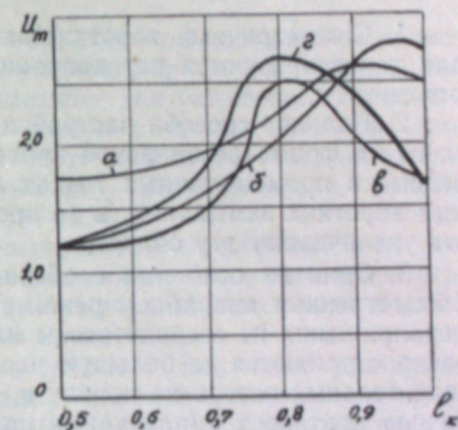


Рис. 11. Феррорезонансные кривые схем с учетом короны;  $l = 2000$  км.

чае коронирующей электропередачи, подключенной к шинам бесконечной мощности. При насыщенных характеристиках конечных элементов возникают феррорезонансные явления поперечной оси машины, когда ток по этой оси равен нулю. Однако при таком режиме максимальное напряжение не является наибольшим. Амплитуда феррорезонансной кривой смещается ближе к концу настроенной линии, причем она почти совпадает с резонансным коротким замыканием, определенным при линейных элементах электропередачи. Это положение иллюстрируют данные табл. 2.

Таблица 2

Положение точки к. з., соответствующее	СХЕМЫ			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
феррорезонансу . .	0,76	0,85	0,75	0,77
амплитуде $U_m$ . .	0,88	0,95	0,80	0,79
линейному резонансу .	0,89	0,97	0,82	0,83

Как видно из приведенных данных, наибольший разрыв между точкой феррорезонансного короткого замыкания и точкой, соответствующей амплитуде феррорезонансной кривой, наблюдается в схемах, имеющих продольные реакторы. Как уже отмечалось выше, в этих схемах происходит быстрое изменение фазы входного сопротивления при росте напряжения в начале линии. В силу этого неизбеж-

ное повышение напряжения в начале линии автоматически приводит к уменьшению реактивной составляющей ее входного сопротивления и, следовательно, к нарушению условий феррорезонанса при коротких замыканиях, достаточно близких к резонансной точке, найденной при линейных параметрах. Поэтому феррорезонансное короткое замыкание смещается в сторону начала линии, где подвижность фазы значительно падает. Величина эдс  $E_{id}$  в насыщенной части характеристики мало меняет свое значение. Это ведет к тому, что максимальное напряжение при феррорезонансном повреждении не соответствует амплитудному значению феррорезонансной кривой.

### Выводы

1. Симметричные короткие замыкания настроенных электропередач характеризуются перенапряжениями, кратность которых примерно равна трем.

2. Влияние способа настройки электропередачи отражается прежде всего на форме резонансной кривой; настраивающие емкости, подключенные в промежуточных точках линии, уменьшают область резонансных коротких замыканий, в то время как настраивающие индуктивности увеличивают эту область.

3. Одна из основных особенностей настроенных электропередач в рассмотренном аварийном режиме состоит в том, что возникающие перенапряжения не сосредоточены на каком-либо узком участке линии, а распространяются на большую часть ее длины, что приводит к появлению значительных потерь на корону и, следовательно, к существенному снижению кратности амплитудных напряжений.

4. Заметные особенности в характеристику короткого замыкания вносит реактивный эффект короны, влияние которого сказывается, главным образом, на зависимости между напряжением в начале линии и максимальным. Характер такого влияния определяется положением точки короткого замыкания по отношению к резонансной.

Транспортно-энергетический институт  
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
15/III 1958

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Вульф, О. В. Щербачев, Режим короткого замыкания в линиях электропередачи, настроенных на полволны. Электричество, № 4, 1946.
2. В. И. Левитов, В. И. Попков, О реактивном эффекте короны переменного тока. Электричество, № 7, 1956.
3. Н. Б. Богданова, В. И. Попков, К вопросу об определении параметров схемы замещения коронирующей линии. Изв. АН СССР, ОТН, № 3, 1951.
4. В. А. Веников, Л. А. Жуков, Н. Д. Анисимова, Холостые режимы дальних электропередач. Электричество, № 7, 1953.
5. О. В. Ольшевский, Расчет установившихся перенапряжений в дальних электропередачах с учетом короны. Изв. СО АН СССР, № 8, 1958.

Г. З. МАКСИМОВ

### НАДЕЖНОСТЬ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТРИГГЕРА ПЕРИОДИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ

За последнее время в различных областях техники широкое применение получили полупроводниковые триггеры. Триггером принято называть коммутационное устройство, имеющее два устойчивых состояния равновесия. Он может быть выполнен как на точечных, так и на плоскостных кристаллических триодах. В настоящей статье излагаются результаты некоторых исследований триггеров, выполненных на плоскостных кристаллических триодах типа  $p-n-p$ .\*

Полупроводниковые триоды в триггере обычно включаются по схеме с общим эмиттером. Этот способ включения дает значительное усиление по току и позволяет управлять коммутацией относительно мощных цепей незначительными входными сигналами.

На практике наибольшее распространение получили две схемы триггера, отличающиеся способом создания положительного смещения на базах триодов. Эти схемы представлены на рис. 1. Здесь же показаны различные способы запуска или переключения триггера.

На рис. 1,а изображена схема триггера со смещением от независимого источника тока. Запуск или переключение его может производиться различными способами. Однако все способы запуска можно объединить в два: запуск по общему входу и запуск по отдельным входам. На рис. 1,а показан запуск по общему входу импульсами положительной полярности, воздействующими на коллекторы триодов. Иногда его называют запуском по коллектору. Пунктиром на этом же рисунке показан запуск триггера импульсами положительной полярности, передаваемыми к базам триодов (запуск по базе). На рис. 1,б изображена схема триггера с автоматическим смещением и запуском через общий вход по базе импульсами отрицательной полярности.

Надежность работы или переключения триггера во многом зависит от правильного выбора режима работы триодов, параметров элементов цепей управления, амплитуды и длительности управляющих сигналов, стабильности напряжения источников питания.

Результаты экспериментального исследования надежности работы триггера в зависимости от перечисленных факторов излагаются в настоящей статье.

Исследованию были подвергнуты триггеры на триодах типа П1Ж и П14. Наблюдения за работой триггера проводились посредством осциллографов типа СИ-1, 25И и ЭО-7. Все измерения выполнены при температуре 18—20°С. Расчет элементов триггера был проведен по известным в литературе методам [1, 2].

\* Статья составлена по материалам совместной работы кафедры телефонии Новосибирского электротехнического института связи и лаборатории горной автоматики и телемеханики Института горного дела СО АН СССР.



Одним из параметров, определяющим качество работы триггера, является величина минимального входного сигнала ( $U_{вх\min}$ ), при которой триггер начинает надежно переключаться в строгом соответствии с поступающими сигналами управления. На рис. 2 приведены кривые зависимости  $U_{вх\min}$  от величины ускоряющей емкости  $C_{ус}$  при различных величинах емкости связи  $C_{св}$  для триггера на триодах типа П14. Частота переключения триггера 250 гц. Предварительно путем многократных измерений была выбрана оптимальная величина сопротивления  $R_1$ , равная 20 ком, при  $R_2 = 100$  ком. Напряжение смещения выбрано равным 2,5 в.

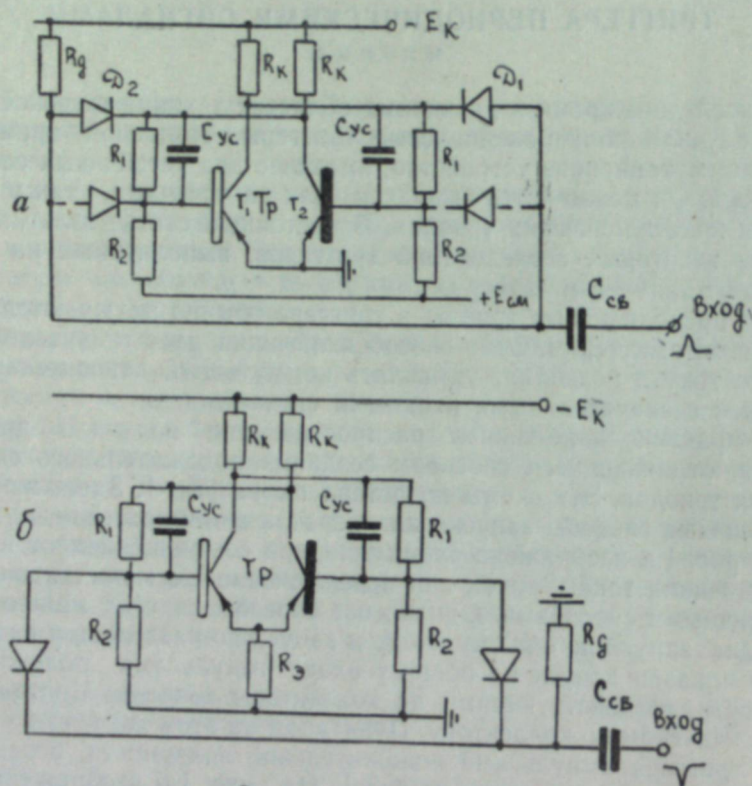


Рис. 1. Схемы триггера.

Из анализа графика рис. 2 можно сделать следующие выводы:  
а) для всех триггеров оптимальной величиной емкости связи  $C_{св}$  можно принять 2 тыс. пкф,

б) надежная работа от минимального по напряжению входного сигнала наступает при ускоряющей емкости  $C_{ус}$ , примерно в полтора-два раза большей оптимальной величины  $C_{св}$ .

Рассмотрим более подробно зависимость между оптимальными величинами  $C_{ус}$  и  $C_{св}$ .

Емкости  $C_{ус}$  служат для передачи изменений напряжений на коллекторах триодов к базам при переключениях триггера. Для увеличения скорости переключения триггера они должны быть возможно большими. Однако при больших значениях этих емкостей начинаются значительные искажения формы выходных сигналов триггера, поскольку емкости  $C_{ус}$  через эмиттерные переходы подключены параллельно паразитным выходным емкостям триодов.

Одновременно емкости  $C_{ус}$  образуют емкостные делители с паразитными входными емкостями триодов триггера. Поэтому при неболь-

ших по величине емкостях  $C_{ус}$  увеличивается  $U_{вх\min}$ , так как большая часть переданных с коллекторов триодов изменений напряжений падает на входных емкостях.

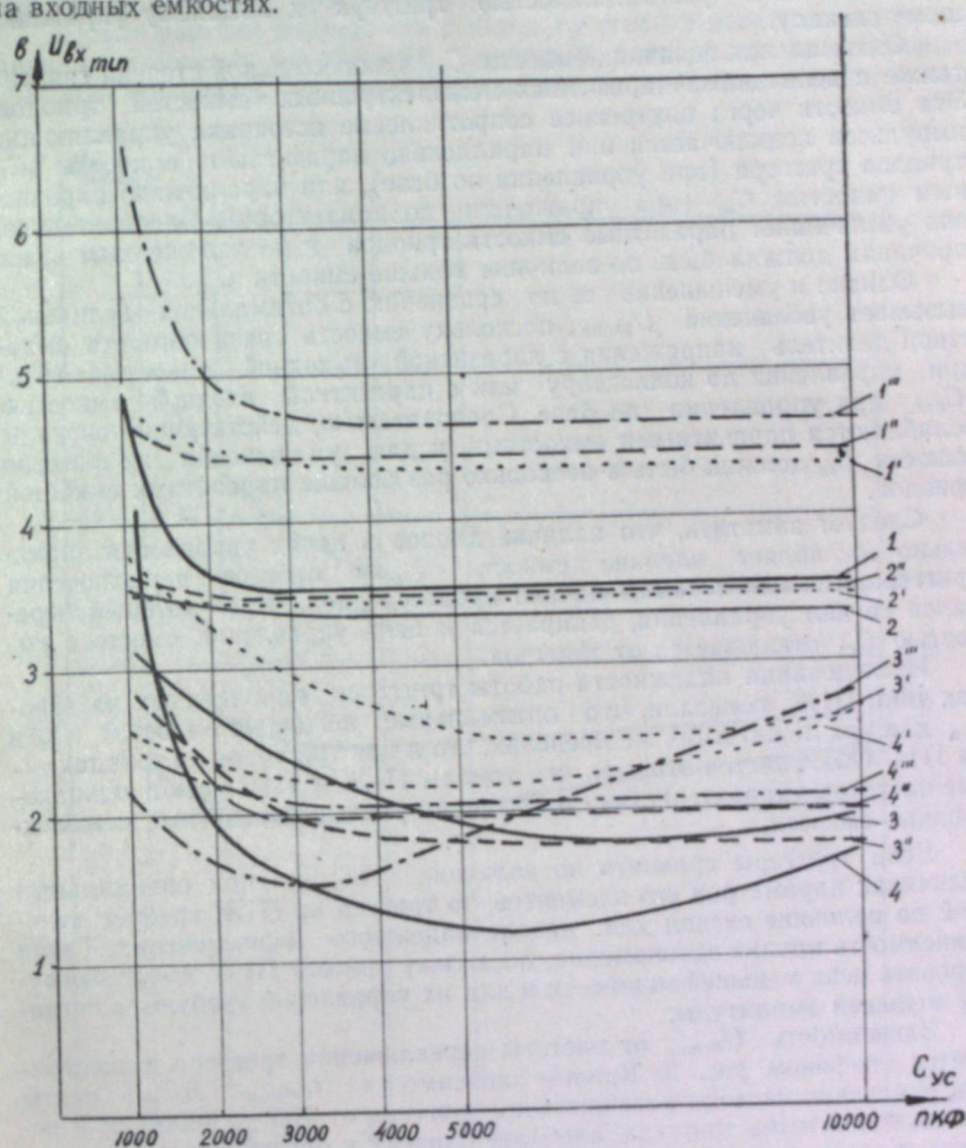


Рис. 2. График зависимости  $U_{вх\min} = f_1(C_{ус})$  при  $C_{св} = \text{const}$  для триггера на триодах типа П14.

$R_1 = 20$  ком; частота переключения 250 гц. При  $C_{св} = 2000$  пкф,  $E_{см} = 2,5$  в (—); то же при  $C_{св} = 1000$  пкф (....); то же при  $C_{св} = 3000$  пкф (---); то же при  $C_{св} = 7000$  пкф (— · — · —). 1 (и соответственно 1', 1'', 1''') — смещение автоматическое, управление по коллектору; 2 — то же по базе; 3 — смещение независимое, управление по коллектору; 4 — то же по базе.

Паразитные межэлектродные емкости для триодов типа П1Ж и П14 при включении их по схеме с общим эмиттером достигают 600—1000 пкф. Если выбрать  $C_{ус}$ , в несколько раз превышающую по величине паразитную входную емкость, то можно получить достаточно благоприятные условия передачи изменений коллекторного напряжения одного триода к базе другого триода.

Таким образом, выбор оптимальной величины емкости  $C_{yc}$  определяется требуемой формой выходных сигналов триггера, скоростью его переключения и чувствительностью триггера к внешнему управляющему сигналу.

Оптимальная величина емкости  $C_{cb}$  в значительной степени связана также с величинами паразитных межэлектродных емкостей триодов. Эта емкость через внутреннее сопротивление источника управляющих импульсов подключается или параллельно паразитным емкостям  $C_{cb}$  триодов триггера (при управлении по базе), или параллельно паразитным емкостям  $C_{кз}$  (при управлении по коллектору). Следовательно, она увеличивает паразитные емкости триодов и по изложенным выше причинам должна быть по величине меньше емкости  $C_{yc}$ .

Однако и уменьшение ее по сравнению с оптимальной величиной вызывает увеличение  $U_{вх. min}$ , поскольку емкость связи образует емкостной делитель напряжения с паразитной выходной емкостью ( $C_{кз}$ ) при управлении по коллектору или с паразитной входной емкостью ( $C_{бз}$ ) при управлении по базе. Следовательно, действующие сигналы ослабляются паразитными емкостями, и для уменьшения их влияния емкость  $C_{cb}$  должна быть в несколько раз больше паразитных емкостей триодов.

Следует заметить, что наличие диодов в цепях управления значительно ослабляет влияние емкости  $C_{cb}$  на процесс переключения триггера, так как в самом начале процесса диод, через который передается сигнал управления, запирается и цепь управления вместе с емкостью  $C_{cb}$  отключается от триггера.

Исследования надежности работы триггеров, выполненных на триодах типа П1Ж, показали, что оптимальные величины емкостей  $C_{yc}$  и  $C_{cb}$  для них лежат в тех же пределах, что и для триггеров на триодах типа П14. Объясняется это тем, что триоды П1Ж и П14 имеют одинаковые частотные характеристики и примерно равные паразитные межэлектродные емкости.

Если триггеры сравнить по величине  $U_{вх. min}$  при оптимальных величинах параметров его элементов, то триггер на П1Ж требует меньший по величине сигнал для начала надежного переключения. Такая зависимость вполне закономерна, поскольку триоды П1Ж могут коммутировать цепи меньшей мощности и для их управления требуются сигналы меньшей амплитуды.

Зависимость  $U_{вх. min}$  от частоты переключения триггера иллюстрируется графиком рис. 3. Кривые зависимости  $U_{вх. min} = f(C_{yc})$  сняты при изменении частоты переключения триггера от 100 до 10000 гц и величинах элементов триггера, наиболее близких к оптимальным для всех случаев измерений. Можно считать, что на увеличение  $U_{вх. min}$  с увеличением частоты переключения в основном влияют межэлектродные паразитные емкости триодов. Как уже указывалось, величины этих емкостей лежат в пределах до 1000 пкф (при включении триодов по схеме с общим эмиттером), и с увеличением частоты переключения они начинают оказывать заметное влияние на режим работы триггера.

При исследованиях были также проверены влияние амплитуды входного сигнала на амплитуду выходного сигнала триггера и надежность работы триггера в зависимости от отклонений напряжений питающих батарей от номинальных величин, при которых был произведен расчет. Измерения показали, что изменение амплитуды входного сигнала не оказывает практически заметного влияния на амплитуду выходного сигнала триггера. Сделанный вывод подтверждает правильность известного положения о том, что внешний сигнал служит только первоначаль-

ным «толчком» для развития процесса переключения триггера, а сам процесс переключения происходит автоматически под действием возникшей положительной обратной связи.

Характеристики надежности работы триггера в зависимости от величины отклонения напряжений питающих батарей от номинальных значений приведены на рис. 4. Как видно из графика, при изменении

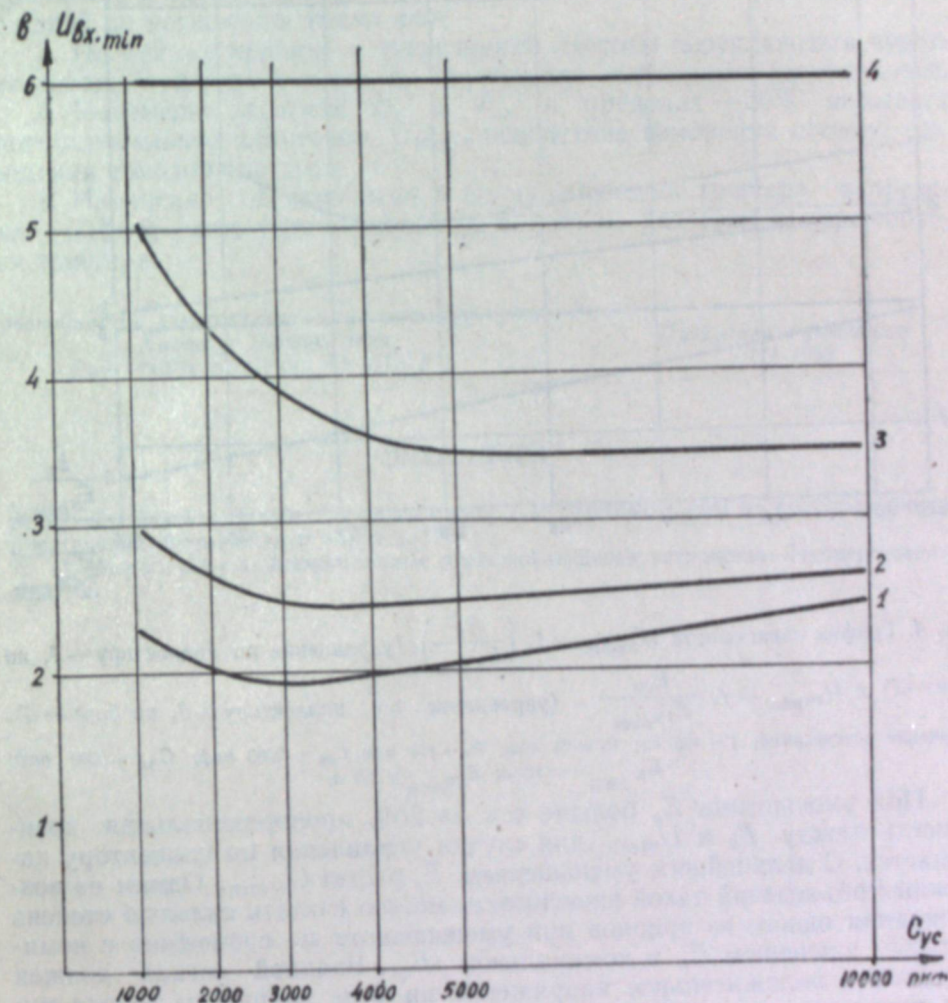


Рис. 3. График зависимости  $U_{вх. min} = f_1(C_{yc})$  при различной частоте переключения триггера на триодах типа П14.  
 $R_1 = 30$  ком;  $C_{cb} = 2000$  пкф;  $U_{см} = 2,5$  в. Смещение независимое, управление по коллектору при частоте переключения: 1 - 100 гц; 2 - 250 гц; 3 - 1000 гц; 4 - 10000 гц.

$E_k$  и  $E_{cm}$  в пределах  $\pm 20\%$  существует пропорциональная зависимость между  $U_{вх. min}$  и напряжением батарей, т. е. с возрастанием (по абсолютной величине) напряжения как коллекторной, так и смещающей батарей увеличивается  $U_{вх. min}$ , наоборот, уменьшение напряжения батарей относительно номинального значения вызывает уменьшение  $U_{вх. min}$ . Такую зависимость можно объяснить влиянием степени насыщения открытого триода триггера на режим его работы. Чем больше  $E_k$ , тем сильнее насыщен триод и тем труднее переключить триггер. Поэтому с ростом  $E_k$  растет  $U_{вх. min}$ .

Увеличение  $E_{см}$  вызывает увеличение степени запирания закрытого триода. Следовательно, напряжение на его коллекторе возрастает (по абсолютной величине), и на базу открытого триода будет передаваться больший отрицательный потенциал. Увеличивается степень насыщения открытого триода, и триггер трудней переключать.

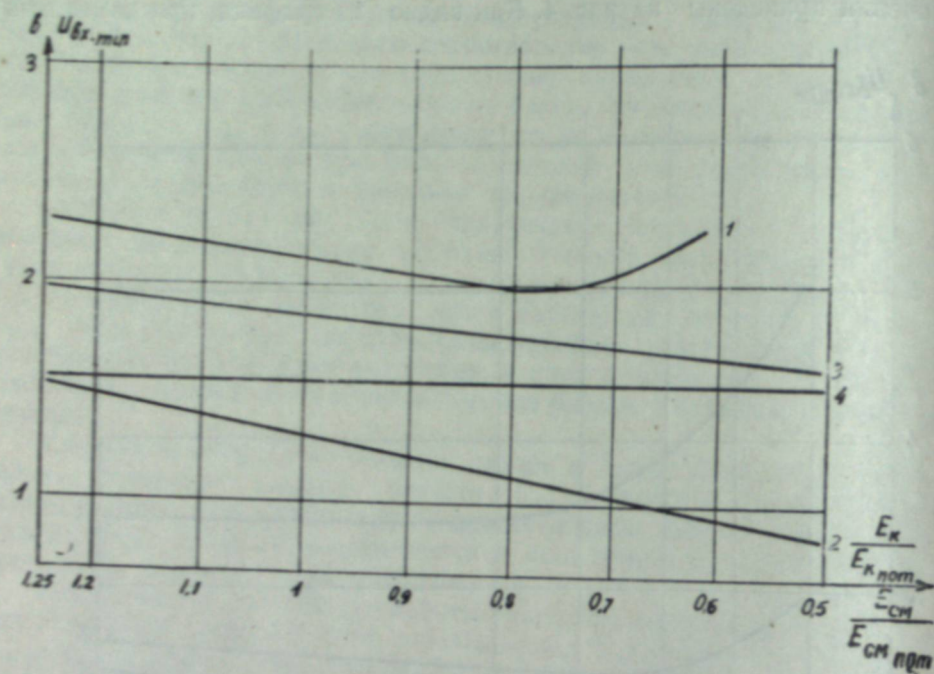


Рис. 4. График зависимости  $U_{вх, мин} = f_2 \left( \frac{E_k}{E_{к ном}} \right)$  (управление по коллектору — 1, по базе — 2) и  $U_{вх, мин} = f_3 \frac{E_{см}}{E_{см ном}}$  (управление по коллектору — 3, по базе — 4). Смещение независимое;  $f = 100$  гц;  $R_1 = 24$  ком;  $R_2 = 100$  ком;  $C_{св} = 2000$  пкф;  $C_{ус} = 3000$  пкф;  $E_{к ном} = 12$  в;  $E_{см ном} = 2,5$  в.

При уменьшении  $E_k$  больше чем на 20% пропорциональная зависимость между  $E_k$  и  $U_{вх, мин}$  для случая управления по коллектору нарушается. С дальнейшим уменьшением  $E_k$  растет  $U_{вх, мин}$ . Одним из возможных объяснений такой зависимости можно считать сильную степень запирания одного из триодов при уменьшенном по сравнению с номинальным значением  $E_k$  и номинальном  $E_{см}$ . Входной сигнал должен преодолеть положительное напряжение на базе закрытого триода путем передачи изменений напряжения с коллектора открытого триода. Однако с уменьшением  $E_k$  и постоянном  $E_{см}$  увеличивается положительное напряжение на базе закрытого триода и уменьшается крутизна изменений потенциала коллектора открытого триода. Следовательно, с уменьшением  $E_k$  требуется большее  $U_{вх, мин}$  для переключения триггера.

В ходе работы была определена минимальная длительность переключающего триггер импульса. Триггеры из триодах типа П1Ж и П14 начинают надежно переключаться от импульсов длительностью 4—5 мксек.

Проверка отклонений величин сопротивлений в цепях смещения триггера ( $R_1$  и  $R_2$ ) показала, что триггер надежно переключается при изменении этих сопротивлений в пределах  $\pm 50\%$  от расчетных значений.

## Выводы

1. Полупроводниковые триггеры как коммутационные элементы достаточно надежны в работе и позволяют незначительными сигналами управлять коммутацией относительно мощных цепей.

2. Вследствие больших величин паразитных межэлектродных емкостей у триодов требуются значительные по величине емкости в цепях управления и обратной связи триггера. Величины их лежат в пределах от одной до нескольких тысяч пкф.

3. По той же причине с увеличением частоты переключения чувствительность триггера к сигналам управления значительно уменьшается.

4. Изменение значений  $E_k$  и  $E_{см}$  в пределах  $\pm 20\%$  вызывает пропорциональное изменение  $U_{вх, мин}$  вследствие изменения степени насыщения триодов триггера.

5. Изменение сопротивления в цепях смещения триггера в пределах  $\pm 50\%$  от расчетного значения не влияет на надежность переключения триггера.

Новосибирский электротехнический институт связи  
Институт горного дела  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
5/III 1959

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Кононов, И. П. Степаненко, Пересчетные схемы на полупроводниковых триодах. Атомная энергия, № 2, 1957.
2. Е. М. Мартынов, Бесконтактные переключающиеся устройства. Госэнергоиздат, М., 1958.

Б. Н. ДЕВЯТОВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНЕРЦИОННОСТИ И РЕГУЛИРУЕМОСТИ НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ИХ КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ

Постановка вопроса. Решение задачи  
о нестационарных процессах в непрерывнодействующих  
технологических аппаратах

Вопросы выбора оптимальных параметров технологических аппаратов и оптимальных показателей режима их работы являются основными в теории процессов и аппаратов. При этом первая задача — это расчет аппарата на стационарный режим, который теоретически должен обеспечить наивыгоднейшую работу данного объекта.

Очевидно, что указанная задача является основой расчета аппарата. Однако до сих пор часто ее решение неправильно считают решением всего вопроса в целом. Между тем возрастающие потребности в авторегулировании процессов на практике доказывают неизбежность возникновения второй задачи — об устойчивости выбранного режима работы и его регулируемости [1, 2]. Этот вопрос является другой стороной того же основного вопроса об оптимальных параметрах, так как не всегда режим работы бывает устойчивым и даже не всегда доступна необходимая точность регулирования.

Для выбора действительно оптимальных параметров расчет аппарата и регулятора необходимо вести одновременно и согласованно. Для этого необходимо предварительное теоретическое выяснение характеристик инерционности и регулируемости аппаратов. Определение этих характеристик основано на теоретическом рассмотрении переходных процессов в проектируемых объектах регулирования.

Однако в теории автоматического регулирования усовершенствование регулятора обычно рассматривается при имеющихся уже фиксированных характеристиках объектов. Другая же сторона вопроса — предварительная теоретическая характеристика проектируемого технологического аппарата в отношении устойчивости его работы и возможностей регулирования — почти не затронута исследователями [3, 4].

Как правило, аппарат вначале работает без регулятора и необходимая характеристика устойчивости снимается экспериментально. Поэтому авторегулятор может быть запроектирован и построен только после пуска аппарата. Со всеми параметрами и особенностями объекта приходится уже считаться как с фактом, и какие-либо желательные, в смысле устойчивости работы или удобства регулирования, изменения в нем делаются невозможными.

Новый подход к задаче определения оптимальных параметров технологического аппарата внесет определенные коррективы в решение этого основного вопроса. Он обеспечит наиболее выгодную связь конст-

рукции аппарата с действием регулятора и будет гарантировать действительно оптимальный режим работы.

В некоторых случаях самый простой регулятор вполне обеспечивает достаточную точность регулирования, а иногда этого не может дать даже очень сложный дорогостоящий регулятор.\* Вполне возможно, что для улучшения устойчивости или регулируемости иногда достаточно будет небольших изменений параметров аппарата или режима его работы без изменения или с очень небольшим изменением всех других показателей. И эти меры вполне окупятся повышением устойчивости работы аппарата. Они могут и должны быть своевременно осуществлены, если теория подскажет их в период совместной разработки и проектирования аппарата и регулятора.

В соответствии с общей проблемой усовершенствования объекта как основного звена системы регулирования в настоящей статье решается задача анализа устойчивости и регулируемости для широкого класса технологических аппаратов, работающих по принципу противотока. К таким объектам относятся теплообменные аппараты, абсорберы, экстракторы, колонны ректификации и др. [3].

Рассматриваемые аппараты объединяются общим принципом действия. Это непрерывнодействующие технологические аппараты, работающие по принципу противотока, причем движущей силой процесса является либо разность температур (теплообменники), либо разность концентраций (абсорбер, экстрактор, колонны ректификации и др.).

Одним из таких аппаратов, широко применяемых в промышленности, является теплообменник типа «труба в трубе». Охлаждающаяся и нагреваемая среды движутся навстречу друг другу, одна по внешней, а другая по внутренней трубе. Взаимодействие (теплообмен) движущихся по принципу противотока сред в данном случае осуществляется через стенку внутренней трубы.

К рассматриваемому классу аппаратов принадлежит также насадочный абсорбер, работающий по тому же принципу. В нем движущей силой процесса является разность концентраций непосредственно соприкасающихся при движении противотоком жидкости сверху и газа снизу.

Задача об оптимальных параметрах регуляторов для таких аппаратов рассматривалась в [5, 6]. Г. М. Фиалко [6] дает скелетную схему электрического изодромного регулятора технологического процесса. В работах [5, 6] предлагаются усовершенствования регулирующих устройств для технологических аппаратов данного класса.

Как известно, характерной особенностью этих аппаратов является сравнительно большое время запаздывания (по сопоставлению с инерционностью объекта). Уже это свойство объекта весьма ограничивает возможности высококачественного регулирования процесса, как бы ни было совершенно регулирующее устройство.\*\*

Из рис. 8, приведенного в работе [6], видно, что при достаточно плохой характеристике объекта\*\*\* невозможно достигнуть высококачественной работы системы.

У плохих (в смысле возможности регулирования) объектов изодромный регулятор не обеспечивает необходимого снижения величины квадратичных отклонений по сравнению с регулятором без обратной связи.

\* Иногда стоимость регулятора может превышать стоимость самого объекта.

\*\* При заданной величине запаздывания вообще можно указать границу качества регулирования, не достижимую даже при идеальном регуляторе.

\*\*\* В данном случае при большом значении  $a$  ( $a = \frac{\tau}{T_a}$ , где  $\tau$  — время запаздывания,  $T_a$  — постоянная времени объекта).

Таким образом, анализ результатов исследований в работах [5, 6] также показывает необходимость выяснения показателей инерционности и регулируемости объектов с целью их усовершенствования, достижения лучшей устойчивости режима или лучшей возможности регулирования.

Перейдем к выяснению показателей инерционности и регулируемости аппаратов.

Общие уравнения для переходных процессов в непрерывнодействующих технологических аппаратах имеют вид:

$$\begin{aligned} \kappa_1(v - u) - \omega_1 \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{\partial u}{\partial t}, \\ \kappa_2(u - v) + \omega_2 \frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{\partial v}{\partial t}, \end{aligned}$$

где  $u, v$  — показатели температуры или концентрации движущихся сред в аппаратах,

$\omega_1, \omega_2$  — соответственно их линейные скорости,

$\kappa_1, \kappa_2$  — групповые параметры сред,

$x$  — координата сечения аппарата, отсчитываемая в направлении движения среды,

$t$  — время.

Приведенные уравнения были получены в работе [3] для процессов, где отсутствует влияние теплового эффекта реакции, а в работе [7] — для теплообменников в случае тонких стенок (практически при условии, когда критерий Фурье  $F_0 > 0,3$ )\*.

Решения общих уравнений зависят от начальных и граничных условий:

$$\begin{aligned} u(x, 0) &= u(x); \quad v(x, 0) = v(x); \\ u(0, t) &= \varphi_1(t); \quad v(l, t) = \psi_1(t) \text{ (для противотока)}, \end{aligned}$$

где  $l$  — длина аппарата.

Отсюда могут быть найдены как точные, так и приближенные решения для переходных процессов при любых начальных и граничных условиях. В частности, можно найти решение при единичном толчкообразном возмущении (функция Хевисайда) по одной среде  $u$  с сохранением постоянных скоростей  $\omega_1, \omega_2$ \*\*.

Начальный режим при этом принимается стационарным, соответствующим постоянным показателям на входах в аппарат.

Далее может быть решена аналогичная задача при возмущающих воздействиях по количеству подаваемого на вход реагента. Однако решение этого вопроса связано с анализом нелинейных уравнений и по своему существу должно быть предметом специальных исследований.

Для сокращения числа параметров и перехода к безразмерным величинам примем следующие обозначения:

$$\alpha = \frac{l\kappa_1}{2\omega_1}, \quad \beta = \frac{l\kappa_2}{2\omega_2},$$

а за единицу времени примем среднее арифметическое время прохождения сред по аппарату, т. е.

\* Вопросы о влиянии теплового эффекта на скорость реакции, а также о влиянии теплоемкости стенок при теплообмене представляют интерес для дальнейших исследований.

\*\* Это ограничение может быть снято, но тогда будет более громоздким окончательный результат.

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{l}{\omega_1} + \frac{l}{\omega_2} = \frac{l(\omega_1 + \omega_2)^*}{2\omega_1\omega_2}.$$

Таким образом, число переменных сократится до двух ( $\alpha, \beta$ ), не считая времени. Благодаря этому, делается легким полный графический анализ задачи в общем виде и в критериальной форме.

Имея в виду преимущества более простых, «инженерных» формул зависимости переходного процесса от параметров аппарата ( $\alpha, \beta$ ), найдем приближенное решение, удовлетворяющее однако таким условиям:

а) полное совпадение с точным решением для начала процесса (общая точка и общая касательная);

б) полное совпадение с точным решением для конца переходного процесса, т. е. для установившегося режима (общая асимптота кривых при  $t \rightarrow \infty$ ).

Такой выбор приближенного решения представляется вполне обоснованным, если иметь в виду метод малых возмущений, который всегда может быть положен в основу исследования переходных процессов с точки зрения задач регулирования.

В соответствии с кинетикой протекания переходного процесса в первом приближении за кривую этого процесса вполне может быть принята кривая, задаваемая по экспоненциальному закону с момента  $t = \frac{l}{\omega_1}$  (время запаздывания).

Эта близость кривых переходных процессов к кривым, выражающим экспоненциальную зависимость, подтверждается и многочисленными экспериментальными данными — осциллограммами кривых переходных процессов.

Итак, положим:

$$u = \begin{cases} 0, & t < \frac{l}{\omega_1} \\ \varphi\left(t - \frac{l}{\omega_1}\right), & t \geq \frac{l}{\omega_1}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\varphi(t) = m - ne^{-rt}$$

Здесь имеются три свободных параметра:  $m, n, r$ . Выберем их, имея в виду соблюдение отмеченных ранее условий (а) и (б). Это можно сделать, используя результаты, полученные в работе [3].

Тогда  $m, n, r$  определяются из равенств:

$$m = \frac{(\alpha - \beta)e^{2(\beta - \alpha)}}{\alpha - \beta e^{2(\beta - \alpha)}}; \quad m - n = e^{-2\alpha}; \quad nr = 2\alpha\beta e^{-2\alpha}. \quad (2)$$

Экспериментальные данные, полученные на модели теплообменника «труба в трубе», подтверждают теоретические результаты.

Опыты были приближены к условиям практики: был взят теплообменник большой производительности (за 1 минуту через него пропускалось около 30 л воды при большой полноте теплообмена).

Так как продолжительность переходных процессов в теплообменнике лимитируется его длиной, то для облегчения методики эксперимента и повышения его точности аппарат был удлинен: около 14 м при противотоке.

\* Рациональность введения такой единицы времени будет видна в дальнейшем при определении критерия регулируемости.

Из-за быстрых и резких изменений температуры на выходе из аппарата определение кривых переходных процессов обычным способом, с помощью ртутных термометров, становится невозможным ввиду их большой инерционности. Кривые переходных процессов определялись поэтому двумя другими способами:

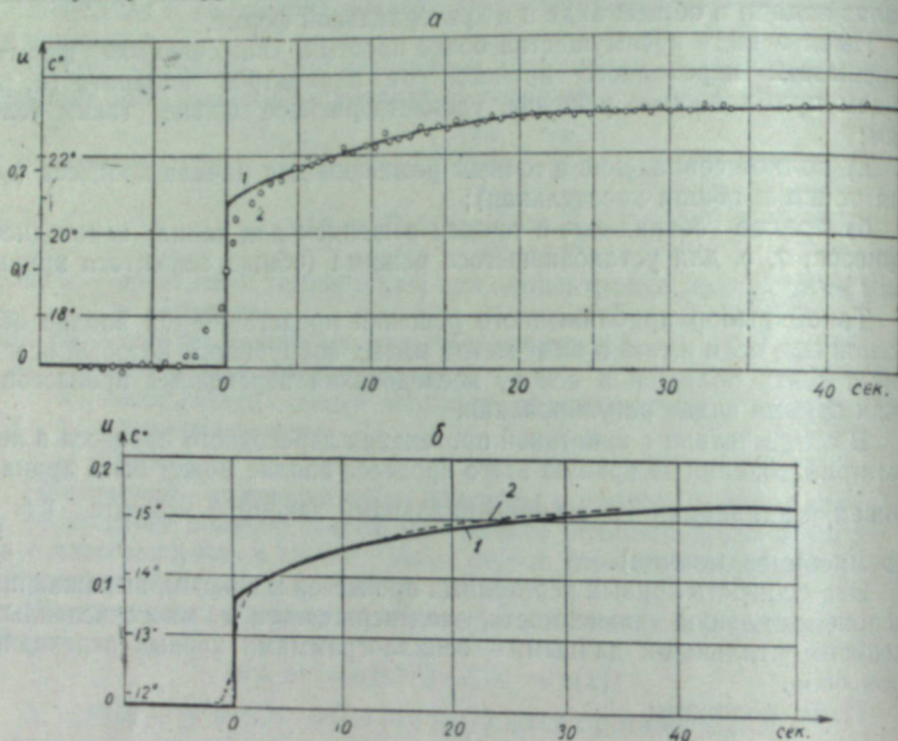


Рис. 1.

- 1) путем отбора проб в сосуды Дюара на выходе из теплообменника с последующим измерением температур в этих пробах;
- 2) с помощью осциллографа (датчиком служил термометр сопротивления, помещенный в струе воды на выходе из аппарата).

На рис. 1 эти кривые (2) сопоставлены с расчетными данными (1); между ними обнаруживается хорошее сходжение.\*

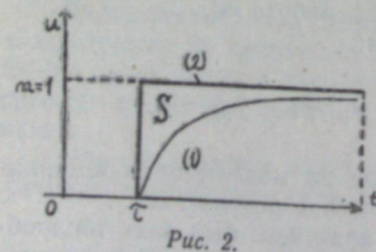


Рис. 2.

По полученным теоретически выражениям (1) для переходных процессов находим характеристики инерционности («устойчивости»), «проницаемости», регулируемости, показателями которых в известном смысле может служить, например, величина площади  $S$ , заключенной между кривой переходного процесса и горизонтальной прямой, соответствующей значению нового установившегося режима (рис. 2).

Наличие инерционности аппарата дает кривую 1, отсутствие — кривую 2 (см. рис. 2). При отсутствии инерционности приходится иметь дело только с «чистым запаздыванием». Этот случай — наиболее трудный для задач регулирования.

\* Некоторые отклонения экспериментальных данных от теоретических обусловлены фактором смешения в потоках движущихся сред [7].

Чем больше  $S$ , тем больше инерционность и тем меньше проницаемость при равной полноте процесса в стационарных условиях.

Таким образом, величину  $S$  мы можем принять за критерий инерционности и, в определенном смысле, за критерий проницаемости объекта.

Заметим, что в часто встречающихся в технике случаях, когда кривая переходного процесса на выходе близка к кривой с экспоненциаль-

ным законом изменения типа  $y = 1 - e^{-\frac{t}{T_a}}$ , площадь  $S$  точно равна постоянной времени  $T_a$ .\*

Величина  $T_a$  в теории авторегулирования [5] считается мерой инерционности таких объектов. Это подтверждает правильность выбора нами в качестве критерия инерционности аппарата величины  $S$ .

Итак, устойчивость аппарата будет определена, если найдется величина  $S$ .

Второй вопрос, подлежащий решению, — это выяснение характеристики регулируемости аппаратов. Известно, что объекты с большим запаздыванием трудно поддаются регулированию. Точнее, известно, что плохо регулируются объекты, у которых велико относительное запаздывание в сопоставлении с величиной инерционности.

В случае, когда переходный процесс близок к кривой типа  $y = 1 - e^{-\frac{t}{T_a}}$ , такой характеристикой регулируемости можно считать величину, обратную относительному времени запаздывания  $\frac{\tau}{T_a}$ , т. е.  $\frac{T_a}{\tau}$ , где  $\tau$  — время запаздывания, а  $T_a$  — постоянная времени объекта.

Здесь величина постоянной времени  $T_a$  является мерой инерционности объекта. Но, как это было нами принято, такой мерой инерционности в общем случае будет величина  $S$ . Здесь, в частном случае,  $S = T_a$ .

Отсюда естественно вообще принять за меру регулируемости величину  $\frac{S}{\tau}$ . Чем больше  $\frac{S}{\tau}$ , тем лучше регулируемость аппарата; чем меньше  $\frac{S}{\tau}$ , тем она хуже.

Величина времени запаздывания  $\tau$  определяется просто. Таким образом, все сводится к задаче определения величины  $S$ , которая, как говорилось выше, может служить также мерой инерционности и «проницаемости» аппарата.

#### Определение универсальных характеристик инерционности и регулируемости для класса аппаратов, работающих по принципу противотока

Воспользуемся выражением (1) переходного процесса для указанного выше типа непрерывнодействующих технологических аппаратов:  $\varphi(t) = m - ne^{-rt}$ .

$$\text{Находим: } S = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} ne^{-rt} dt = \frac{n}{rm}.$$

$$* \text{ Действительно, } S = \int_0^{\infty} e^{-\frac{t}{T_a}} dt = T_a.$$

\*\* Очевидно, что при этом величина на выходе аппарата при установившемся режиме должна быть принята за единицу. Поэтому здесь стоит множитель  $\frac{1}{m}$ .

Из соотношений (2) определим отношение  $\frac{n}{rm}$  как функцию безразмерных параметров  $\alpha, \beta$ :

$$S = \frac{n}{rm} = \frac{e^{-2\alpha}}{2\alpha\beta} \cdot \frac{[(\alpha - \beta)e^{2\beta} + \beta e^{2(\beta-\alpha)} - \alpha]^2}{[\alpha - \beta e^{2(\beta-\alpha)}](\alpha - \beta)e^{2(\beta-\alpha)}} \quad (3)$$

Для того, чтобы выразить  $S$  в секундах, умножим на  $\left(\frac{\alpha}{k_1} + \frac{\beta}{k_2}\right)$ :

$$\bar{S} = S \cdot \left(\frac{\alpha}{k_1} + \frac{\beta}{k_2}\right) \quad (4)$$

Найденное таким образом общее аналитическое выражение  $S$  является показателем устойчивости аппарата, характеризующим его инерционность, «проницаемость».

Перейдем теперь к выяснению регулируемости аппарата.

Будем учитывать запаздывание только по первой среде  $u \left(\tau_1 - \frac{l}{w_1} = \frac{2\alpha}{k_1}\right)$ . В этом случае, чтобы получить характеристику регулируемости аппарата, нужно значение  $S$  выразить в секундах, т. е. взять  $\bar{S}$ , а затем перейти к выражению в долях  $\tau_1$ , разделив  $\bar{S}$  на  $\tau_1$ :

$$\frac{\bar{S}}{\tau_1} = S \cdot \frac{\alpha k_2 + \beta k_1}{2k_2 \alpha} = S \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\beta k_1}{\alpha k_2}\right) \quad (5)$$

Однако нужно отметить, что регулируемость аппаратов, работающих по принципу противотока, лимитируется не только запаздыванием  $\tau_1$  (по одной среде), но и запаздыванием  $\tau_2$  (по другой среде). Это объясняется тем, что в процессе регулирования воздействие на первую среду производится часто с помощью второй. Поэтому более рационально учесть и то и другое запаздывание, взяв среднее арифметическое  $\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$ .

В этом случае, выражая  $\bar{S}$  в долях  $\tau$ , получим универсальную характеристику регулируемости в виде:

$$\frac{\bar{S}}{\tau} = S \quad (6)$$

Найденное аналитическое выражение для (3) является показателем регулируемости в критериальной форме. То же выражение  $S$  в других единицах характеризует инерционность объекта.  $S = S(\alpha, \beta)$  является функцией только двух безразмерных параметров, поэтому всегда можно легко построить систему графиков в интересующей нас области значений  $\alpha, \beta$  и получить полную картину изменения инерционности и регулируемости аппарата в этой области.

#### Выяснение зависимости инерционности и регулируемости от критериев $\alpha, \beta$ , характеризующих аппарат

Полученное выражение  $S$  инерционности и регулируемости (3) геометрически представляет поверхность, которая определяет интересующий нас показатель в каждой точке плоскости параметров с координатами  $(\alpha, \beta)$ .

Параметры аппарата  $\alpha, \beta$ , в свою очередь, могут быть связаны каким-либо условием, например, требованием определенной полноты про-

цесса в стационарном режиме работы или заданием какой-нибудь другой связи, характерной для конкретного случая расчета данного аппарата. Это выразится наличием соотношения  $F(\alpha, \beta) = 0$ . Отсюда  $\alpha$  найдется по  $\beta / \alpha = f(\beta)$  или, наоборот,  $\beta$  по  $\alpha$ .

Так получается еще более простое выражение  $S = S(\beta)$  как функция всего лишь одного параметра. Эта характеристика легко может быть представлена графически.

Допустим, что при расчете аппарата следует учесть необходимые особенности его конструкции или режима работы (условие, соблюдение которого обязательно при любой конструкции данного объекта).

Такое условие определенным образом свяжет свободные до сих пор параметры  $\alpha, \beta$  или просто определит значение одного из них.

Пусть, к примеру, эта связь между параметрами выражается уравнением  $\alpha^2 + \beta^2 = \alpha$ .

Найдем  $\beta$  из данного уравнения и подставим в выражение  $S$ , определяя таким образом регулируемость и инерционность аппарата как функцию свободного параметра  $\alpha$ . Получим  $S = S(\alpha)$  (рис. 3).

Допустим далее, что нужно сохранить заданное значение одного из критериев, например  $\alpha$ . В этом случае если  $\alpha = \text{const}$ , то  $S = \bar{S}(\beta)$  (рис. 4).

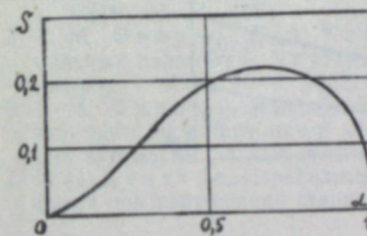


Рис. 3.

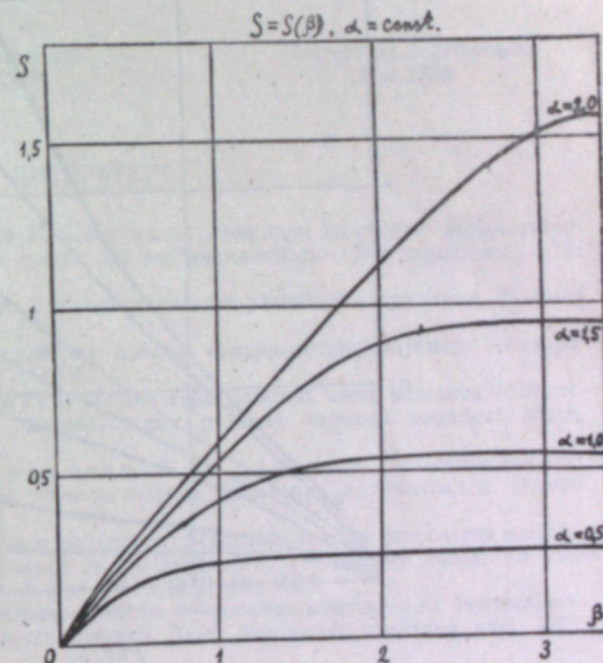


Рис. 4.

Полученные кривые (см. рис. 3, 4) дают полное представление о характере изменения инерционности и регулируемости. Это поможет правильно выбрать оптимальные параметры технологического аппарата, с учетом требований устойчивости процесса и его регулирования.

Очень часто существенным является требование определенной полноты процесса в технологическом аппарате. В этом случае необходимо соответствующее соотношение между  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$p = \frac{1}{m} = \frac{\alpha - \beta e^{2(\beta-\alpha)}}{(\alpha - \beta)e^{2(\beta-\alpha)}} \quad (7)$$

где  $p$  характеризует полноту процесса.

Таким образом,  $S$  будет функцией только одного критерия (либо  $\alpha$ , либо  $\beta$  — безразлично).

При заданном значении  $p$  соотношение (7) представляет кривую равной полноты процесса. Меняя  $p = \frac{1}{m}$ , мы получим семейство кривых

равных полнот процесса. Для каждой такой кривой характерна своя зависимость  $\alpha$  от  $\beta$ , а следовательно, будут получаться разные характеристики.

На рис. 5 представлены кривые — результаты расчетов, — являющиеся решением этого вопроса в общем виде и в критериальной форме.

Кривые  $S(\beta)$  дают полное представление о характере изменения инерционности и регулируемости при изменении параметров с условием сохранения заданной полноты процесса.

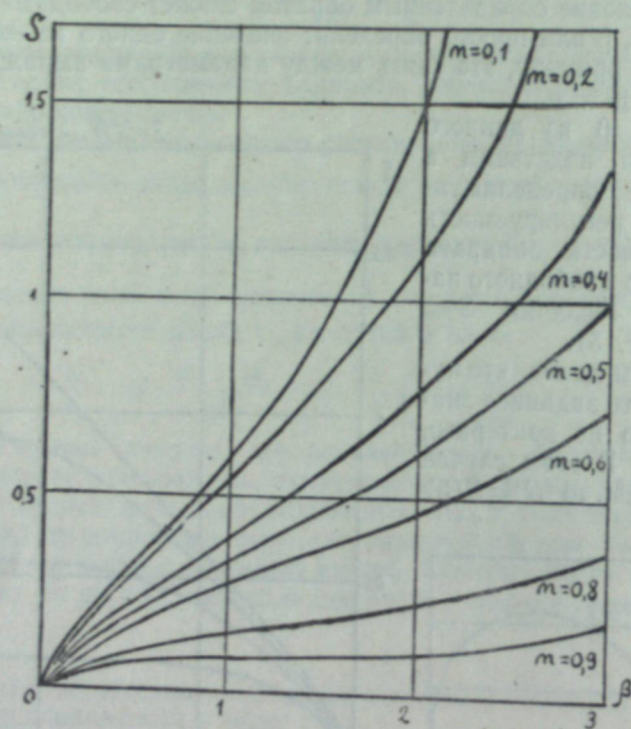


Рис. 5.

Величины (значения) параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  могут быть различными, в зависимости от того, какой конкретный аппарат рассматривается. Поэтому очень возможно, что графики типа представленных на рис. 4, 5 будут нуждаться в отдельных случаях в соответственном продолжении при больших значениях  $\alpha$  и  $\beta$ .

Область изменения  $\alpha$ ,  $\beta$  для таких аппаратов, как абсорбер, колонны ректификации и др., может быть установлена в каждом отдельном случае по конкретным заводским данным, после чего при необходимости легко можно продолжить соответственные графики, пользуясь приведенными в статье общими формулами.

По имеющимся экспериментальным данным для теплообменника значения  $\alpha$ ,  $\beta$  находятся в пределах, рассматриваемых на графиках рис. 4, 5. В частности, испытывался теплообменник с показателями, дающими  $\alpha \approx 1,2$  и  $\beta \approx 0,6$ ;  $\alpha \approx 0,85$  и  $\beta \approx 0,5$  и другие значения  $\alpha$ ,  $\beta$ . Опыты были произведены на модели теплообменника «труба в трубе», близкой к практике: длина теплообменника составляла около 14 м, за 1 минуту через аппарат пропусклось около 30 л воды при большой полноте теплообмена.

## Выводы

Получена в общем виде и в критериальной форме характеристика инерционности и регулируемости для широкого класса технологических аппаратов, работающих по принципу противотока. Эта характеристика  $S$  представлена как функция только двух безразмерных комплексов ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), что обеспечивает легкость и доступность инженерных расчетов, связанных с конкретным анализом полученных результатов.

Найденные характеристики аппаратов необходимы для решения двух практически важных задач:

- расчета аппарата на оптимальный стационарный режим с учетом показателей устойчивости этого режима;
- одновременного и согласованного проектирования регулятора и объекта.

Институт автоматизации и электротехники  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
14/1 1959

## ЛИТЕРАТУРА

- В. С. Кулебакин, Доклад на II Всесоюзном совещании по теории автоматического регулирования. Тр. II Всес. совещ. по теории автоматич. регулирования, т. 2, Изд. АН СССР, М., 1955.
- В. С. Кулебакин, Основные пути дальнейшего развития автоматизации. Вестник АН СССР, № 1, 1957.
- Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников. ДАН СССР, т. 90, № 5, 1958.
- Б. Н. Девятков, Г. Н. Богачев, Управление работой цепи мешалок с непрерывным потоком реагентов при осуществлении реакции первого порядка. ЖПХ, т. XXIV, № 11, 1951.
- Г. М. Фялко, Л. А. Костромитин, Б. Н. Девятков, Определение оптимальных параметров регуляторов технологических процессов. Автоматика и телемеханика, т. XIII, № 4, 1952.
- Г. М. Фялко, Моделирование и расчет оптимальных параметров систем автоматического регулирования в химической промышленности. Тр. II Всес. совещ. по теории автоматич. регулирования, т. 2, Изд. АН СССР, М., 1955.
- Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников при нарушениях стационарных условий. Дисс., Уральский политехн. ин-т, 1953.



Ю. И. СОЛОВЬЕВ

К ЗАДАЧЕ О ПРЕДЕЛЬНОМ РАВНОВЕСИИ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ  
ПОД ЖЕСТКИМ ШТАМПОМ ПРИ ОТСУТСТВИИ ОБЪЕМНЫХ СИЛ

Опубликованные в настоящее время решения задачи о предельном состоянии сыпучей среды под жестким штампом основаны на допущении, что угол наклона вектора контактного давления к нормали контактной поверхности постоянен [1]. Вследствие этого возможные перемещения штампа имеют характер параллельно-поступательного движения. Однако в ряде задач, в том числе в задаче об устойчивости сооружений на мягких грунтах, ввиду произвольности загрузки штампа действительной нагрузкой необходимо рассматривать общий случай возможных перемещений.

Как известно, любое плоское перемещение твердого тела за бесконечно малый промежуток времени вполне определяется поворотом его на бесконечно малый угол вокруг некоторого мгновенного центра вращения. При этом применительно к сыпучей среде под жестким штампом в общем случае, если отсутствуют разрывы и проскальзывания между подошвой штампа и поверхностью среды, направление активного семейства линий скольжения вдоль контактной поверхности должно совпадать с направлением возможных перемещений точек подошвы [2].

Направим координатную ось  $x$  вниз, а ось  $y$  — вправо и примем следующие обозначения:  $\sigma_1 > \sigma_2$  — главные напряжения;  $\rho, k$  — угол внутреннего трения и коэффициент сцепления сыпучей среды;  $\varphi$  — угол между главной осью точки и осью  $x$ , отсчитываемый против хода часовой стрелки от положительного направления оси  $x$ . Далее введем сокращенные обозначения:  $H = k \operatorname{ctg} \rho$  — временное сопротивление сыпучей среды всестороннему равномерному растяжению;  $\sigma = 1/2(\sigma_1 + \sigma_2) + H$  — среднее приведенное давление;  $2\mu = \pi/2 - \rho$  — острый угол пересечения линий скольжения.

Задача о предельном состоянии невесомой сыпучей среды, как известно [1], сводится к решению системы уравнений теории предельного равновесия:

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} + \operatorname{tg}(\varphi + \mu) \frac{\partial \xi}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \eta}{\partial x} + \operatorname{tg}(\varphi - \mu) \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0,$$

а компоненты напряжения, соответствующие предельному состоянию сыпучей среды в системе координат  $nt$ , повернутой относительно системы  $xu$  на угол  $\alpha$ , определяются выражениями

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n \\ \sigma_t \\ \tau_{nt} \end{aligned} \right\} = \sigma \left[ 1 \pm \sin \rho \cos 2(\varphi - \alpha) \right] - H, \quad (1)$$

$$\tau_{nt} = \sigma \sin \rho \sin 2(\varphi - \alpha),$$

причем

$$\xi = \chi + \varphi; \quad \eta = \chi - \varphi; \quad \chi = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \rho \ln \frac{\sigma}{\sigma_0}. \quad (2)$$

В последнем выражении величина  $\sigma_0$  есть произвольная постоянная, имеющая размерность напряжения (для связных грунтов удобно принять  $\sigma_0 = k$ ).

В общем случае задача теории предельного равновесия может быть решена только с помощью численного или графического методов интегрирования. В частном случае, когда одна из граней невесомого сыпучего клина плоская и на ней задано равномерно распределенное давление, решение может быть получено в замкнутой форме с помощью интегралов уравнений теории предельного равновесия.

Задача имеет два решения. Одно из них определяет максимальное давление, при котором еще не происходит выпирания среды из-под штампа, а другое определяет минимальное давление, при котором штамп еще не выпирается средой.

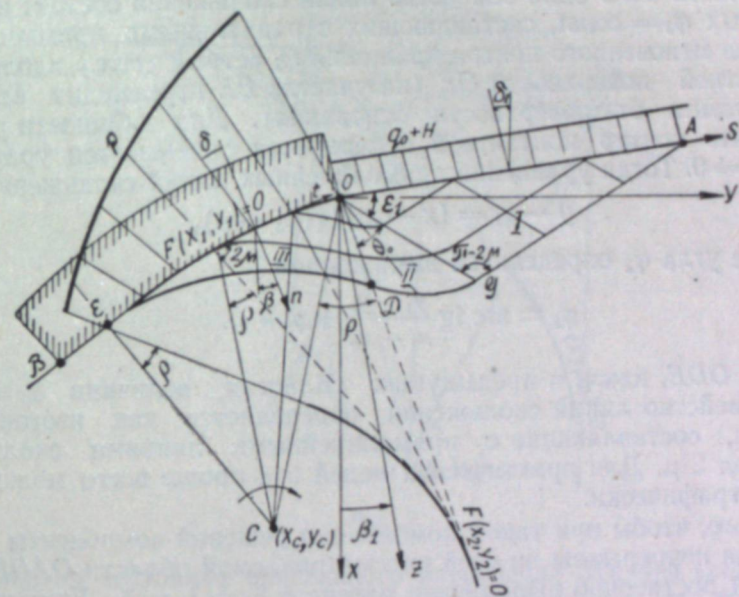


Рис. 1.

Начнем с задачи о максимальном давлении.

Исследуем предельное напряженное состояние сыпучей среды, в которое она приходит от давления штампа, предполагая, что возможные перемещения точек подошвы штампа направлены внутрь среды и определяются поворотом штампа в направлении хода часовой стрелки вокруг мгновенного центра вращения  $C$  (рис. 1). Тогда в области  $OAG$  наблюдается максимальное напряженное состояние, определяемое компонентами  $\sigma_z = q_0 < \sigma_s$ ;  $\tau_{zs} = (q_0 + H) \operatorname{tg} \delta_1$ . Сетка линий скольжения состоит из отрезков двух семейств параллельных прямых, наклоненных к оси  $x$  под углами  $\varphi_1 \pm \mu$ , причем из уравнений (1) и граничных условий ( $\sigma_z < \sigma_s$ ) получим

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \beta_1 + \frac{1}{2} \delta_1 - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} + \frac{\pi}{2}, \\ \sigma' &= \frac{q_0 + H}{\cos^2 \rho \cos \delta_1} (\cos \delta_1 + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1}). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Отсюда видно, что в этой области величины  $\xi_1 \equiv \operatorname{const}$  и  $\eta_1 \equiv \operatorname{const}$ . Положение прямой  $OG$  определяется углом

$$\varepsilon_1 = \mu - \frac{1}{2} \delta_1 + \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho}.$$

В области  $OGD$  (в дальнейшем предполагается, что область эта существует, т. е. что угол  $\theta_0 > 0$ ) сетка линий скольжения образована отрезками пучка прямых, проходящих через особую точку  $O$ , и дугами логарифмических спиралей, пересекающих прямые под острым углом  $2\mu$ . Вдоль каждой из прямолинейных линий скольжения угол  $\varphi_2 = \text{const}$ , а величина  $\xi_2 = \text{const}$  во всей этой области. Уравнение логарифмических спиралей в плоских полярных координатах с полюсом в точке  $O$  будет

$$r = Ce^{\theta \operatorname{tg} \rho}, \quad (4)$$

где  $C$  — произвольная постоянная, а угол  $\theta$  отсчитывается от оси  $x$  против хода часовой стрелки.

В области  $ODE$  одно семейство линий скольжения состоит из отрезков прямых  $\varphi_3 = \text{const}$ , составляющих с радиальными прямыми, исходящими из мгновенного центра вращения  $C$ , острый угол  $\rho$  вдоль участка контактной поверхности  $OE$  (на участке  $BE$  происходит отрыв подошвы штампа от поверхности основания). Для общности решения примем, что контур контактной поверхности описывается уравнением  $F(x_1, y_1) = 0$ . Тогда уравнение прямолинейных линий скольжения будет

$$y - y_1 = (x - x_1) \operatorname{tg}(\varphi_3 - \mu), \quad (5)$$

а значение угла  $\varphi_3$  определится выражением

$$\varphi_3 = \arcsin \operatorname{tg} \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} + \rho + \mu. \quad (6)$$

В области  $ODE$ , как и в предыдущих областях, величина  $\xi_3 = \text{const}$ . Другое семейство линий скольжения определяется как изогональные траектории, составляющие с прямолинейными линиями скольжения острый угол  $2\mu$ . Для практических целей оно проще всего может быть построено графически.

Для того, чтобы при такой комбинации решений компоненты напряжения были непрерывны во всей рассматриваемой области  $OAGDE$ , необходимо и достаточно выполнение равенств  $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3$ . Учитывая зависимость (2), получим:

$$\sigma''' = \sigma' \exp [2 \operatorname{tg} \rho (\varphi_1 - \varphi_3)]. \quad (7)$$

Подставляя найденные значения  $\sigma'''$  и  $\varphi_3$  в уравнения (1), получим распределение компонент напряжения по контактной поверхности:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_n + H}{q_0 + H} &= \frac{\cos \delta_1 + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1}}{\cos^2 \rho \cos \delta_1} \left[ 1 + \sin \rho \cos 2(\arcsin \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} + \rho + \mu - \beta) \right] \exp \left[ 2 \operatorname{tg} \rho \left( \beta_1 + \frac{1}{2} \delta_1 - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} - \arcsin \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} - \rho - \mu + \frac{\pi}{2} \right) \right]; \\ \frac{\tau_{nt}}{q_0 + H} &= \frac{\cos \delta_1 + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1}}{\cos^2 \rho \cos \delta_1} \sin \rho \sin 2(\arcsin \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} + \rho + \mu - \beta) \exp \left[ 2 \operatorname{tg} \rho \left( \beta_1 + \frac{1}{2} \delta_1 - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} - \arcsin \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} - \rho - \mu + \frac{\pi}{2} \right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В этих уравнениях  $\beta$  есть угол, который касательная к контактной поверхности составляет с осью  $y$ , отсчитываемый от положительного направления оси  $y$  против хода часовой стрелки.

Построенное решение справедливо лишь до линии разрыва, являющейся огибающей прямолинейных линий скольжения области  $ODE$ .

Для практических целей линию разрыва проще всего строить графически.

Перейдем теперь к задаче о минимальном давлении.

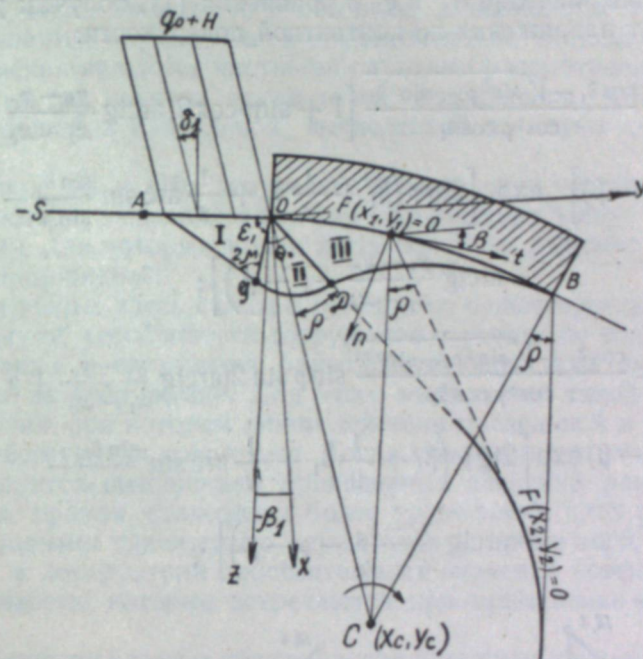


Рис. 2.

Исследуем состояние предельного равновесия сыпучей среды, в которое она приходит от давления пригрузки, предполагая, что возможные перемещения точек подошвы штампа направлены наружу и определяются поворотом штампа в направлении хода часовой стрелки вокруг мгновенного центра вращения  $C$  (рис. 2). Тогда в области  $OAG$  наблюдается минимальное напряженное состояние, определяемое компонентами  $\sigma_z = q_0 > \sigma_s$ ;  $\tau_{zs} = (q_0 + H) \operatorname{tg} \delta_1$ . Сетка линий скольжения составлена отрезками двух семейств параллельных прямых, наклоненных к оси  $x$  под углами  $\varphi_1 \pm \mu$ . Положение прямой  $OG$  определяется углом

$$\varepsilon_1 = \frac{\pi}{2} - \mu + \frac{1}{2} \delta_1 + \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho}.$$

Из уравнений (1) и граничных условий ( $\sigma_z > \sigma_s$ ) найдем:

$$\left. \begin{aligned} \varphi' &= \beta + \frac{1}{2} \delta_1 + \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho}; \\ \sigma' &= \frac{q_0 + H}{\cos^2 \rho \cos \delta_1} (\cos \delta_1 - \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1}). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Отсюда в области  $OAG$  величины  $\xi_1 = \text{const}$  и  $\eta_1 = \text{const}$ .

В области  $OGD$  сетка линий скольжения образована отрезками пучка прямых, проходящих через особую точку  $O$ , и дугами логарифмических

ских спиралей, определяемых уравнением (4). Вдоль каждой из прямолинейных линий скольжения угол  $\varphi_2 = \text{const}$  и во всей области величина  $\xi_2 = \text{const}$ .

В области  $ODB$  одно семейство линий скольжения состоит из отрезков прямых  $\varphi_3 = \text{const}$ , составляющих с радиальными прямыми, исходящими из мгновенного центра вращения  $C$ , острый угол  $\rho$  вдоль контактной поверхности  $F(x_1, y_1) = 0$ . Здесь применимы те же уравнения (5), (6), (7).

Подставляя значения  $\sigma'''$  и  $\varphi_3$  в уравнения (1), получим распределение компонент напряжения по контактной поверхности:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_n + H}{q_0 + H} &= \frac{\cos \delta_1 - \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1}}{\cos^2 \rho \cos \delta_1} \left[ 1 + \sin \rho \cos 2(\arctg \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} + \rho + \mu - \beta) \right] \exp \left[ 2 \operatorname{tg} \rho \left( \beta_1 + \frac{1}{2} \delta_1 + \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} - \arctg \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} - \rho - \mu \right) \right]; \\ \frac{\tau_{nt}}{q_0 + H} &= \frac{\cos \delta_1 - \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1}}{\cos^2 \rho \cos \delta_1} \sin \rho \sin 2(\arctg \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} + \rho + \mu - \beta) \exp \left[ 2 \operatorname{tg} \rho \left( \beta_1 + \frac{1}{2} \delta_1 + \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} - \arctg \frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} - \rho - \mu \right) \right]. \end{aligned} \right\} (10)$$

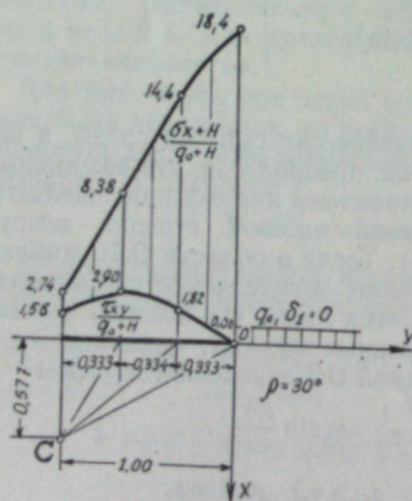


Рис. 3.

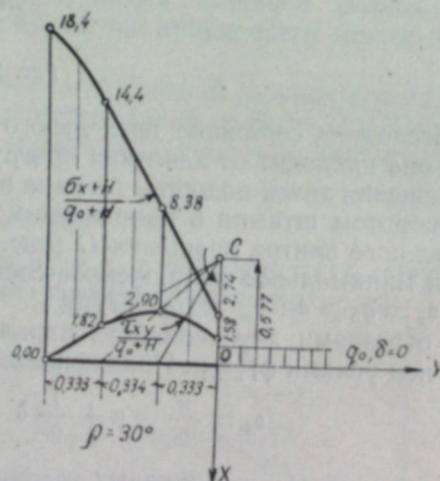


Рис. 4.

Здесь  $\beta$  употреблена в том же значении, что и раньше. Полученное решение справедливо только до линии разрыва, являющейся огибающей прямолинейных линий скольжения области  $ODB$ . Координаты этой линии для практических целей проще всего строить графически.

Для того, чтобы дать некоторое представление о величинах контактных напряжений, даваемых полученными решениями, на рис. 3 и 4 пред-

ставлены эпюры напряжений по плоской подошве жесткого штампа, вычисленные по формулам (8) при  $\rho = 30^\circ$ , причем на рис. 3 мгновенный центр вращения расположен в точке  $x_c = 0,577$ ,  $y_c = -1,00$ , а на рис. 4 — в точке  $x_c = -0,577$ ,  $y_c = 0$ . Легко заметить, что эпюры являются зеркальным отображением одна другой.

В заключение отметим следующее.

1. Мгновенный центр вращения может находиться как внутри сыпучей среды, так и за ее пределами.

2. При удалении мгновенного центра вращения в бесконечность исследуемые схемы переходят в обычные, а возможные перемещения штампа становятся параллельно-поступательными. Отсюда следует, что обычные решения являются частными случаями рассмотренных и применимы только в тех случаях, когда точки приложения действительной равнодействующей и предельной, вычисленной по этим схемам, совпадают.

3. Решения (8) и (10) допускают произвольное очертание контактной поверхности, что позволяет значительно расширить круг практически важных задач, для которых может быть получено решение с непрерывным полем напряжений.

4. Приведенные здесь схемы в отличие от существующих позволяют решать задачу об устойчивости сооружений с учетом не только угла наклона, но также и положения равнодействующей всех активных сил, действующих на сооружение. Для этого выбирается такой мгновенный центр вращения, при котором линии действия предельной и действительной равнодействующих совпадают. Тогда коэффициент запаса устойчивости определится отношением приведенных значений равнодействующих. Задача, правда, становится более трудоемкой, зато совпадение с опытными данными значительно улучшается и, кроме того, исчезают те затруднения в определении действительных значений коэффициента запаса устойчивости, которые встречаются при применении обычных решений [3].

5. Для решения задач в общем случае к данным схемам легко могут быть применены существующие методы численного или графического интегрирования уравнений предельного равновесия сыпучей среды.

Новосибирский институт  
инженеров железнодорожного транспорта

Поступила в редакцию  
8/1 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Соколовский, Статика сыпучей среды. Гостехиздат, М., 1954.
2. Г. А. Геннев, Вопросы динамики сыпучей среды. Госстройиздат, М., 1958.
3. С. С. Голушкевич, Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. Гостехиздат, М., 1958.

И. А. РЫКОВ

### УПРАВЛЕНИЕ СДВОЕННЫМИ БЕССЕКЦИОННЫМИ ЩИТАМИ

Управление сдвоенными щитами является одной из наиболее важных и вместе с тем еще не решенных задач. Способы, применявшиеся для ведения сдвоенных секционных щитов, не пригодны для управления сдвоенными бессекционными щитами.

В настоящей статье описываются результаты проведенных в лабораторных и производственных условиях экспериментальных исследований, позволивших определить и обосновать рациональный способ и основные положения управления сдвоенными бессекционными щитами.

#### Метод управления

Теоретическая схема перемещения щита представлена на рис. 1.

На рис. 1 можно видеть, что кинематика движения щита вниз на шаг посадки проста и состоит из перемещения щита:

- 1) у лежащего бока пласта;
- 2) на среднем опорном целике и у висячего бока пласта — одновременно.

За две последовательные посадки щит из положения 9—10—11 опустится по вертикали и сместится по горизонтали, заняв новое положение 9'—10'—11', параллельное первоначальному. Такое перемещение крепления представляет полный цикл движения щита.

Опускание щита из положения  $AB$  в положение  $A'B'$  на полную высоту обрабатываемого угольного столба  $H$  и смещение его в плоскости пласта в сторону падения на расстояние  $L$  произойдет, за исключением моментов пуска и доработки столба, в результате осуществления ряда подобных, заранее предусматриваемых циклов.

Цикл работ, обеспечивающих перемещение щита на шаг посадки, может состоять из четырех, трех и двух приемов.

При перемещении щита за четыре приема сначала углубляется канава под половиной щита у лежащего бока пласта. Потом производится посадка щита по лежащему боку пласта. При третьем взрывании углубляется канава под половиной щита у висячего бока пласта. Последнее, четвертое взрывание используется для посадки щита на среднем опорном целике и у висячего бока пласта одновременно.

При опускании щита на шаг посадки за три взрывания одновременная посадка щита на среднем опорном целике и у висячего бока пласта совмещается с углублением канавы по лежащему боку пласта.

При опускании щита за два взрывания посадка одной из половинок щита и углубление канавы под другой производятся одновременно. При посадке щита по лежащему боку пласта половина его 10—11 повернется на среднем опорном целике в соединительных листах вокруг неподвижной точки 10 на угол  $\rho$ , в то время как противоположный ее конец, точка

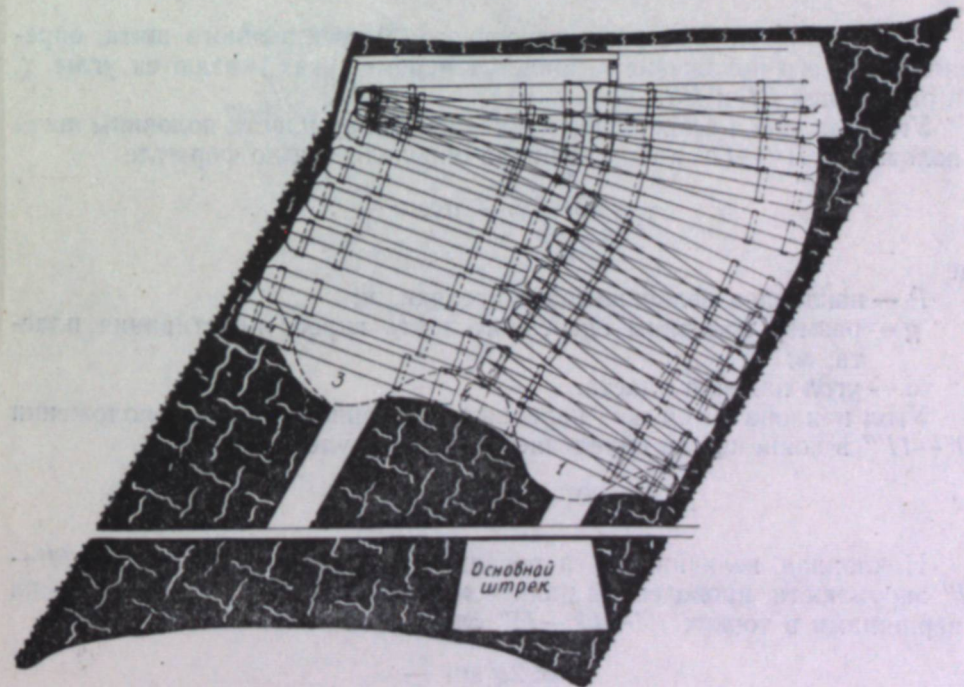
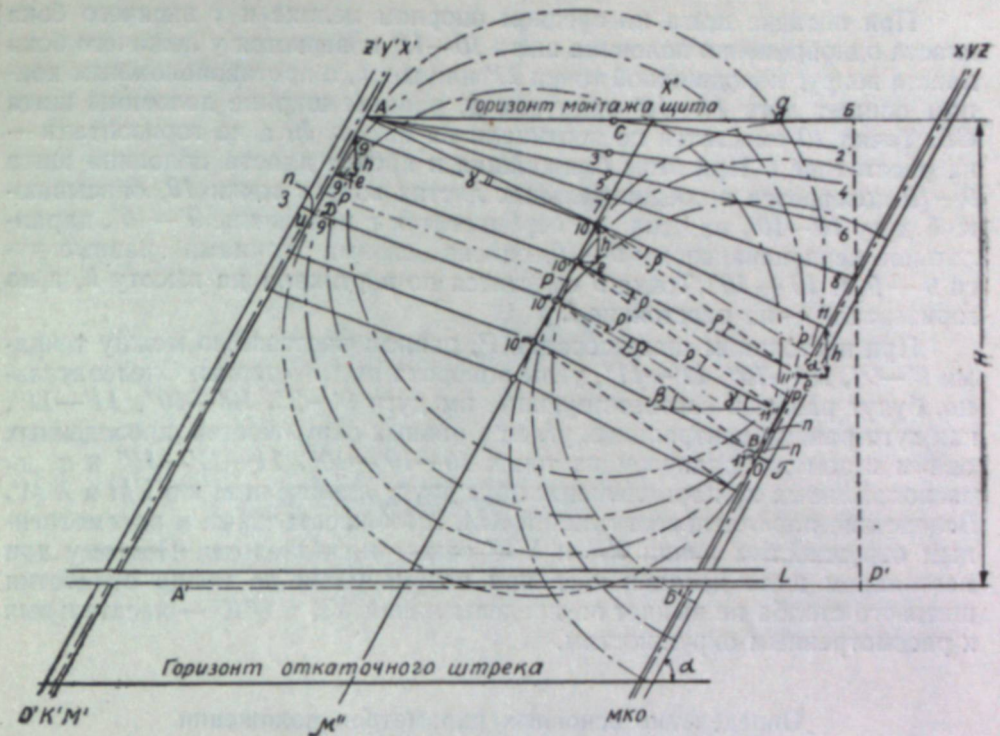


Рис. 1. Теоретическая схема перемещения сдвоенного щита.

11, опишет дугу 11—11' радиусом  $g$ , равным ширине половины щита  $CB$ . Точка 11 сместится по вертикали на высоту  $h$ , а по горизонтали — на расстояние  $l$ .

При посадке щита на среднем опорном целике и у всякого бока пласта одновременно половина щита  $10-11'$  повернется у лежачего бока пласта вокруг неподвижной точки  $11'$  на угол  $\rho$ , а противоположным концом опишет дугу  $10-10'$  радиусом  $g$ , равным ширине половины щита  $CB$ . Точка  $10$  сместится по вертикали на высоту  $h$ , а по горизонтали — на расстояние  $l$ . При этом ближайшая к кровле пласта половина щита  $9-10$  повернется в соединительных листах вокруг точки  $10$ , описывающей дугу  $10-10'$ , на угол  $\gamma$  и переместится в положение  $9'-10'$ , параллельное первоначальному  $9-10$ , описав своими концами равные дуги  $9-9'$  и  $10-10'$ . Точка  $9$  сместится по вертикали на высоту  $h$ , а по горизонтали — на расстояние  $l$ .

При постоянном шаге посадки  $P$ , равном расстоянию между точками  $9'-9''$ ,  $10'-10''$ ,  $11'-11''$ , углы поворота щита  $\rho$  равны. Следовательно, будут равны и соответствующие им дуги  $9'-9''$ ,  $10'-10''$ ,  $11'-11''$ , как дуги равных центральных углов  $\rho$  равных окружностей, проведенных одним и тем же радиусом из точек  $10-10'-10''$ ,  $11-11'-11''$  и т. д., расположенных на параллельных друг другу линиях центров  $XМ$  и  $X'M'$ . Вследствие параллельности линий  $XМ$ ,  $X'M'$  касательные к рассмотренным окружностям линии  $УК$  и  $У'К'$  также параллельны. Поэтому при постоянном шаге посадки щит при перемещении до конца отработки щитового столба не выйдет за пределы линий  $УК$  и  $У'К'$  — касательных к рассмотренным окружностям.

#### Определение основных параметров положения сдвоенного бессекционного щита

Основными параметрами сдвоенного бессекционного щита, определяющими его положение в процессе перемещения, являются углы  $\gamma$ ,  $\beta$  и расстояния  $ВГ$  и  $ДЗ$ .

Угол наклона  $\gamma$  ближайшей к лежачему боку пласта половины щита в положении  $10''-11''$  в начале цикла определяется по формуле

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \arcsin \frac{P}{2g},$$

где

$P$  — наклонная величина шага посадки, м;

$g$  — размер половины сдвоенного щита вкrest простирания пласта, м;

$\alpha$  — угол падения пласта.

Угол наклона  $\beta$  той же половины сдвоенного щита в положении  $10''-11''$  в конце цикла определяется по формуле

$$\beta = 90^\circ - \alpha + \arcsin \frac{P}{2g}.$$

Наклонная величина шага посадки  $P$  является хордой дуги  $11'-11''$  окружности, проведенной радиусом  $g$  из точки  $10'$ . Из треугольника с вершинами в точках  $10'-11'-11''$  следует, что

$$P = 2g \sin \frac{\rho}{2}.$$

Вертикальная величина шага посадки определяется из выражения

$$h = 2g \sin \frac{\rho}{2} \sin \alpha.$$

Горизонтальное смещение за шаг посадки определяется выражением

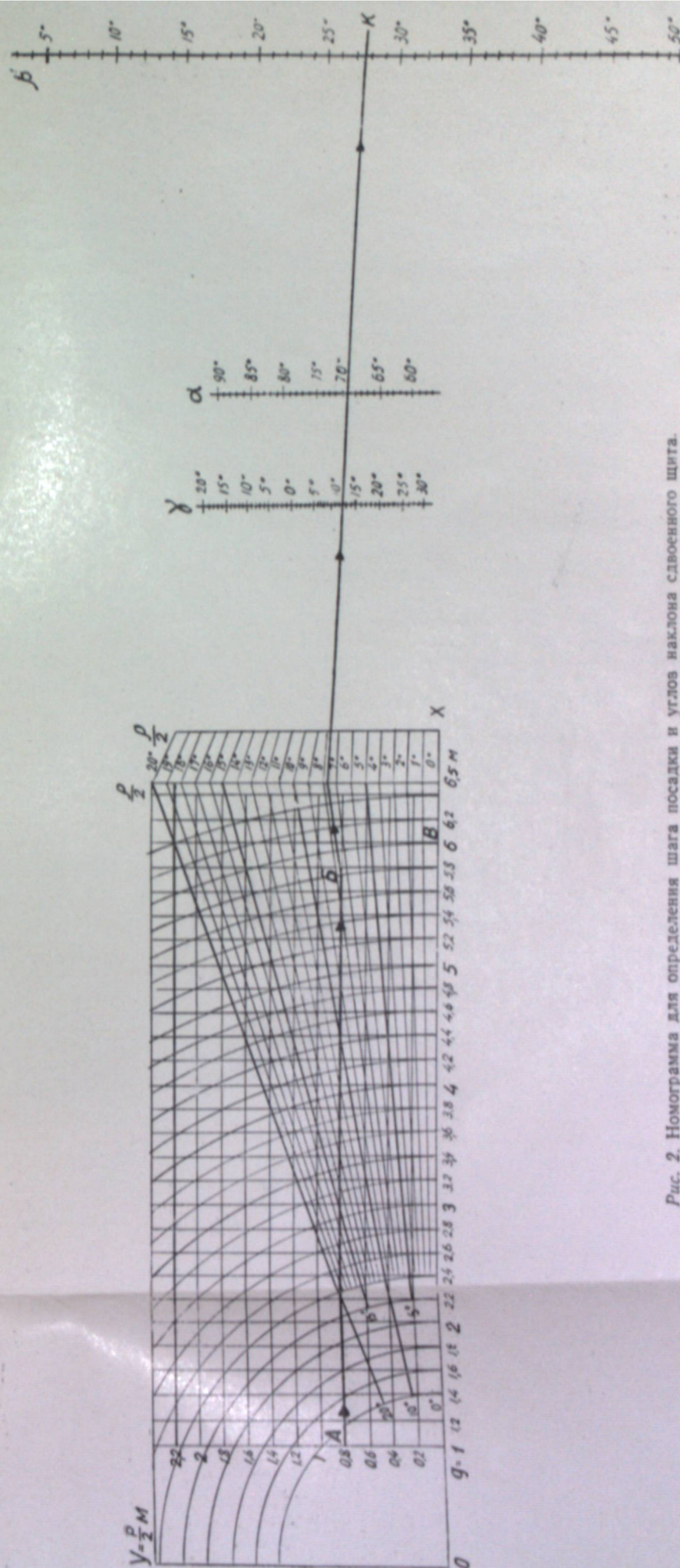


Рис. 2. Номограмма для определения шага посадки и углов наклона сдвоенного щита.

$$l = 2g \sin \frac{\rho}{2} \cos \alpha.$$

Для удобства пользования формулами по результатам их решения построена номограмма для определения значений углов  $\frac{\rho}{2}$ ,  $\gamma$  и  $\beta$  (рис. 2). Номограмма позволяет определить шаг посадки щита и угол  $\rho$  между крайними его положениями, если известны значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$  или  $\alpha$  и  $\beta$  и размер  $g$ .

В номограмме в интервале 0,2 м по оси  $OX$  отложены размеры половины двоянного щита у лежащего бока пласта, а по оси  $OY$  — половины значений шага посадки.

#### Пример пользования номограммой

Размер вкрест простирания пласта половины двоянного бессекционного щита у лежащего бока пласта 6 м. По горногеологическим условиям шаг посадки щита принимается равным 1,6 м. Определим величину угла  $\rho$  между крайними положениями половины щита  $CB$ , углы  $\gamma$  и  $\beta$ , если угол падения пласта  $\alpha$  равен  $70^\circ$ .

По оси  $OX$  находим точку, соответствующую расстоянию 6 м. Из нее проводим дугу  $BВ$  до пересечения с горизонтальной линией, обозначающей половину шага посадки  $P$ . Угол пересечения прямой, проведенной через точки  $B$  и  $O$ , с осью  $OX$  равен  $\frac{\rho}{2} = 9^\circ 20'$ , откуда  $\rho = 18^\circ 40'$ . Углы  $\gamma$

и  $\beta$  находятся на прямой, соединяющей точки, обозначающие углы  $\frac{\rho}{2}$ ,  $\alpha$ , и на ее продолжении.

Расстояния  $BГ$  и  $ДЗ$  от щита до почвы и кровли пласта равны:

$$BГ = n + OГ; \quad ДЗ = n + ИЗ,$$

где  $n$  — высота сегмента, определяемого из выражения  $n \left(1 - \cos \frac{\rho}{2}\right) g$

(рис. 1);

$OГ$  и  $ИЗ$  — величины «корок» угля, теряемых у почвы и кровли пласта. Значения углов  $\gamma$  и  $\beta$  и расстояний  $BГ$  и  $ДЗ$  определяются в процессе расчета крепления для данных условий в зависимости от принятого шага посадки щита и вынимаемой мощности пласта.

Практически объективный контроль за положением двоянного бессекционного щита осуществляется путем замера углов  $\gamma$  и  $\beta$  угломером, расстояний  $BГ$  и  $ДЗ$  — бурением контрольных скважин. Постоянство положения половины щита у всякого бока пласта контролируется угломером. Наклон ее к горизонту не должен превышать  $20^\circ$ .

#### Исследование управления двоянным бессекционным щитом в лабораторных и производственных условиях

Рассмотренная теоретическая схема перемещения двоянного бессекционного щита была испытана в лабораторных условиях. Исследование осуществлялось на моделях, изготовленных в соответствии с принципами подобия исходным условиям, разработанными во ВНИИМИ для решения вопросов, связанных с проявлением горного давления.

Целью исследования было изучить характер перемещения щита при принятом способе управления, предварительно установить основные параметры крепи и определить нижний предел возможной области перемещения двоянного бессекционного щита по углу падения пласта.

$$h = 2g \sin \frac{\rho}{2} \sin \alpha.$$

Горизонтальное смещение за шаг посадки определяется выражением

В соответствии с принятой во ВНИМИ методикой подбора эквивалентных материалов на парафиновой основе воспроизводились по физико-механическим свойствам боковые породы пласта Мощного (табл. 1).

Таблица 1

Наименование пород	Предельное сопротивление пород сжатию, кг/см <sup>2</sup>	
	натуры	модели
Уголь	170	0,34
Песчаник средней устойчивости	613	1,14
Песчаник мелкозернистый слабоустойчивый	500	0,71
Аргиллит слабоустойчивый	250	0,48

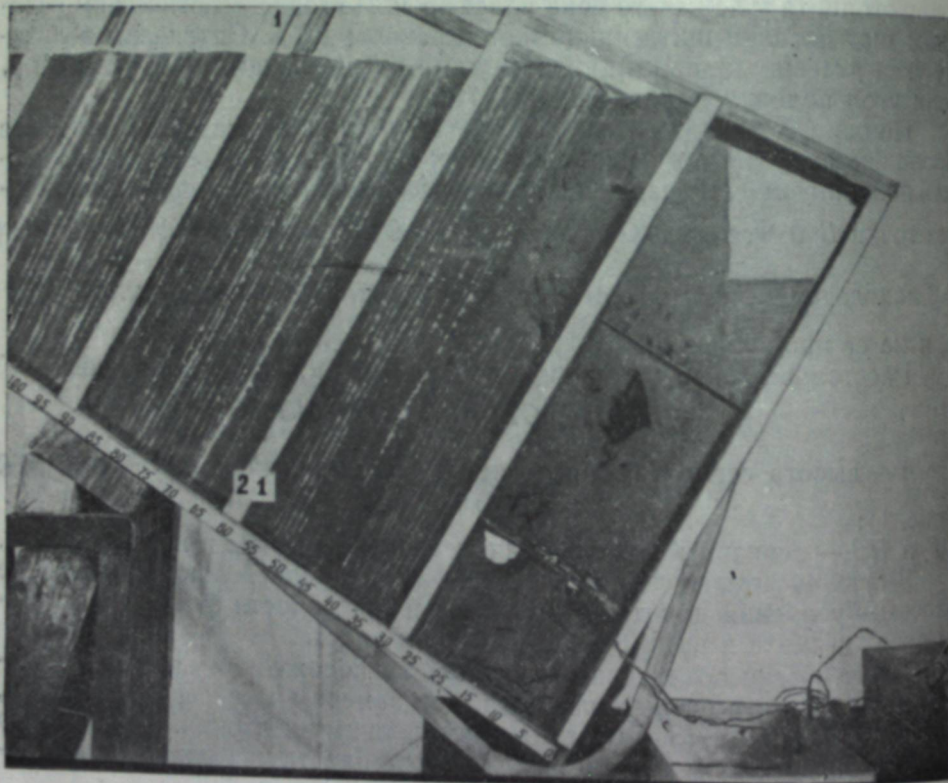


Рис. 3. Общий вид стенда из эквивалентных материалов.

На модели (рис. 3) в линейном масштабе 1 : 50 был имитирован пласт мощностью 14,25 м с углом падения 60° и высотой щитового столба 50 м.

Непосредственная кровля на высоту 2,2 м была представлена аргиллитом слабой и средней устойчивости. В почве пласта накатано три слоя слабоустойчивого аргиллита толщиной 3 см. Модель щита, изготовленная из деревянных брусков сечением 1 × 1,5 см, имела размеры по простиранию 30 см, вкрест простирания — 26 см.

Общая схема перемещения щита представлена на рис. 4. Анализ положений показывает хорошее совпадение показателей движения щита у опытной и теоретической схем. Половина щита у висячего бока

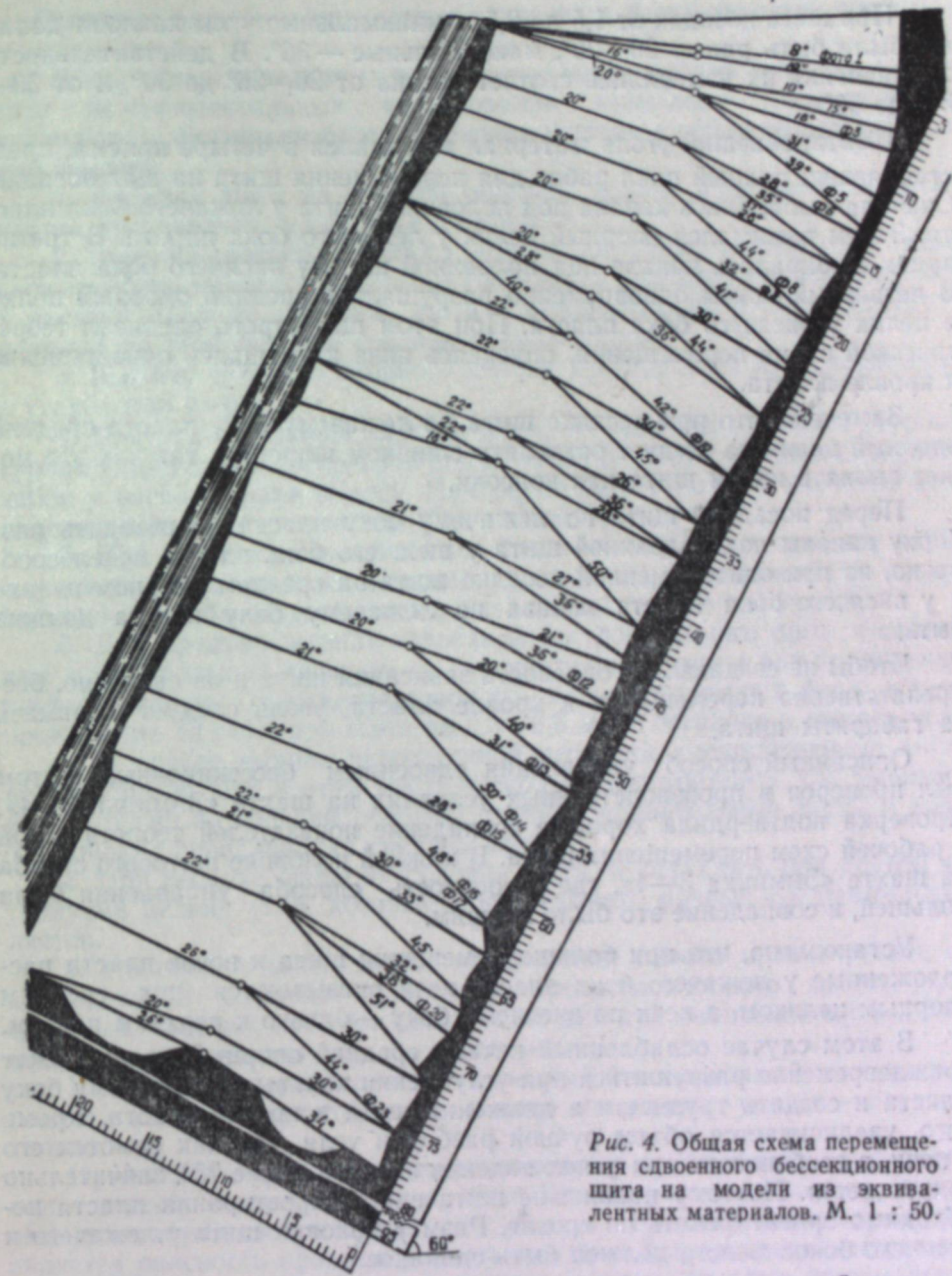


Рис. 4. Общая схема перемещения сдвоенного бессекционного щита на модели из эквивалентных материалов. М. 1 : 50.

пласта, за исключением двух случаев, перемещалась с каждой посадкой в положения, параллельные предыдущим, сохраняя постоянным заданный для ликвидации опасного нависания забоя угол наклона к горизонту 20—22°. Углы наклона половины щита у лежащего бока пласта на 6—8° превышали значения расчетных углов. Это объясняется, во-первых, некоторым общим опусканием щита при одновременных посадках по висячему боку пласта и на среднем опорном целике, когда в движение приходили большие массы пород, давление которых в ряде случаев отжимало оставленные, недостаточно прочные опорные целики у лежащего бока пласта, во-вторых, преднамеренной неравномерностью опускания (для выяснения маневренности при данном способе управления) — щит перемещался попеременно то к почве, то к кровле.

При шаге посадок от 1,5 до 2,5 м минимальные углы наклона должны были быть равны 20—26°, максимальные — 36°. В действительности же значения их изменялись соответственно от 20—26° до 30° и от 30—36° до 50°.

Имитировавший уголь материал вынимался в четыре приема, представлявших полный цикл работ для перемещения щита на шаг посадки. Сначала выбиралась канава под половиной щита у лежачего бока пласта. Затем вынимался опорный целик у лежачего бока пласта. В третий прием выбиралась канава под половиной щита у висячего бока пласта. В четвертый прием одновременно разрушались средний опорный целик и целик у висячего бока пласта. При этом щит строго следовал теоретической схеме перемещения, опускаясь вниз и смещаясь одновременно к кровле пласта.

Замечено, что при посадке щита по лежачему боку пласта средний опорный целик не следует оставлять слишком широким, так как это может вызвать излом щита как консоли.

Перед посадкой щита по лежачему боку пласта производить разборку канавы под половиной щита у висячего бока пласта нецелесообразно, но при одновременной посадке щита на среднем опорном целике и у висячего бока пласта канава по лежачему боку пласта должна быть.

Чтобы не создавалась опасность зависания щита и он свободно, беспрепятственно перемещался к кровле пласта, уголь следует вынимать за габариты щита.

Описанный способ управления сдвоенным бессекционным щитом был проверен в производственных условиях на шахте «Зиминка 3—4». Проверка подтвердила хорошее совпадение показателей теоретической и рабочей схем перемещения щита. В нижней половине щитового столба на шахте «Зиминка 3—4», где освоенность способа управления была большей, и совпадение это было лучшим.

Установлено, что при большом смещении щита к почве пласта расположенные у лежачего бока пласта печи оказываются под средним опорным целиком, а печи по висячему боку — близко к верхним поясам.

В этом случае ослабленный печами средний опорный целик может преждевременно разрушиться при углублении канавы по лежачему боку пласта и создать трудности в движении щита к кровле пласта. Кроме того, увеличивается объем ручной разборки угля, так как самотек его в печи, в особенности при углах падения пластов менее 75°, значительно сокращается. Поэтому положение щита вкрест простирания пласта необходимо ориентировать по кровле. Размер половин щита у лежачего и висячего боков пласта должен быть одинаков.

При углах падения пластов менее 75° средний опорный целик со стороны лежачего бока пласта нельзя оставлять широким, так как это затруднит посадку щита по лежачему боку пласта и осложнит условия его работы как консоли, подверженной излому на границе широкого и потому неподатливого опорного целика. С другой стороны, при малых размерах вкрест простирания половины щита у висячего бока пласта при углублении канавы невозможно оставить далеко простирающийся к кровле средний опорный целик из-за отсутствия пространства под щитом.

Одинаковый размер половин щита позволит при углах падения пластов менее 75° поддерживать средний опорный целик в основном со стороны висячего бока пласта.

### Основные принципы управления сдвоенным бессекционным щитом

Результаты проведенных в лабораторных и производственных условиях экспериментальных исследований позволяют рекомендовать управление сдвоенными бессекционными щитами с соблюдением следующих правил:

1. Посадку щита на среднем опорном целике и по висячему боку пласта производить одновременно.
2. Бурение среднего опорного целика допустимо только со стороны висячего бока пласта, что позволит избежать сползания половины щита у висячего бока по половине щита у лежачего бока к почве пласта и разрыва по этой причине соединительных листов.
3. Ширину среднего опорного целика регулировать при расширении и углублении канав.
4. При углах падения пластов менее 70° щит наклонять со стороны кровли к горизонту настолько, чтобы ликвидировать опасное нависание забоя у висячего бока пласта. Наклон половины щита у висячего бока пласта не должен превышать 20° к горизонту.
5. При углах падения пластов, близких к нижнему пределу — 60°, опускание щита на шаг посадки осуществлять в основном за четыре взрывания, чтобы не допустить сползания щита к почве пласта.
6. Для предупреждения зависаний застропленного щита и связанных с этим больших нагрузок на соединительные листы или продольного раскола накатин взрывание опорного целика у висячего бока пласта производить за габариты щита на 0,3—0,5 м, не оставляя выступов угля.
7. В случае выхода углеспускной печи под соединительные листы целесообразно щит в этом месте несколько застропить для уменьшения нагрузки на средний опорный целик, соединительные листы и предотвращения проваливания середины щита.
8. При посадке одной из половин щита не оставлять под другой нетронутые целики угля, которые могут вызвать разрыв соединительных листов.
9. Положение щита вкрест простирания пласта ориентировать по кровле, чтобы избежать ослабления среднего опорного целика углеспускными печами, которые могут оказаться при смещении щита к почве пласта под соединительными листами.
10. Нормально работающий сдвоенный бессекционный щит должен располагаться по простиранию пласта на одном уровне — горизонтально.
11. Особенно неблагоприятно сказывается на состоянии щита отставание торцов. В этих случаях крайние бревна разворачиваются, раскалываются, теряя свою несущую способность. При отставании торцов появляется опасность прорыва породы под щит. Выравнивание отставших крайних бревен необходимо производить путем посадок торцов щита.
12. При посадках торцы щита должны плотно прилегать к целикам, для чего необходимо тщательное обуривание, исключаящее зависание щита на выступах угля и образование опасных пустот, которые могут вызвать прорыв породы.

### Выводы

1. Предложенный метод управления сдвоенными бессекционными щитами, основанный на одновременности его посадки на среднем опорном целике и по висячему боку пласта, позволяет перемещать щит в заданном направлении.



2. Путь движения сдвоенного щита может быть обусловлен определенными для конкретной обстановки параметрами: шагом посадки, углом между крайними положениями щита, углами наклона щита до и после посадки.

3. При данном методе наклон части щита у кровли в рабочем положении не превышает  $20^\circ$  к горизонту. Это обеспечивает более безопасное состояние забоя и уменьшает возможность прорыва породы под щит.

Институт горного дела  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
13/II 1959

А. А. ЦВИД

### РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ ЕСТЕСТВЕННЫМ ХОЛОДОМ

Искусственное замораживание грунтов широко применяется в строительной практике. При проходке стволов шахт, строительстве тоннелей, метрополитена, при возведении глубоких фундаментов в слабых грунтах этот метод закрепления грунтов на время производства работ получил общее признание. Только за последние 10 лет на строительстве метро заморожено около 1 млн. м<sup>3</sup> грунта.

В последние годы искусственное замораживание грунтов начало применяться и в гидротехническом строительстве для создания водопорного экрана в теле земляной плотины в виде перемычки из замороженного грунта. В этом случае грунт в перемычке должен оставаться в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации сооружения.

Замораживание грунтов производится при помощи специальных морозильных колонок (труб), по которым циркулирует рассол с температурой минус  $15-25^\circ\text{C}$ . В средней и южной полосе Союза этот метод является вполне целесообразным. В северных же районах страны, где период с отрицательной температурой воздуха составляет 8—10 месяцев в году, а среднезимняя температура воздуха доходит до минус  $25-30^\circ\text{C}$ , рассол, приготовляемый на сложных холодильных установках, с успехом может быть заменен естественным холодным воздухом. При этом изменяется и существенно упрощается технология замораживания грунта. Естественный холод может найти широкое применение в первую очередь при сооружении плотин из мерзлого грунта, когда требуется не только заморозить грунт, но и поддерживать его в мерзлом состоянии во время эксплуатации плотины.

Вопросы теории и опыт замораживания грунтов достаточно хорошо разработаны советскими мерзлотоведами. В работах Х. Р. Хакимова [1], Н. Г. Трупака [2], И. А. Чарного [3], Н. Н. Веригина [4] и других решен основной вопрос — определение скорости промерзания грунта вокруг скважины, а также ряд вопросов, сопутствующих ему. При этом замораживание грунта рассматривается как непрерывный процесс до образования цилиндра мерзлого грунта заданного радиуса. Это целиком относится к случаю замораживания грунта рассолом, приготовляемым на холодильных установках. Температура рассола остается постоянной в течение всего периода замораживания.

При искусственном замораживании грунтов естественным холодным воздухом температурный режим грунтов будет существенно отличаться от режима при замораживании их рассолом по следующим причинам: 1) температура воздуха, при которой можно производить замораживание грунтов, изменяется в больших пределах как на протяжении года, так и в течение суток (от минус  $5-8^\circ$  до минус  $40-45^\circ\text{C}$ ); 2) замораживание грунтов может производиться только зимой, т. е. с перерывами на лето; 3) летом мерзлый грунт, находясь в окружении талого, будет

таять; 4) при недостаточно низкой температуре воздуха зимой радиус мерзлого грунта не может увеличиваться беспредельно.

Одной из причин медленного внедрения естественного холода в практику замораживания грунтов является неизученность особенностей температурного режима грунтов при замораживании их естественным холодом. Ниже рассматриваются некоторые вопросы многолетнего замораживания грунтов естественным холодным воздухом.

#### Увеличение радиуса цилиндра мерзлого грунта за одну зиму

Решение теплотехнических задач при замораживании грунтов естественным холодом с учетом всех факторов, многие из которых изменяются в процессе замораживания, является делом сложным. Для упрощения математического решения рассматриваемых вопросов примем следующие допущения:

1. Грунт однороден и представляет собой неограниченный массив вокруг скважины с одинаковой начальной положительной температурой во всех точках.

2. Все теплофизические характеристики грунта неизменны при различной температуре; теплопроводность талого грунта  $\lambda_1$  меняется скачкообразно к  $\lambda_2$  при замерзании грунта.

3. Температура наружной поверхности замораживающей скважины  $T_2$  остается постоянной как в течение всего зимнего периода замораживания  $t_3$ , так и по длине скважины.

4. Тепловой поток рассматривается только в плоскости, перпендикулярной оси скважины.

5. Температура замерзания грунта принимается равной  $0^\circ\text{C}$ ; вся вода, содержащаяся в грунте, при переходе его температуры через  $0^\circ\text{C}$  замерзает.

6. Фильтрация грунтовых вод в промораживаемом грунте отсутствует.

7. При промораживании грунта тепло от понижения температуры мерзлой зоны выделяется на участке от  $r$  до  $R$ ; тепло от охлаждения талого грунта выделяется в зоне, находящейся за границей промерзания грунта. Примем, что все тепло от охлаждения мерзлого и талого грунтов сосредоточено на границе промерзания, где выделяется основное количество его (70 — 80%) при промораживании грунта (скрытая теплота льдообразования).

8. Следуя Л. С. Лейбензону [5], Х. Р. Хакимову [1], неустановившийся температурный режим рассматриваем, как последовательную смену стационарных состояний в некотором промежутке времени.

При многолетнем искусственном замораживании грунтов естественным холодом необходимо уметь рассчитать увеличение радиуса цилиндра мерзлого грунта за любую зиму после начала замораживания. Замораживание грунта каждую зиму, кроме первой, производится при наличии мерзлого грунта, промороженного за предыдущие зимы.

Пусть к началу периода замораживания радиус цилиндра мерзлого грунта вокруг замораживающей трубы (внешним радиусом  $r$ ) был равен  $R_1$ . Требуется определить радиус мерзлого грунта  $R_2$  через время  $t_3$  — к концу периода замораживания (рис. 1).

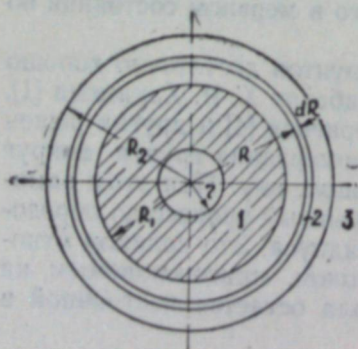


Рис. 1.

1 — грунт, замороженный за предыдущие зимы; 2 — зона промерзания; 3 — талый грунт.

При увеличении радиуса мерзлого грунта  $R$  на  $dR$  за время  $dt$  выделится количество тепла  $dQ_1$ .

$$dQ_1 = 2 \pi Q R dR, \quad (1)$$

где  $Q$  — количество тепла в ккал, которое выделится при замерзании  $1 \text{ м}^3$  грунта с начальной температурой  $T_1$  и конечной средней температурой мерзлого грунта, равной примерно  $\frac{1}{3} T_2$  (при распределении температуры в мерзлой зоне грунта по уравнению

$$T_m = T_2 - \frac{T_2}{\ln \frac{R_2}{r}} \ln \frac{R}{r},$$

$$Q = \omega g + C_1 T_1 - \frac{1}{3} C_2 T_2, \quad (2)$$

где  $\omega$  — объемная влажность в долях единицы,

$g$  — скрытая теплота льдообразования в ккал/м<sup>3</sup>,

$C_1$  и  $C_2$  — теплоемкости талого и мерзлого грунтов в ккал/м<sup>3</sup> с учетом влажности.

За время  $dt$  от границы промерзания радиусом  $R$  к поверхности замораживающей трубы поступит количество тепла  $dQ_2$ .

$$dQ_2 = \frac{-2\pi T_2 \lambda_2}{\ln \frac{R}{r}} dt. \quad (3)$$

Так как тепловыделение грунта должно быть равно теплосъему с поверхности замораживающей трубы (как для стационарного режима на время  $dt$ ), то  $dQ_1 = dQ_2$ , или

$$2\pi Q R dR = \frac{-2\pi T_2 \lambda_2}{\ln \frac{R}{r}} dt,$$

откуда

$$dt = \frac{Q}{-T_2 \lambda_2} R \ln \frac{R}{r} dR. \quad (4)$$

Интегрируя уравнения (4) в пределах от 0 до  $t_3$  и от  $R_1$  до  $R_2$  и подставляя значение  $Q$ , получим:

$$t_3 = \frac{\omega g + T_1 C_1 - \frac{1}{3} T_2 C_2}{-4 T_2 \lambda_2} \left( 2 R_2^2 \ln \frac{R_2}{r} - 2 R_1^2 \ln \frac{R_1}{r} - R_2^2 + R_1^2 \right). \quad (5)$$

Если в формуле (5) принять  $R_1 = r$  (для случая непрерывного промораживания грунта) и пренебречь теплоемкостями мерзлого и талого грунтов ( $C_1 = C_2 = 0$ ), получим формулу И. А. Чарного [3] для расчета скорости замораживания грунтов:

$$t = \frac{\omega g}{-4 \lambda_2 T_2} (2 R^2 \ln \frac{R}{r} - R^2 + r^2).$$

Результаты подсчета по формуле (5) хорошо согласуются с расчетами по известным формулам Хакимова, Чарного, апробированным в производственных условиях и на гидрорегистраторе Лукьянова, для случая непрерывного промораживания грунта одиночной скважиной с учетом теплоемкости грунта.

Чтобы наглядно представить характер изменения приращения радиуса цилиндра мерзлого грунта  $\Delta R_3 = R_2 - R_1$  за зиму ( $t_3$ ) в зависимости от радиуса замораживающей трубы  $r$  и радиуса мерзлого грунта  $R_1$  к началу зимнего периода замораживания, нами с помощью уравнения (5) построены графики зависимости  $\Delta R_3 = f(r, R_1)$  (рис. 2) при следующих исходных данных:  $t_3 = 4500$  часов;  $\omega = 0,2$ ;  $g = 80000$  ккал/м<sup>3</sup>;  $C_1 = 600$  ккал/м<sup>3</sup> град;  $T_1 = 5^\circ\text{C}$ ;  $C_2 = 450$  ккал/м<sup>3</sup> град;  $T_2 = -20^\circ\text{C}$ ;  $\lambda_1 = 1,5$ ;  $\lambda_2 = 2,5$  ккал/м час град;  $r = 1,0$  м;  $0,6$  м;  $0,4$  м;  $0,2$  м;  $0,1$  м;  $0,05$  м.

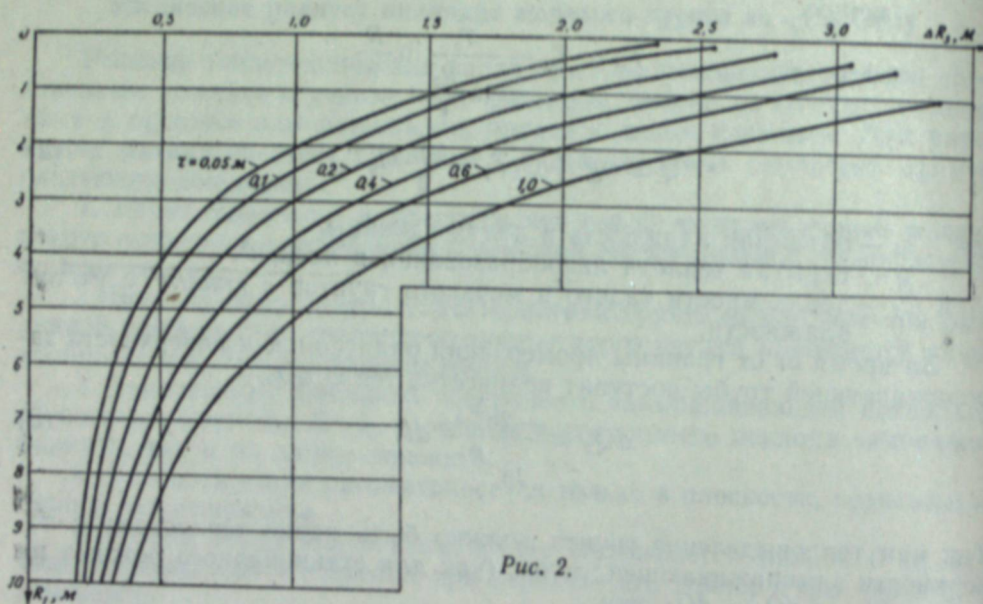


Рис. 2.

Как видно из построенных графиков,  $\Delta R_3$  быстро уменьшается при увеличении  $R_1$  от  $r$  до  $6-7r$ , при дальнейшем увеличении  $R_1$   $\Delta R_3$  уменьшается относительно медленно по закону, близкому к линейному. Радиус замораживающей трубы (скважины)  $r$  оказывает относительно небольшое влияние на величину промораживания грунта  $\Delta R_3$  за зиму; так, с увеличением  $r$  в 3 раза (с  $0,2$  до  $0,6$  м) при  $R_1 = 5$  м  $\Delta R_3$  увеличивается с  $0,56$  до  $0,82$  м, т. е. в  $1,46$  раза, а при  $R_1 = 10$  м — в  $1,28$  раза.

#### Увеличение радиуса талого грунта с переменной температурой при таянии цилиндра мерзлого грунта

Летом, когда замораживающие трубы надежно изолированы от поступления в них теплого наружного воздуха, мерзлый грунт, находясь в окружении талого, будет таять. Если теплосъем с поверхности замораживающей трубы отсутствует и теплового потока вдоль оси трубы нет, то повышение температуры и таяние мерзлого грунта будут происходить только за счет понижения температуры талой зоны грунта. При этом по мере таяния мерзлого грунта будет происходить увеличение радиуса талого грунта с температурой ниже начальной, который, следуя Х. Р. Хакимову, в дальнейшем будем называть радиусом влияния ( $X$ ). Выясним зависимость  $X_1 = f(R_1)$  между радиусом мерзлой зоны грунта  $R_1$  и радиусом влияния  $X_1$  при таянии мерзлого грунта (рис. 3).

Пусть к концу периода замораживания  $t_3$  температура грунта вокруг замораживающей трубы определяется кривой 2, а к концу летнего

периода  $t_a$  — кривой 1 (см. рис. 3). При этом радиус мерзлого грунта уменьшился с  $R_2$  до  $R_1$ , радиус влияния увеличился от  $X_2$  до  $X_1$ . Количество тепла, отведенное от грунта при промораживании его до радиуса  $R_2$ , определяется уравнением:

$$Q_1 = \pi(R_2^2 - r^2)(\omega g + T_1 C_1) + 2\pi C_2 \int_r^{R_2} T_m R dR + 2\pi C_1 \int_{R_1}^{X_1} T_T X dX. \quad (6)$$

Здесь  $T_m$  и  $T_T$  — температуры мерзлого и талого грунтов в точках, находящихся на расстояниях соответственно  $R$  и  $X$  от центра замораживающей трубы.  $T_m$  и  $T_T$  определяются выражениями:

$$T_m = T_2 - \frac{T_2}{\ln \frac{R_2}{r}} \ln \frac{R}{r},$$

$$T_T = T_1 - \frac{T_1}{\ln \frac{R_2}{X_2}} \ln \frac{X}{X_2}. \quad (7)$$

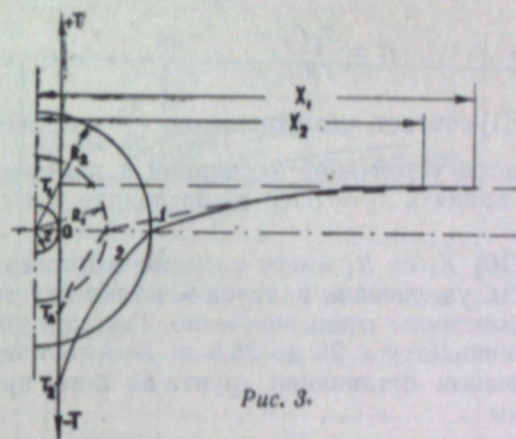


Рис. 3.

Подставляя значение  $T_m$  и  $T_T$  в уравнение (6) и интегрируя его в указанных пределах, получим:

$$Q_1 = \pi(R_2^2 - r^2)(\omega g + T_1 C_1) - \pi T_2 C_2 \left( \frac{R_2^2 - r^2}{2 \ln \frac{R_2}{r}} - r^2 \right) + \pi T_1 C_1 \left( \frac{X_1^2 - R_2^2}{2 \ln \frac{R_2}{X_2}} + X_2^2 \right). \quad (8)$$

К концу летнего периода, когда радиус мерзлого грунта уменьшится до  $R_1$ , радиус влияния будет равен  $X_1$ . Температура поверхности замораживающей трубы будет равна

$$T_a = T_2 \frac{R_1}{R_2}.$$

Так как теплоприток и теплосъем в летний период отсутствуют, а изменение температур мерзлой и талой зон грунта происходит только благодаря перераспределению тепла между ними, то общее содержание тепла в грунте в пределах радиуса влияния  $X_1$  останется неизменным. Аналогично уравнению (8) можно написать:

$$Q_2 = \pi(R_1^2 - r^2)(\omega g + T_1 C_1) - \pi T_2 \frac{R_1}{R_2} C_2 \left( \frac{R_1^2 - r^2}{2 \ln \frac{R_1}{r}} - r^2 \right) + \pi T_1 C_1 \left( \frac{X_1^2 - R_1^2}{2 \ln \frac{R_1}{X_1}} + X_1^2 \right). \quad (9)$$

Приравнивая значения уравнений (8) и (9) между собой, после некоторых преобразований получим:

$$\frac{X_1^2 - R_1^2}{2 \ln \frac{R_1}{X_1}} + X_1^2 = (R_2^2 - R_1^2) \left( \frac{\omega g}{T_1 C_1} + 1 \right) - a \left( \frac{R_2^2 - r^2}{2 \ln \frac{R_2}{r}} - r^2 \right) + a \frac{R_1}{R_2} \left( \frac{R_1^2 - r^2}{2 \ln \frac{R_1}{r}} - r^2 \right) + \frac{X_2^2 - R_2^2}{2 \ln \frac{R_2}{X_2}} + X_2^2, \quad (10)$$

где

$$a = \frac{T_2 C_2}{T_1 C_1}$$

Х. Р. Хакимов [1] считает, что отношение  $\frac{X_2}{R_2}$  в процессе промораживания грунта является устойчивой величиной и изменяется в пределах от 4,5 до 5,5. Если принять  $X_2 = 5 R_2$ , то последние два слагаемые обращаются в  $17,55 R_2^2$ .

Зависимость (10)  $X_1$  от  $R_1$  имеет сложное выражение. Однако, как показывают расчеты, увеличение радиуса влияния при таянии цилиндра мерзлого грунта происходит очень медленно. Так, при уменьшении  $R_1$  от 5 до 0,6 м  $X_1$  увеличивается с 25 до 26,5 м. Это дает возможность при относительно небольшом оттаивании грунта за лето принимать радиус влияния постоянным.

#### Определение скорости таяния цилиндра мерзлого грунта

К концу периода замораживания  $t_3$  объем мерзлого грунта определяется радиусом  $R_2$ ; радиус влияния  $X_2$ . Требуется определить радиус цилиндра мерзлого грунта  $R_1$  через  $t_n$  после прекращения замораживания.

На таяние кольца мерзлого грунта радиусом  $R$  и толщиной  $dR$ , которое произойдет за время  $dt$ , потребуется тепла  $dQ_1$ .

$$dQ_1 = 2\pi \left( \omega g - \frac{1}{3} T_2 C_2 \right) R dR. \quad (11)$$

За это же время  $dt$  из талой зоны к границе таяния грунта поступит тепла  $dQ_2$ .

$$dQ_2 = \frac{2\pi T_1 \lambda_1}{\ln \frac{X}{R}} dt, \quad (12)$$

где  $X$  — радиус влияния за время  $t$ . Так как  $X$  изменяется медленно при таянии грунта, примем его постоянным, равным  $X_2$ . Тепловой процесс за время  $dt$  можно рассматривать как стационарный. Тогда  $dQ_1 = dQ_2$ .

Приравнивая уравнения (11) и (12) и решая их относительно  $dt$ , получим:

$$dt = \frac{\omega g - \frac{1}{3} T_2 C_2}{T_1 \lambda_1} R \ln \frac{X_2}{R} dR. \quad (13)$$

Интегрируя уравнения (13) в пределах от 0 до  $t_n$  и от  $R_2$  до  $R_1$ , получим:

$$t_n = \frac{\omega g - \frac{1}{3} T_2 C_2}{4 T_1 \lambda_1} \left( 2 R_2^2 \ln \frac{X_2}{R_2} - 2 R_1^2 \ln \frac{X_2}{R_1} + R_2^2 - R_1^2 \right). \quad (14)$$

Если принять  $X_2 = 5 R_2$ , то уравнение (14) примет вид:

$$t_n = \frac{\omega g - \frac{1}{3} T_2 C_2}{1,07 T_1 \lambda_1} \left( R_2^2 - R_1^2 - 0,54 R_1^2 \ln \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (15)$$

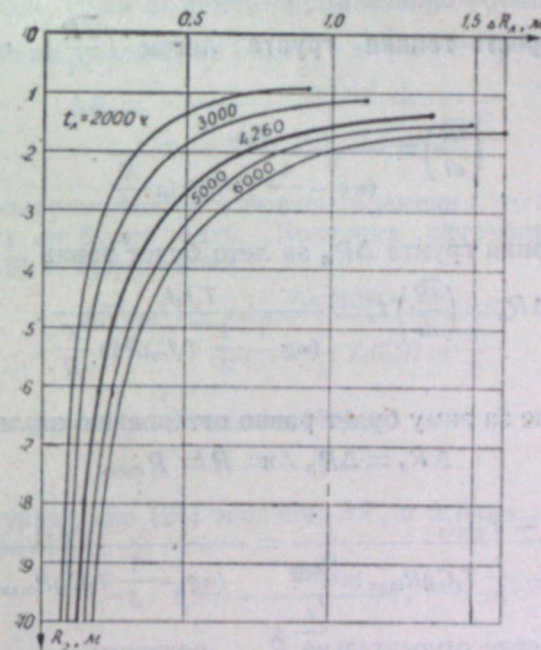


Рис. 4.

Чтобы выяснить характер изменения величины оттаивания грунта  $\Delta R_n = R_2 - R_1$  за лето в зависимости от радиуса цилиндра мерзлого грунта к концу зимы ( $R_2$ ) и продолжительности оттаивания ( $t_n$ ), построены графики зависимости  $\Delta R_n = f(R_2, t_n)$  при ранее принятых параметрах грунта (рис. 4).

Величина оттаивания грунта  $\Delta R_n$  при постоянных значениях  $t_n$ , как видно из графиков, резко уменьшается с увеличением  $R_2$ .

#### Определение максимального радиуса мерзлого грунта

При больших значениях радиуса цилиндра мерзлого грунта, а также при коротком периоде замораживания и относительно высокой средней температуре воздуха  $T_2$  может наступить такое состояние, ког-

да увеличение радиуса мерзлого грунта  $\Delta R_3$  за зиму ( $t_3$ ) будет равно величине оттаивания грунта  $\Delta R_1$  за лето ( $t_1$ ). В этом случае радиус цилиндра мерзлого грунта достигнет предельной максимальной величины  $R_{\max}$  и будет находиться в состоянии динамического равновесия. Определим значение  $R_{\max}$ .

Средняя скорость промерзания грунта зимой  $\left(\frac{dR}{dt}\right)$  может быть определена из уравнения (4):

$$(11) \quad \left(\frac{dR}{dt}\right) = \frac{-T_2\lambda_2}{(\omega g + T_1C_1 - \frac{1}{3}T_2C_2)R \ln \frac{R}{r}} \quad (16)$$

Увеличение радиуса мерзлого грунта  $\Delta R_3$  за зиму будет равно:

$$(12) \quad \Delta R_3 = \left(\frac{dR}{dt}\right)t_3 = \frac{-T_2\lambda_2 t_3}{(\omega g + T_1C_1 - \frac{1}{3}T_2C_2)R \ln \frac{R}{r}} \quad (17)$$

Средняя скорость таяния грунта летом  $\left(\frac{dR}{dt}\right)$  определится из уравнения (13):

$$(14) \quad \left(\frac{dR}{dt}\right) = \frac{T_1\lambda_1}{(\omega g - \frac{1}{3}T_2C_2)R \ln \frac{X}{R}} \quad (18)$$

Величина оттаивания грунта  $\Delta R_1$  за лето будет равна

$$(15) \quad \Delta R_1 = \left(\frac{dR}{dt}\right)t_1 = \frac{T_1\lambda_1 t_1}{(\omega g - \frac{1}{3}T_2C_2)R \ln \frac{X}{R}} \quad (19)$$

Если промерзание за зиму будет равно оттаиванию за лето, то

$$\Delta R_3 = \Delta R_1 \text{ и } R = R_{\max},$$

или

$$\frac{-T_2\lambda_2 t_3}{(\omega g + T_1C_1 - \frac{1}{3}T_2C_2)R_{\max} \ln \frac{R_{\max}}{r}} = \frac{T_1\lambda_1 t_1}{(\omega g - \frac{1}{3}T_2C_2)R_{\max} \ln \frac{X}{R_{\max}}} \quad (20)$$

Решая это уравнение относительно  $R_{\max}$ , получим:

$$R_{\max} = \sqrt[r]{KX^K}, \quad (21)$$

где

$$K = \frac{-T_2\lambda_2 t_3 (\omega g - \frac{1}{3}T_2C_2)}{T_1\lambda_1 t_1 (\omega g + T_1C_1 - \frac{1}{3}T_2C_2)}$$

Радиус влияния  $X$  является функцией от  $R_{\max}$ . Установленная Х. Р. Хакимовым [1] зависимость  $X = (4,5 \dots 5,5)R$  при изменении  $R$  в пределах 1—2 м не может быть принята здесь, так как  $R_{\max}$  будет измеряться большей величиной. Для установления этой зависимости требуется постановка экспериментальных исследований в производственных условиях.

### Определение времени ежегодного промораживания для поддержания заданного радиуса цилиндра мерзлого грунта

Максимальный радиус многолетнего промораживания грунта естественным холодным воздухом при  $K > 2$  достигает большой величины — десятков и даже сотен метров. Практически же толщина грунтомерзлой перемычки в теле плотины должна быть доведена до нескольких метров и поддерживаться такой в течение всего периода эксплуатации плотины. Поэтому при достижении заданной толщины мерзлотной перемычки промораживание в последующие зимы можно производить только на величину оттаивания за лето ( $t_1$ ). Благодаря этому сократятся эксплуатационные расходы по замораживанию тела плотины, так как вентиляционная система, продувающая холодный воздух по замораживающим каналам, будет работать не всю зиму ( $t_3$ ), а лишь в течение времени  $t$ , за которое грунт будет проморожен на  $\Delta R_t$ .

Необходимое время  $t$  работы вентиляционной системы при заданном радиусе  $R$  цилиндра мерзлого грунта может быть определено следующим образом. Зная скорость промерзания грунта  $\left(\frac{dR}{dt}\right)$  (уравнение 16) определим увеличение радиуса мерзлого грунта  $\Delta R_t$  за время  $t$ :

$$\Delta R_t = \frac{-T_2\lambda_2 t}{(\omega g + T_1C_1 - \frac{1}{3}T_2C_2)R \ln \frac{R}{r}} \quad (22)$$

Если грунт промораживается в течение времени  $t$ , то в остальное время года ( $8760 - t$ ) он будет таять. Величина оттаивания определяется уравнением (18) и будет равна

$$\Delta R_{8760-t} = \frac{T_1\lambda_1(8760 - t)}{(\omega g - \frac{1}{3}T_2C_2)R \ln \frac{X}{R}} \quad (23)$$

Но по условию задачи необходимо, чтобы

$$\Delta R_t = \Delta R_{8760-t} \quad (24)$$

Подставляя в уравнение (24) значения  $\Delta R_t$  и  $\Delta R_{8760-t}$  и решая его относительно  $R_t$  получим:

$$t = \frac{8760}{\ln \frac{X}{R} - 1} \cdot \frac{A \frac{R}{R} - 1}{\ln \frac{R}{r}} \quad (25)$$

где

$$A = \frac{-T_2\lambda_2(\omega g - \frac{1}{3}T_2C_2)}{T_2\lambda_2(\omega g + T_1C_1 - \frac{1}{3}T_2C_2)}$$

Если принять  $X = 5R$ , то уравнение (25) примет вид:

$$t = \frac{8760}{\frac{1,61 A}{\ln \frac{R}{r}} - 1}$$

Если учесть, что промораживание может производиться в дни с температурой воздуха значительно ниже среднезимней  $T_2$ , то и это время  $t$  может быть сокращено.

Приводим пример расчета. Допустим, что требуется определить время  $t$  ежегодного промораживания грунта для поддержания радиуса мерзлого грунта  $R = 5$  м. Все параметры грунта остаются ранее принятыми.

$$A = \frac{-(-20) \cdot 2,5 [0,2 \cdot 80000 - \frac{1}{3} (-20) \cdot 450]}{5 \cdot 1,5 [0,2 \cdot 80000 + 5 \cdot 600 - \frac{1}{3} (-20) \cdot 450]} = 5,76,$$

$$t = \frac{8760}{\frac{1,61 \cdot 5,76}{\ln \frac{5}{0,6}} - 1} = 2600 \text{ (часов).}$$

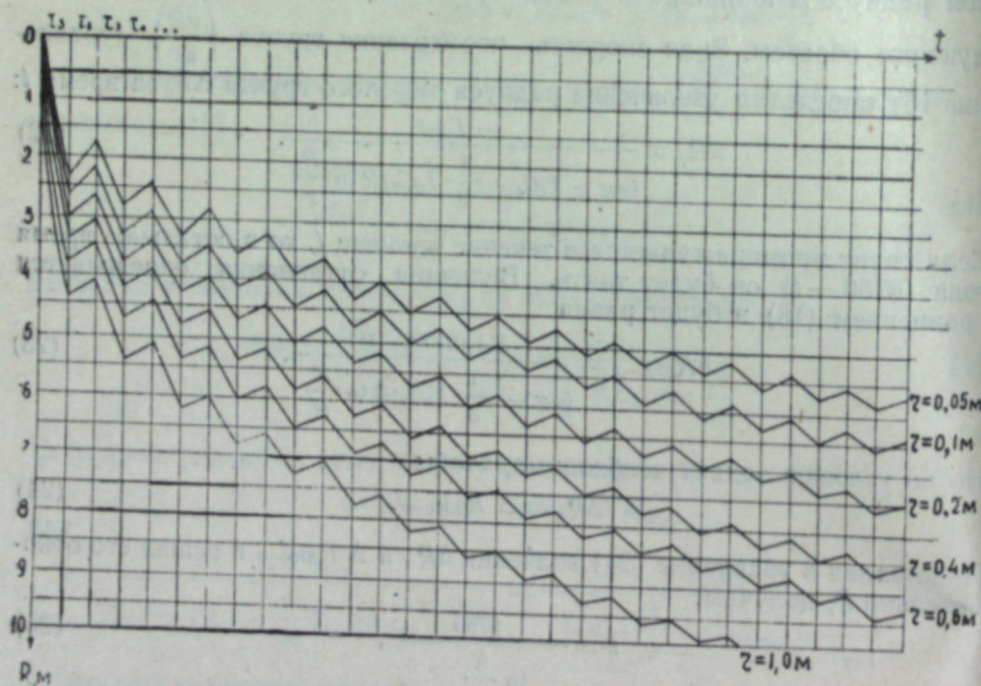


Рис. 5.

Проверим результат расчета. По формуле (5) при  $t_3 = 2600$  часов и  $R_1 = 5$  м получим  $R_2 = 5,51$  м, т. е. грунт промерзнет на  $\Delta R_3 = 0,51$  м. По формуле (15) при  $I_a = 8760 - 2600 = 6160$  часов и  $R_2 = 5,51$  м получим  $R_1 = 5,02$  м, т. е. грунт оттаивает на  $\Delta R_a = 0,49$  м. Следовательно, радиус мерзлого грунта будет изменяться от 5 до 5,5 м.

Чтобы наглядно представить изменение величины промораживания грунта за зиму и оттаивания за лето с увеличением радиуса мерзлого грунта, на рис. 5 построены графики многолетнего замораживания грунта одиночной скважиной (трубой) радиусом  $r$ . Построены эти графики на основании графиков промораживания грунта за зиму (см. рис. 2) и оттаивания за лето (см. рис. 4) следующим образом. За первую зиму (при  $r = 0,6$  м) грунт промерзнет на  $\Delta R_3 = 3,20$  м. За лето при  $R_2 = 0,6 + 3,2 = 3,8$  м грунт оттаивает на  $\Delta R_a = 0,32$  м. За вторую зиму при

$R_1 = R_2 - \Delta R_a = 3,80 - 0,32 = 3,48$  м грунт промерзнет на  $\Delta R_3 = 1,24$  м и т. д. При этом исходные данные грунта продолжительность замораживания в году и среднезимняя температура воздуха остаются ранее принятыми.

\*\*

Предложенную методику расчета многолетнего промораживания грунтов естественным холодом нельзя рассматривать как строгое теоретическое решение задачи. Принятые допущения и ограничения не всегда могут выполняться и несколько упрощают сложную закономерность теплообмена, происходящего между поверхностью замораживающей трубы и грунтом. Однако неоднократное сопоставление расчетов скорости промораживания грунта по полученным формулам и по формулам других авторов, апробированным в производственных условиях для случая непрерывного промораживания грунта, показывает хорошую сходимость результатов. Это дает основание рекомендовать полученные зависимости как приближенное решение задачи для расчетов многолетнего промораживания грунтов естественным холодным воздухом.

Приведенный анализ формул и примеры расчета при исходных климатических данных для средних условий Сибири свидетельствуют о том, что строящиеся плотины в северной полосе Советского Союза могут быть заморожены и поддерживаться в мерзлом состоянии непосредственно холодным воздухом без устройства сложных и дорогостоящих холодильных установок [6].

Дальневосточный филиал  
Сибирского отделения  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
16/II 1958

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х. Р. Хакимов. Вопросы теории и практики искусственного замораживания грунтов. Изд. АН СССР, М., 1957.
2. Н. Г. Трупак, Замораживание горных пород при проходке стволов. Углетехиздат, М., 1954.
3. И. А. Чарный, Расчет скорости замораживания грунтов. Советский метрополитен, № 4, 1940.
4. Н. Н. Веригин. О термодинамическом расчете искусственного замораживания грунтов. ДАН СССР, новая серия, т. LXXXI, № 5, 1951.
5. Л. С. Лейбензон, К вопросу о затвердевании земного шара из первоначального расплавленного состояния. Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., № 6, 1939.
6. А. А. Цвид, К вопросу о сооружении земляных плотин с замораживанием естественным холодом. Изв. Восточных филиалов АН СССР, № 3, 1957.

Н. М. ВОЛКОВА, Г. В. ГАЙДУКОВ

НЕКОТОРЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ  
ФТОРОТИТАНАТА КАЛИЯ

При анализе металлургических процессов с участием реагентов, находящихся в различных фазовых состояниях, имеет большое значение использование термодинамических закономерностей.

Фторотитанат калия является исходным продуктом для получения титана электролизом [1] и некоторыми металлургическими методами [2]. Отсутствие данных о теплоемкости фторотитаната калия, о теплотах полиморфных превращений, а также о других термодинамических функциях не позволяет провести анализ систем, имеющих в своем составе эту соль. В связи с этим мы предприняли исследование теплоемкости фторотитаната калия и на основании полученных данных рассчитали некоторые из его термодинамических функций.

Методика эксперимента

Истинную теплоемкость фторотитаната калия рассчитывали на основании опытных данных о температурной зависимости его энтальпии, полученных на адиабатическом калориметре типа калориметра Скуратова (см. [3]). Температура водяной рубашки, окружающей калориметр, поддерживалась равной температуре калориметра с помощью внешних источников тепла.\*

Платиново-родиевую (5% Rh) ампулу с фторотитанатом калия освобождали от воздуха и запаивали. Подвесив ампулу в центре печи на стальной проволочке, нагревали ее до определенной температуры, затем сбрасывали в калориметр путем пережигания проволочки. Печь на двигали на калориметр перед сбрасыванием образца, и после этого отводили. По приращению температуры калориметра определяли изменение энтальпии ампулы с температуры печи до конечной температуры калориметра, затем ампулы с фторотитанатом калия. По разности находили энтальпию фторотитаната калия.

Применявшийся фторотитанат калия анализировали до и после опытов. Химический состав его сохранялся следующим: Ti — 20,32%, K — 32,36%, F — 47,26%.

Экспериментальные данные

Температура калориметра по окончании отдельных опытов была различной, но все экспериментальные данные об изменении энтальпии  $H_t = H_t - H_{t_1}$  пересчитывали на  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ . Для этого предварительно

\* Опыты проводились на установке, собранной и любезно предоставленной нам Ф. Г. Кусенко.

изучали температурную зависимость  $\Delta H_0^t = H_t - H_0$ , зная которую можно получить  $\Delta H_{25}^t$  из выражения:

$$\Delta H_{25}^t = H_t - H_{25} = \Delta H_{t_1}^t + \Delta H_{25}^{t_1} \quad (1)$$

$\Delta H_0^t$  находили при опытах с вводом в калориметр образцов, охлажденных до  $0^\circ\text{C}$  в ледяном холодильнике.

Таблица 1

Изменение энтальпии фторотитаната калия с температурой

T, °K	$\Delta H_{298}^T$ , кал/моль	T, °K	$\Delta H_{298}^T$ , кал/моль	T, °K	$\Delta H_{298}^T$ , кал/моль
456	9370	626	22840	875	41704
475	10664	650	24160	882,5	42004
504	11780	665	25288	938,5	45352
546	14399	699	27820	974	48064
596	16851	707,5	28216	1035	52456
611	18138	736	29776	1069	54784
622	21950	798,5	34120		
		814	35176		
		823	35980		
		863	38464		

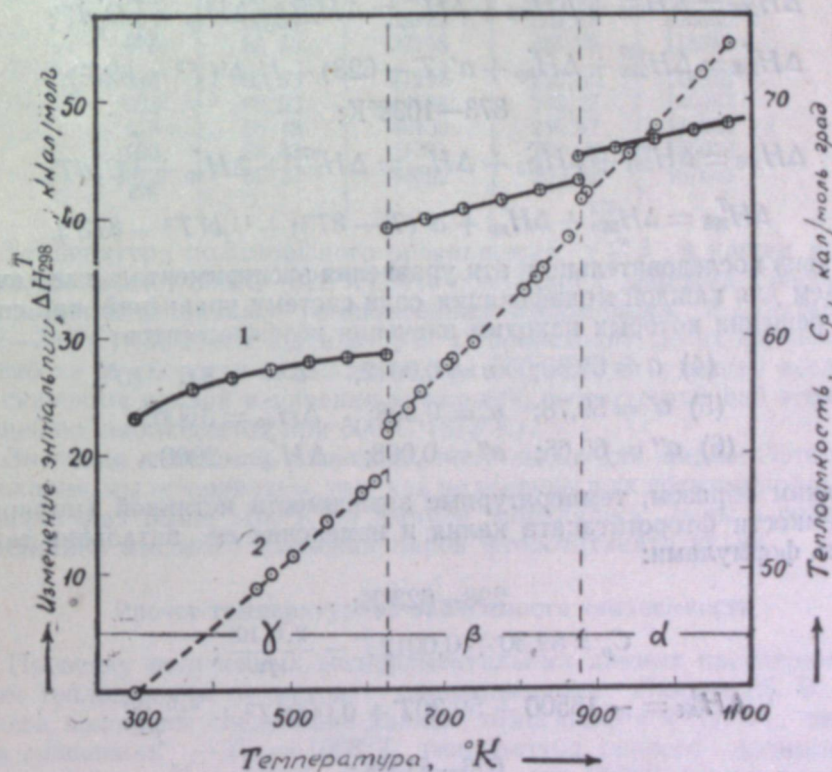


Рис. 1. Зависимость теплоемкости (1) и изменения энтальпии (2) фторотитаната калия от температуры.

Изменения энтальпии фторотитаната калия при опытах представлены в табл. 1 и на рис. 1. Как видно на графике, кривая состоит из трех отдельных участков, соответствующих температурным областям существования различных модификаций фторотитаната калия. Модифика-

ция, существующая до 623° К, обозначена нами  $\gamma$ -, при 623—873° К —  $\beta$ -, а с 873° К до температуры плавления —  $\alpha$ -фаза.

При аналитической обработке полученных данных исходили из предположения, что температурная зависимость истинной теплоемкости фторотитаната калия  $\gamma$ - фазы описывается эмпирическим уравнением:

$$C_p = a + bT + \frac{c}{T^2}, \quad (2)$$

а для модификации  $\beta$  и  $\alpha$  уравнением:

$$C_p = a + bT. \quad (3)$$

Для определения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  в этих уравнениях для каждого участка кривой используем экспериментальные данные об изменении энтальпии грамм-моля фторотитаната калия. Общий вид уравнения температурной зависимости изменения энтальпии будет следующим:

298—623°К:

$$\Delta H_{298}^T = \int_{298}^T C_p dT = a(T - 298) + \frac{1}{2} b(T^2 - 298^2) - \frac{c}{T} + \frac{c}{298}; \quad (4)$$

623—873°К:

$$\Delta H_{298}^T = \Delta H_{298}^{623} + \Delta H_{623}^T + \Delta H_{np}^* = \Delta H_{298}^{623} + \Delta H_{np}^* + \int_{623}^T C_p dT; \quad (5)$$

$$\Delta H_{298}^T = \Delta H_{298}^{623} + \Delta H_{np}^* + a'(T - 623) + \frac{1}{2} b'(T^2 - 623^2); \quad (5)$$

873—1098°К:

$$\Delta H_{298}^T = \Delta H_{298}^{873} + \Delta H_{873}^T + \Delta H_{np}^* = \Delta H_{298}^{873} + \Delta H_{np}^* + \int_{873}^T C_p dT; \quad (6)$$

$$\Delta H_{298}^T = \Delta H_{298}^{873} + \Delta H_{np}^* + a''(T - 873) + \frac{1}{2} b''(T^2 - 873^2). \quad (6)$$

Подставив последовательно в эти уравнения экспериментальные данные, получаем для каждой модификации соли систему уравнений, при совместном решении которых находим значения коэффициентов:

$$(4) \quad a = 59,30; \quad b = 0,0012; \quad c = -2,6 \cdot 10^5;$$

$$(5) \quad a' = 59,78; \quad b' = 0,008; \quad \Delta H_{np}^* = 3600.$$

$$(6) \quad a'' = 60,65; \quad b'' = 0,008; \quad \Delta H_{np}^* = 2200.$$

Таким образом, температурные зависимости истинной (молярной) теплоемкости фторотитаната калия и изменения ее энтальпии можно описать формулами:

298—623°К:

$$C_p = 59,30 + 0,0012T - \frac{2,6 \cdot 10^5}{T^2}; \quad (7)$$

$$\Delta H_{298}^T = -18500 + 59,30T + 0,0006T^2 + \frac{2,6 \cdot 10^5}{T}; \quad (8)$$

623—873°К:

$$C_p = 59,78 + 0,008T; \quad (9)$$

$$\Delta H_{298}^T = -16100 + 59,78T + 0,004T^2; \quad (10)$$

873—1098°К:

$$C_p = 60,65 + 0,008T; \quad (11)$$

$$\Delta H_{298}^T = -14700 + 60,65T + 0,004T^2. \quad (12)$$

Значения энтальпий, полученные по приведенным формулам, отличаются от экспериментальных данных не более чем на  $\pm 3\%$ . Значения  $C_p$ , полученные по этим формулам, представлены в табл. 2, а графически температурная зависимость изображена на рис. 1. Прямолинейный характер изменения теплоемкости  $\beta$ - и  $\alpha$ - фазы фторотитаната калия объясняется тем, что температурная область существования этих фаз невелика.

Таблица 2

Термодинамические функции фторотитаната калия

T, °К	$C_p$ кал/мол град	$\Delta H_{298}^T$ кал/моль	$C_T$ кал/мол град	$-\Delta S_{298}^T$ кал/моль
298	56,70	0	166,05	0
373	57,88	4398	178,91	12947
423	58,36	7306	186,22	22077
473	58,71	10233	192,77	31560
523	58,97	13175	198,67	41345
573	59,20	16130	204,08	51620
623	59,38	19094	209,03	61746
623	64,76	22666	214,81	61746
673	65,16	25916	219,82	72599
723	65,56	29185	224,50	83697
773	65,96	32470	228,91	95029
823	66,36	35779	233,05	106565
873	66,76	39108	236,98	118310
873	67,63	41295	239,50	118310
923	68,03	44688	243,27	130383
973	68,43	48100	246,87	142638
1023	68,83	51531	250,32	155079
1073	69,23	54982	253,62	167683

Температура полиморфного превращения  $\gamma \rightleftharpoons \beta$  в нашем исследовании составляет 350°С (623°К), что совпадает с данными Гинсберга [4] и отличается от данных, установленных Коломицким и Пономаревым (382—386°С) [5]. Превращение  $\beta \rightleftharpoons \alpha$  происходит, по их данным, в зависимости от скорости охлаждения при 660—680°С, в нашем исследовании скачок на кривой изменения энтальпии, соответствующий этому превращению, наблюдается при 600°С (873°К).

Значения изменения энтальпии, полученные для жидкого фторотитаната калия, мы не приводим, так как не уверены в их достоверности. При температурах выше 1100°К на ампуле появлялись поры в результате воздействия высокого давления паров фторотитаната калия.

#### Расчет температурной зависимости теплоемкости

Проверку полученных экспериментальных данных производим расчетом теплоемкости по методу, предложенному Ландия [6]. В основу расчета положены следующие данные, относящиеся к  $K_2TiF_6$ : температура плавления —  $T_{пл} = 1098^\circ\text{К}$ ; температура первого полиморфного превращения —  $T_n = 623^\circ\text{К}$ ; теплоемкость при 298°К (наши данные) —  $C_p^{298} = 56,70$ ; число атомов в соединении  $n = 9$ .

Придерживаясь рекомендованного порядка, сначала рассчитываем атомную теплоемкость —  $C_p^{ат}$ , атомную энтропию —  $S_{ат}$  и приведенную температуру —  $T'$ :

$$C_p^{ат} = \frac{C_p}{n}; \quad (13)$$



$$S^{\text{ат}} = \frac{2200}{(6,7 - C_p^{\text{ат}}) \cdot T}; \quad (14)$$

$$T' = \frac{5070}{S^{\text{ат}}}. \quad (15)$$

$$C_p^{\text{ат}} = 6,30; \quad S^{\text{ат}} = 18,45; \quad T' = 275.$$

Определяем коэффициенты  $d$ ,  $e$  и  $k$ :

$$d = \frac{2200}{S^{\text{ат}}}; \quad (16)$$

$$e = \frac{d}{0,87}; \quad (17)$$

$$k = \frac{2535}{S^{\text{ат}} T_n}. \quad (18)$$

$$d = 119; \quad e = 137; \quad k = 0,22.$$

Для выбора уравнений расчета теплоемкости определяем коэффициент  $L$  по формуле

$$L = 0,495 \left( 6,6 - \frac{d}{298} \right)^2 T_{\text{пл}}^{3/2} \cdot 10^{-3}; \quad (19)$$

$$L = 691.$$

$\text{K}_2\text{TiF}_6$  — бескислородное соединение, имеющее полиморфные превращения с  $T_n > 500^\circ$  и  $T < 0,68 T_{\text{пл}}$ . Особо отмеченные соотношения между  $T'$ ,  $T_n$  и  $L$  не подходят к данной соли. Рассчитываем по рекомендованной для остальных случаев формуле:

$$C_p = n \left[ 6,6 - \frac{d}{e + k(T - e)} + \frac{1,24}{T_{\text{пл}}} \left( 6,6 - \frac{d}{298} \right)^2 T^{3/2} \cdot 10^{-3} \right]. \quad (20)$$

$$C_p^{473} = 58,32; \quad C_p^{73} = 62,91; \quad C_p^{1098} = 70,56.$$

Предполагая, что температурная зависимость теплоемкости описывается уравнением (3), определяем коэффициенты  $a$  и  $b$  для низкотемпературной ветви по значениям  $C_p^{298}$  и  $C_p^{473}$ , а для высокотемпературной — по  $C_p^{723}$  и  $C_p^{1098}$ . Получаются следующие уравнения теплоемкости:

$$298 - 623^\circ \text{K} \quad C_p = 53,94 + 0,00926T; \quad (21)$$

$$623 - 1098^\circ \text{K} \quad C_p = 48,16 + 0,0204T. \quad (22)$$

Температурная зависимость теплоемкости, полученная по экспериментальным уравнениям и рассчитанная по методу Ландия, представлена на рис. 2. На графике видно, что для низкотемпературной модификации —  $\gamma$  — расчетные величины близки к экспериментальным; для высокотемпературных модификаций расчетные величины меньше опытных до температур  $\approx 980^\circ \text{K}$ , а затем превышают их. Следовательно, для ориентировочных расчетов температурную зависимость теплоемкости соединений, подобных  $\text{K}_2\text{TiF}_6$ , можно определять по методу Ландия.

### Термодинамические функции

В литературе данные о термодинамических функциях фторотитаната калия отсутствуют. На основании полученной нами зависимости  $C_p(T)$  можно вычислить некоторые из них.

Энтропия —  $S_T$ . Полученное при расчете теплоемкости по методу Ландия значение  $S_{298}^{\text{ат}}$  позволяет вычислить  $S_{298}$ :

$$S_{298} = n S_{298}^{\text{ат}}. \quad (23)$$

$S_{298} = 166,05$ . В литературе приведены значения энтропии составляющих  $\text{K}_2\text{TiF}_6$ :  $S_{\text{KF}}^{298} = 15,9$  [7] и ориентировочная  $S_{\text{TiF}_4}^{298} = 4 \cdot 29,8 = 119,2$  [8]. Суммированием получаем  $S_{298} = 119,2 + 2 \cdot 15,9 = 151,0$ . Величины 151,0 и 166,05 близки и, очевидно, отличаются на энтропию образования  $\text{K}_2\text{TiF}_6$  из составляющих  $\text{KF}$  и  $\text{TiF}_4$ .

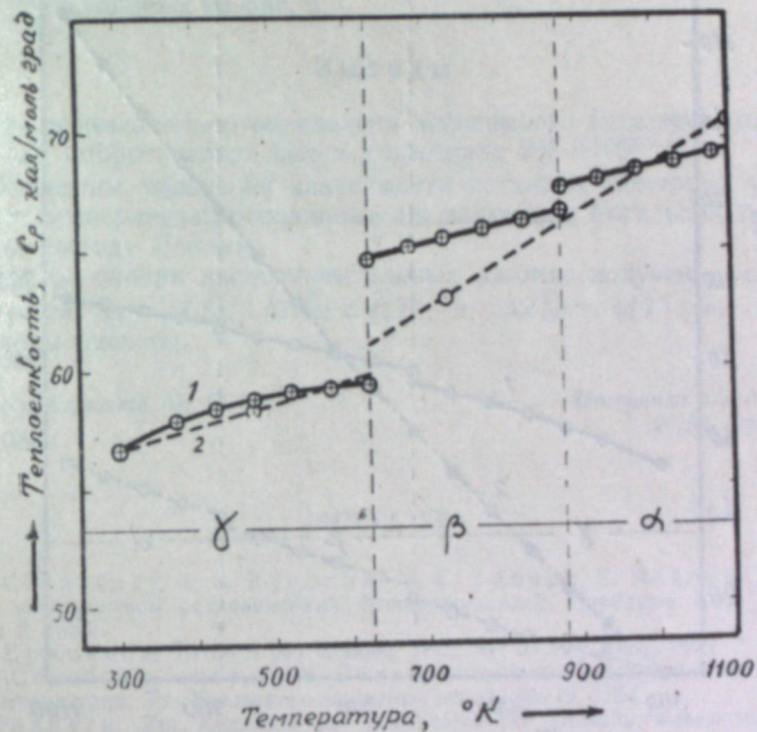


Рис. 2. Температурная зависимость теплоемкости фторотитаната калия: 1 — экспериментальные данные, 2 — расчет по методу Ландия.

Температурная зависимость энтропии для различных модификаций фторотитаната калия может быть подсчитана по следующим уравнениям:

$$298 - 623^\circ \text{K}: \\ S_T = S_{298} + \int_{298}^T \frac{C_p}{T} dT; \\ S_T = -173,61 + 136,54 \lg T + 0,0012T + \frac{1,3 \cdot 10^6}{T^2}; \quad (24)$$

$$623 - 873^\circ \text{K}: \\ S_T = S_{623} + \frac{\Delta H'_{\text{пр}}}{623} + \int_{623}^T \frac{C_p'}{T} dT; \\ S_T = -174,83 + 137,65 \lg T + 0,008T; \quad (25) \\ 873 - 1098^\circ \text{K}:$$

$$S_T^* = S_{873} + \frac{\Delta H_{пр}^*}{8,3} + \int_{8,3}^T \frac{C_p^*}{T} dT;$$

$$S_T^* = -178,20 + 139,65 \lg T + 0,008 T. \quad (26)$$

Величины  $S_T$ , вычисленные по этим формулам, сведены в табл. 2.

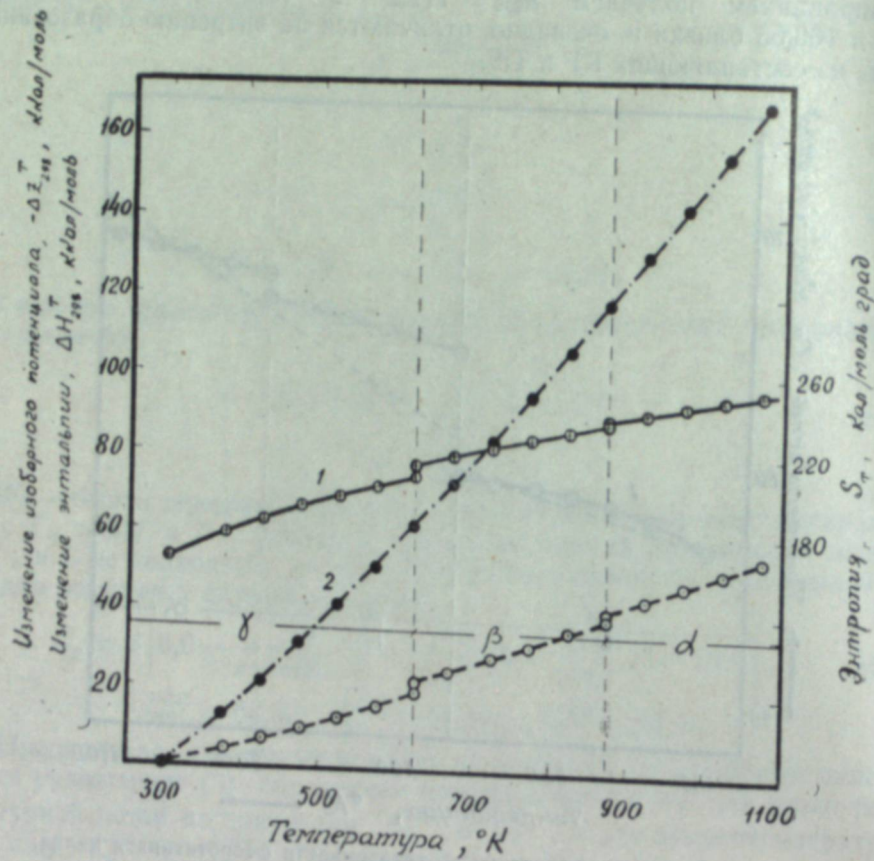


Рис. 3. Зависимость энтропии (1), изобарного потенциала (2) и изменения энтальпии (3) фторотитаната калия от температуры.

Изменение изобарного потенциала —  $\Delta Z_{298}^T$ . Вычисляем его из соотношения  $\frac{\partial \Delta Z}{\partial T} = -\Delta S$ . После подстановки полученных уравнений  $S_T$  и некоторых преобразований получаем для значений  $\Delta Z_{298}^T$  следующие уравнения:

$$298-623^\circ \text{K:}$$

$$\Delta Z_{298}^T = - \int_{298}^T S_T dT;$$

$$\Delta Z_{298}^T = 30886 + 232,91 T - 136,54 T \lg T - 0,0006 T^2 + \frac{1,3 \cdot 10^5}{T}; \quad (27)$$

$$623-873^\circ \text{K:}$$

$$\Delta Z_{298}^T = \Delta Z_{298}^{623} + \Delta Z_{623}^T - \int_{623}^T S_T dT;$$

$$\Delta Z_{298}^T = 33165 + 234,81 T - 137,65 T \lg T - 0,004 T^2; \quad (28)$$

873—1098° K:

$$\Delta Z_{298}^T = \Delta Z_{298}^{873} + \Delta Z_{873}^T = \Delta Z_{298}^{873} - \int_{873}^T S_T dT;$$

$$\Delta Z_{298}^T = 34772 + 238,85 T - 139,65 T \lg T - 0,004 T^2. \quad (29)$$

Значения  $\Delta Z_{298}^T$ , полученные по этим уравнениям, также приведены в табл. 2, а графически зависимости  $S_T = \varphi(T)$ ,  $\Delta H_{298}^T = f(T)$ ,  $\Delta Z_{298}^T = \psi(T)$  представлены на рис. 3.

### Выводы

1. Экспериментально определена зависимость энтальпии от температуры для фторотитаната калия в пределах 298—1098° K.

2. Выведены уравнения зависимости истинных молярных теплоемкостей от температуры, основанные на изменении энтальпии и рассчитанные по методу Ландия.

3. На основании экспериментальных данных получены уравнения зависимостей  $S_T = \varphi(T)$ ,  $\Delta H_{298}^T = f(T)$  и  $\Delta Z_{298}^T = \psi(T)$ , по которым произведены расчеты.

Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию  
24/XI 1958

### ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Стейнберг, С. С. Карлтон, М. Е. Зиберт, Е. Вайнер, Получение титана электролизом расплавленных фтористых солей. Проблемы совр. металлургии, № 2, 1956.
2. В. Н. Еременко, Титан и его сплавы. Изд. АН УССР, Киев, 1955.
3. Н. Н. Серебренников, П. В. Гельд, Теплоемкость ферросплавов при высоких температурах. Тр. Уральского политехн. ин-та, № 49, 1954.
4. H. Ginsberg, Zur Kenntniss der Alkalisalze der Titanfluorwasserstoffsäure. Z. anorg. allg. Chem., 204, 1932.
5. Ф. М. Коломицкий, В. Д. Пономарев, Диаграмма плавкости NaCl—K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>. Бюлл. техн. инф. Казахской ССР, № 4, 1956.
6. Н. А. Ландия, Несколько примеров практического применения энтропийного способа расчета теплоемкости кристаллических неорганических веществ при высоких температурах. Тр. Грузинского политехн. ин-та, № 6, 1954.
7. О. Кубашевский, Э. Эванс. Термохимия в металлургии. М., 1954.
8. Circular of the national bureau of standards 500. Selected values of chemical thermodynamic properties, t. 1, Washington, 1952.

Е. И. МАСЛОВА, И. С. ЛИЛЕЕВ

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МЕЖДУ  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$   
ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ

Сообщение 4-е

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СИЛИКАТА ЛИТИЯ С ОКИСЬЮ КАЛЬЦИЯ  
ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЕКАНИЯ

В литературе нет данных о поведении силиката лития в присутствии окиси кальция.

Из исследований Шварца и Хааке [1], посвященных взаимодействию ортосиликатов лития и кальция, известно, что в системе существуют твердые растворы двухкальциевого силиката в ортосиликате лития (до 20%) и образуют соединения  $2\text{Li}_4\text{SiO}_4 \cdot 3\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  с т. пл.  $1104^\circ$  и  $3\text{Li}_4\text{SiO}_4 \cdot 2\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  с т. пл.  $1092^\circ$ . Кроме того, установлено соединение  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , образующееся при полиморфных превращениях смешанных кристаллов при температуре около  $920^\circ$ .

Более изучены в равновесном состоянии другие аналогичные системы, а именно:  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$  и  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$ . Согласно диаграммам состояния в этих системах, помимо двойных соединений, установлен и охарактеризован ряд тройных соединений [2—4].

Кроме исследований, посвященных изучению равновесных состояний, имеются данные о взаимодействии окислов  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{O}$ ),  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$  и при температурах спекания [5]. Авторы этих исследований пришли к выводу, что образование тройных соединений в смеси указанных окислов при температуре выше  $1000^\circ$  возможно также при различных соотношениях компонентов, при этом получают соединения типа  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{CaO} \cdot p\text{SiO}_2$ . Образование же бинарных соединений типа  $R_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  в процессе спекания этих трех окислов не следует ожидать, так как при введении третьего окисла в бинарное соединение последнее взаимодействует с ним, образуя тройное соединение типа  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{CaO} \cdot p\text{SiO}_2$  или твердые растворы.

Можно полагать, что аналогичным должно быть и поведение смесей, в состав которых входят окислы лития, кальция и кремния.

В настоящем исследовании ставилась цель показать, как протекает взаимодействие между силикатом лития и окисью кальция при температурах спекания.

Применявшийся в опытах силикат лития был синтезирован путем спекания карбоната лития и кремнезема. Химический состав полученного силиката лития следующий:

$\text{SiO}_2 - 64,7\%$ ;  $\text{Li}_2\text{O} - 32,3\%$ ;  $\text{Na}_2\text{O} - 1,2\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,6\%$ ;

$\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,12\%$ ;  $\text{CaO} - 0,3\%$ . Окись кальция применялась марки ХЧ.

Реакция между силикатом лития и окисью кальция изучалась на шихтах двух составов: в одном случае молярное соотношение исходных веществ  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1 : 1$ , в другом —  $1 : 2$ .

Исследования проведены при помощи термического, микроскопического, рентгеновского и химического методов.

Ниже приводятся результаты исследований.

При термическом анализе смеси, составленной из силиката лития и окиси кальция в молярном соотношении  $1 : 1$ , получена термограмма, представленная на рис. 1.

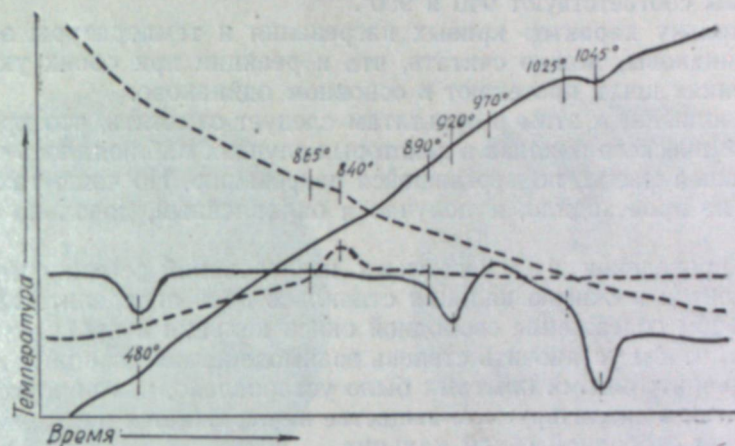


Рис. 1. Термограмма смеси  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1 : 1$   
(Сплошные линии — кривые нагрева, пунктирные — кривые охлаждения).

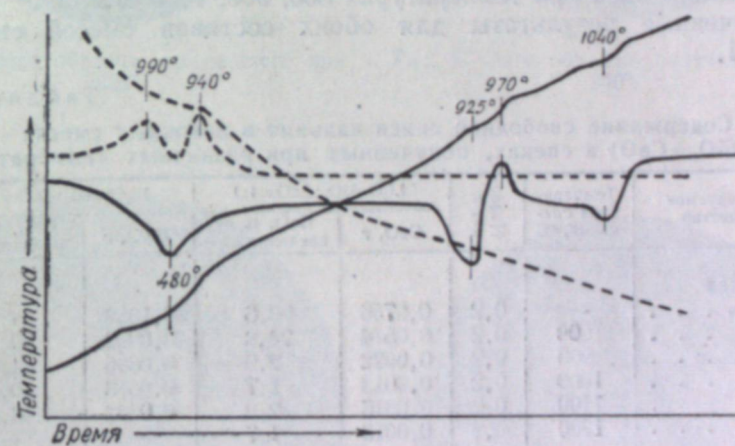


Рис. 2. Термограмма смеси  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1 : 2$   
(Увеличение всех фото  $60 \times 8$ ).

На дифференциальных кривых нагрева имеются три эндотермических эффекта, соответствующих температурам  $480^\circ$ ,  $920^\circ \pm 5$  и  $1045^\circ \pm 5$ , и один слабо выраженный экзотермический, максимальное значение которого  $960 - 970^\circ$ . На дифференциальных кривых охлаждения получен экзотермический эффект при  $840 - 865^\circ$ . На дифференциальных кривых нагрева и охлаждения исходных веществ — силиката лития и окиси кальция — эффектов не установлено.

Ввиду того, что температуры плавления силиката лития ( $1202^\circ$ ) и окиси кальция ( $2570^\circ$ ) значительно выше температур, при которых на кривых нагрева получены эффекты, последние могут быть объяснены изменениями, происходящими в смеси при нагревании.

При термическом исследовании второй смеси, где молярное отношение исходных веществ равно  $1 : 2$ , получена термограмма, представленная на рис. 2. Она имеет большое сходство с термограммой преды-

душей смеси. Здесь также имеются эндотермические эффекты при  $480^\circ$ ,  $925^\circ \pm 5$  и  $1040^\circ \pm 5$  и экзотермический эффект при  $970^\circ$ , который появляется сразу же за эффектом, соответствующим  $925^\circ$ , но он выражен значительно резче, чем для предыдущей смеси, где окиси кальция взято вдвое меньше. На кривой охлаждения, как и в первом случае, имеется экзотермический эффект, но у него ясно выражен двоянный характер и максимумы соответствуют  $940$  и  $900^\circ$ .

Поскольку характер кривых нагревания и температуры эффектов почти одинаковы, можно считать, что и реакции при обоих указанных соотношениях шихт протекают в основном одинаково.

В дополнение к этим результатам следует отметить, что при проведении термического анализа в некоторых случаях наблюдалось рассыпание остывшей массы, подвергавшейся нагреванию. Но чаще такого рассыпания не происходило, а получался оплавленный, довольно твердый спек.

При проведении химических исследований реакции между силикатом лития и окисью кальция ставилась цель определить глициратным методом содержание свободной окиси кальция в продуктах спекания с тем, чтобы установить степень взаимодействия исходных веществ.

Предварительными опытами было установлено, что присутствие силиката лития в анализируемом веществе не отражается на правильности определения свободной окиси кальция.

Исследования проведены со смесями, полученными путем обжига в течение одного часа при температурах  $800$ ,  $900$ ,  $1000$  и  $1100^\circ$ .

Полученные результаты для обоих составов смесей сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Содержание свободной окиси кальция в исходных смесях ( $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaO}$ ) и спеках, полученных при различных температурах

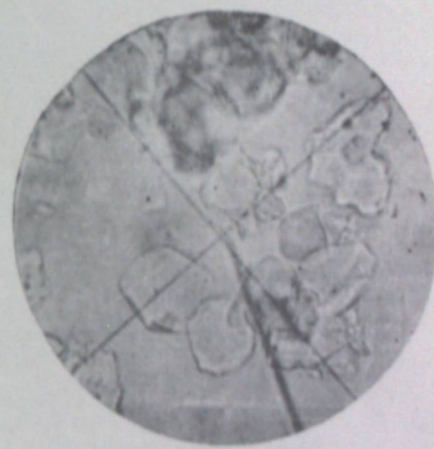
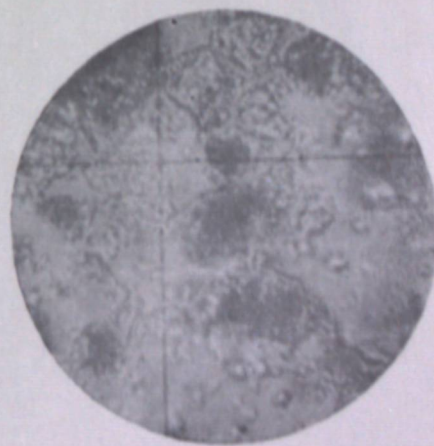
Исследуемое вещество	Температура спекания, $^\circ\text{C}$	Навес, г	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1:1$		$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1:2$	
			CaO, г	CaO, % от введенн. к-ва	CaO, г	CaO, % от введенн. к-ва
			Исходная смесь . . . . .	—	0,2	0,0756
Спек . . . . .	800	0,2	0,0574	74,8	0,0992	89,0
» . . . . .	900	0,2	0,0022	2,9	0,0606	54,6
» . . . . .	1000	0,2	0,0013	1,7	0,0558	50,3
» . . . . .	1100	0,2	0,0016	2,0	0,0542	48,8
» . . . . .	1200	0,2	0,0013	1,7	—	—

Из таблицы видно, что наиболее интенсивно взаимодействие протекает в обоих случаях в интервале температур  $800$ — $900^\circ$ , когда расходуется основная масса окиси кальция. При этом в смеси состава  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1 : 1$  в реакции участвует почти все ее количество.

Результаты спекания смеси с двойным количеством окиси кальция позволяют сделать вывод, что из общего количества вводимой извести в реакции участвует только 50%, т. е. столько же, сколько и в первой смеси, где соотношения исходных веществ  $1 : 1$ . Это обстоятельство указывает на то, что при различных соотношениях исходных веществ протекает химический процесс с образованием одних и тех же продуктов реакции.

Микроскопические исследования продуктов взаимодействия указанных выше смесей дали следующие результаты.

Исходные материалы при температуре  $800^\circ$  и часовом обжиге смеси с соотношением компонентов  $1 : 1$  почти не изменили своего вида:

Рис. 3. Фото образца, полученного при  $800^\circ$ .Рис. 4. Фото образца, полученного при  $900^\circ$ .Рис. 5. Фото образца, полученного при  $1000^\circ$ .Рис. 6. Фото образца, полученного при  $1100^\circ$ .

Отличие от исходной смеси заключалось только в том, что кристаллы силиката лития и окиси кальция, которые раньше были обособлены друг от друга, в спеках, полученных при  $800^\circ$ , пришли в более тесное соприкосновение. Эту картину можно наблюдать на рис. 3. Силикат лития здесь представлен кристаллами удлиненной формы. Окись кальция имеет вид мелких округлой формы кристаллов, большей частью собранных в агрегаты.

Совершенно другую картину наблюдаем в спеках, полученных при  $900^\circ$  (рис. 4). Здесь вместо мелкозернистых кристаллов окиси кальция и удлиненных, игольчатых кристаллов силиката лития образовались светлые, довольно крупные кристаллы округлой формы с ровной поверхностью. Количество их составляет около 90%. Кристаллы анизотропны и имеют цвета интерференции первого порядка. Встречаются двойники. Показатели преломления кристаллов:  $N_g = 1,690 \pm 0,004$ ;  $N_p = 1,670 \pm 0,004$ . Кроме этих кристаллов, встречается немного таких, у которых на поверхности видны мелкие включения.

При дальнейшем повышении температуры до  $1000^\circ$  количество кристаллов, имеющих включения, увеличивается. Происходит как бы прорастание основной массы кристаллов новым веществом, показатель преломления которого не удалось определить. Форма этих включений призматическая, находятся они в различном положении на поверхности основного вещества. Наблюдается также расщепление ранее образовавшихся кристаллов на более мелкие составные части (рис. 5).

В образцах, полученных при  $1100^\circ$  (рис. 6), кристаллы имеют большее прорастание, чем в образцах, обожженных при  $1000^\circ$ . Показатель преломления основной массы остается прежним.

В образцах, полученных при  $1200^\circ$ , наблюдаемые ранее на кристаллах включения не исчезли, и общий вид образцов остался таким же, как и при  $1100^\circ$ .

Результаты исследования образцов, полученных из второй смеси с соотношением исходных веществ 1 : 2, позволяют сделать вывод, что реакция при соответственных температурах протекает с образованием тех же самых соединений, что и в первой смеси. Отличие заключается только в том, что в продуктах спекания с двойным количеством окиси кальция при всех исследуемых температурах наблюдается большой избыток свободной окиси кальция.

Микроскопический анализ образцов, полученных при снятии термодисков и подвергшихся рассыпанию, показал, что в них содержится  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Рентгеновскими исследованиями образцов, полученных при температурах  $900$  и  $1200^\circ$ , установлено наличие свободной окиси кальция и двухкальциевого силиката. Силиката лития в этих образцах не обнаружено, но на рентгенограммах имеются линии значительной интенсивности, оставшиеся нерасшифрованными.

На эти рентгенограммы несколько похожа рентгенограмма образца, полученного из смеси карбоната лития, кремнезема и окиси кальция, взятых в молярном отношении 1 : 1 : 1 и подвергавшихся обжигу при  $1200^\circ$  в течение трех-четырёх часов. Многие межплоскостные расстояния этого образца сходны с межплоскостными расстояниями предыдущих образцов, обожженных при  $900$  и  $1200^\circ$ .

Последнее обстоятельство позволяет считать, что во всех трех случаях имеет место образование одного и того же соединения.

Сопоставляя теперь данные, полученные всеми упомянутыми выше методами исследования реакции между силикатом лития и окисью кальция, взятых в молярном отношении 1 : 1 и 1 : 2, видим, что меж-

ду компонентами смесей начинается взаимодействие при температуре около 800°. Наиболее интенсивно оно протекает, по данным термического и химического анализов, в интервале температур 900—920°, когда происходит полное разрушение силиката лития и образование нового соединения. Поскольку последнее для смеси с соотношением исходных веществ 1 : 1 при 900° представлено на 90% однородными (по виду и показателю преломления) кристаллами, а окись кальция усваивается почти полностью, можно считать, что вновь образовавшееся соединение является тройным. Соответствует оно литиево-кальциевому силикату, имеющему состав  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Оптические константы его следующие:

$$N_g = 1,690 \pm 0,004; \quad N_p = 1,670 \pm 0,004.$$

При повышении температуры происходит прораствание основной массы кристаллов новым веществом. Согласно данным рентгеновского анализа, это вещество является двухкальциевым силикатом. На присутствие его в спеклах указывает происходящее иногда рассыпание спеков, полученных при снятии термограмм, которым, как известно, сопровождается переход  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  в  $\gamma$ -форму. Наличие последней в таких образцах установлено и микроскопическими исследованиями.

### Выводы

1. Взаимодействие между силикатом лития и окисью кальция начинается при температуре около 800°. Наиболее энергично оно протекает при температурах 900—920°; при этом происходит образование тройного соединения — литиево-кальциевого силиката.

2. Образующееся при температуре около 900° соединение имеет состав  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ; оптические константы его следующие:

$$N_g = 1,690 \pm 0,004; \quad N_p = 1,670 \pm 0,004.$$

3. При повышении температуры (выше 900°) происходит выделение новой фазы — двухкальциевого силиката.

4. Увеличение в смеси количества окиси кальция (вдвое) не отражается на составе образующихся соединений.

Химико-металлургический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
15/X 1958

### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Schwarz, A. Naake, Über die binären Systeme des Lithium Orthosilikates mit Zirkon — Orthosilikat und Kalzium — Orthosilikat. Z. für anorg. und allg. Chemie, H. 1, 2, 1921.
2. G. W. Morey, The ternary system  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2\text{—CaO} \cdot \text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ . The properties of Glass, p. 35, 1938.
3. Н. А. Торопов, О. И. Аракелян, Новые ортосиликаты кальция и натрия. ДАН СССР, т. 72, № 2, 1950.
4. G. W. Morey, T. G. Kracek, N. L. Bowen. J. Soc. Glass Techn., vol. 4, 1930.
5. Ф. Н. Строков, В. А. Мусяков, Е. Я. Иткина, О реакциях взаимодействия в пределах системы  $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2\text{—CaO}$  при плавлении. Сб. ГИПХа, № 32, 1940.

А. Г. БЫКОВА, Е. И. ХАЗАНОВ

### К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФЕЛИНОВЫХ ПОРОД УЖУРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Ужурские нефелиновые породы отличаются пониженным содержанием глинозема и щелочей и повышенным — окислов железа. Для их переработки было предложено несколько технологических схем, прошедших проверку как в лабораторных, так и в укрупненно-лабораторных или полупромышленных условиях. На основании полученных при этом данных институтом Гипроалюминий были выполнены расчеты для технико-экономической оценки этих схем применительно к строительству глиноземного завода в районе г. Ачинск.

В указанных расчетах не были учтены некоторые данные. Например, для схемы спекания нефелиновой породы в присутствии восстановителя было принято использование кокса, а между тем более эффективным как технологически, так и экономически является применение бурых углей, в частности Назаровского месторождения, наиболее близко расположенного к району строительства завода. Не были выполнены расчеты применения восстановительной схемы для переработки механически обогащенной породы.

Ниже приводятся сравнительные расчетные данные себестоимости глинозема, степени использования породы и другие показатели для основных схем, получившие экспериментальное подтверждение.

В расчетах использованы данные Гипроалюминия, в которые внесены некоторые коррективы. Вместо поставки кокса на расстояние 850 км принято использование кокса заводов, расположенных на 300 км ближе к району потребления. Для наглядности экономической эффективности отдельных технологических схем расчеты проведены с учетом и без учета реализации побочных продуктов и др.

Рассчитана себестоимость глинозема, получаемого спеканием как сырой, так и механически обогащенной породы с применением в качестве восстановителя вместо кокса угля Назаровского месторождения.

В табл. 1 приводятся данные о заводской себестоимости глинозема по схемам гидрохимической — Пономарева — Сажина, — химического и механического обогащения и спекания, в присутствии восстановителя, сырой и механически обогащенной породы с применением кокса или назаровского угля. Технологическая характеристика этих схем дана в ранее опубликованных работах [1—5].

Наиболее низкой заводской себестоимостью глинозема (на 20—128 руб. ниже, чем в других схемах) отличается схема спекания ужурской сырой породы с применением в качестве восстановителя угля Назаровского месторождения.

В случае реализации получаемых попутно побочных продуктов себестоимость глинозема для указанных схем в различной степени снижается (табл. 2).

Таблица 1

## Себестоимость глинозема, получаемого по различным технологическим схемам из ужурской нефелиновой породы

Статья расхода	Гидрохимическая Полумарта- Саяна*				Скелание нефелиновой породы с известняком и содой с предварительным обогащением*				Скелание нефелиновой породы с известняком и содой в присутствии восстановителя					
	к-во		цена, руб.	сумма, руб.	химическим		металлическим		кокс*		необогатенная руда		назаровского угля	
	к-во	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.
	к-во	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.	к-во	цена, руб.	сумма, руб.
1. Сырье и основные материалы:														
руда необогатенная нефелиновой концентрат	5,36	17,36	93,05	5,86	17,36	—	—	—	5,22	17,36	90,62	5,22	17,36	90,62
известняк дробленый	—	—	—	4,8	59,40	285,12	5,07	25,99	—	—	—	—	—	—
	5,0	6,35	31,75	5,44	6,35	34,54	8,22	6,35	8,47	6,35	53,78	8,47	6,35	53,78
Итого			124,80			319,66					183,97			144,40
2. Вспомогательные материалы:														
целлюлоза	2,0	1,60	3,20	6	1,60	9,60	4	1,60	4	1,60	6,40	4	1,60	6,40
полотно-капрон	0,3	24,37	7,31	0,36	24,37	8,77	0,45	24,37	0,45	24,37	10,97	0,45	24,37	10,97
шары стальные	12,0	0,97	11,64	12,0	0,97	11,64	14,0	0,97	13,58	14,0	0,97	13,58	14,0	0,97
Итого			22,15			30,01					30,95			30,95
3. Топливо:														
а) технологическое:														
кокс	0,51	125,50	64,00	—	—	—	0,0034	125,50	0,42	0,2	125,50	25,10	—	—
уголь назаровский	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,24	20,50
б) энергетическое:														
уголь назаровский	—	—	—	2,88	20,50	59,04	3,0	20,50	61,50	3,1	20,50	63,55	3,1	20,50
Итого			64,00			59,04			61,92		88,65			68,47

4. Энергетические затраты:																		
электроэнергия	600	0,005	21,00	637	0,005	22,30	761	0,005	26,64	769	0,005	26,92	769	0,005	26,92	769	0,005	26,92
пар давлением 30 атм	7,0	8,00	56,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» » 5 »	18,5	7,50	138,75	2,47	7,50	18,53	4,01	7,50	30,08	2,91	7,50	21,83	2,91	7,50	21,83	2,91	7,50	21,83
газ генераторный	860	0,02	17,20	860	0,02	17,20	860	0,02	17,20	860	0,02	17,20	860	0,02	17,20	860	0,02	17,20
вода свежая	110	0,04	4,40	5,6	0,04	0,22	8,0	0,04	0,32	8,0	0,04	0,32	8,0	0,04	0,32	8,0	0,04	0,32
вода оборотная	295	0,05	14,75	67,0	0,05	3,35	96,0	0,05	4,80	96,0	0,05	4,80	96,0	0,05	4,80	96,0	0,05	4,80
Итого			252,10			61,60			79,04			71,07			71,07			71,07
5. Заработная плата с начислениями			12,82			10,02			12,82			12,62			12,62			12,62
6. Амортизация			49,93			62,88			74,62			77,44			77,44			74,62
7. Цеховые расходы			46,24			56,00			65,25			65,44			66,44			65,25
Цеховая себестоимость			572,04			599,21			508,57			491,57			471,39			503,48
8. Общезаводские расходы			25,00			25,00			25,00			25,00			25,00			25,00
Заводская себестоимость			597,04			624,21			533,57			516,57			496,39			528,48

\* По данным Гипроалюминия с внесенными коррективами.

Таблица 2  
Себестоимость глинозема, получаемого по различным технологическим схемам из ужурской нефелиновой породы (с учетом реализации побочных продуктов)

Побочные продукты *	Гидрохимическая Пономарева-Сажина *			Химическим			Механическим			Спекание нефелиновой породы с известняком и содой с предварительным обогащением <sup>в</sup>			Спекание нефелиновой породы с известняком и содой в присутствии восстановителя					
	колич- ество на 1 т Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	цена, руб.	сумма, руб.	колич- ество на 1 т Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	цена, руб.	сумма, руб.	колич- ество на 1 т Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	цена, руб.	сумма, руб.	кокса *			назаровского угля					
										необогащенная руда			необогащенная руда			обогащенная руда		
Шлам белитовый	8,37	8,00	66,96	7,46	8,00	58,68	8,88	8,00	71,04	8,5	8,00	68,00	8,3	8,00	66,40	8,86	8,00	70,88
Каустик жидкий, 42%	1,03	200,00	206,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Карбонатно-сульфат- ные растворы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Метасиликат натрия	—	—	—	0,269	150,00	40,32	1,8**	25,80	46,44	2,65***	24,47	64,85	2,65	24,47	64,85	2,65	24,47	64,85
Моносиликат кальция	—	—	—	0,456	б/ц	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сода	—	—	—	0,082	200,00	16,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сульфат калия	—	—	—	0,139	66,40	9,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тяжелая фракция	—	—	—	1,056	б/ц	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого			272,96		124,58			117,48		132,85		131,25		135,73				
Заводская себестоимость с учетом реализации побочных продуктов			324,08		499,63			416,09		383,72		365,14		392,75				

\* По данным Гипроалюминия с внесенными коррективами.

\*\* R<sub>2</sub>O общ. — 420 г/т.

\*\*\* R<sub>2</sub>O общ. — 400 г/т.

Следует отметить условность этого снижения, так как объем и цены побочных продуктов не получили достаточного обоснования и могут измениться как в сторону увеличения, так и в сторону снижения. В ряде случаев получаемые продукты (жидкий натриево-калиевый каустик, метасиликат натрия и др.) являются нестандартными и вопрос их использования потребует дополнительных исследований. И все-таки снижение себестоимости глинозема за счет реализации этих продуктов составляет значительную величину, а именно: для гидрохимической схемы — 45,73%, для химического обогащения — 19,96%, механического обогащения — 22,02%, спекания сырой породы в присутствии кокса — 25,72%, спекания сырой породы в присутствии назаровского угля — 26,44%, спекания механически обогащенной породы в присутствии назаровского угля — 25,68%.

Следовательно, только лишь при реализации побочных продуктов в определенном объеме и по указанным ценам себестоимость глинозема, получаемого по гидрохимической схеме из ужурской нефелиновой породы, будет наименьшей.

Из рассмотренных схем восстановительная является наиболее приемлемой, так как заводская себестоимость глинозема, получаемого по этой схеме с использованием назаровского угля, самая низкая, а удельный вес побочных продуктов при этом невелик. К тому же следует учесть, что спекание нефелиновых пород является промышленно освоенным процессом в глинозёмном производстве.

Как показали последние исследования в опытном глинозёмном цехе Канакерского алюминиевого завода, применение в качестве восстановителя бурого угля при спекании ужурских нефелиновых пород не только улучшает технико-экономические показатели, но и облегчает условия осуществления этого процесса. Устраняется образование настывей как в холодной, так и в горячей зонах печи, спек отличается однородностью по крупности и не требует значительного измельчения перед выщелачиванием.

Применение в восстановительной схеме вместо кокса угля Назаровского месторождения имеет следующие преимущества: повышается технологическая эффективность процесса; снижается себестоимость глинозема примерно на 20 руб. (при извлечении глинозема из породы ≈ 85%); каждый процент дальнейшего повышения извлечения глинозема снижает себестоимость еще на 5 руб.; экономится на транспортных расходах для условий Ачинского завода 3,0 млн. руб. в год; освобождается 8 тысяч (20-тонных) вагонов в год для перевозки других грузов.

В дальнейшем при внедрении на эксплуатируемых разрезах Назаровского месторождения бестранспортной системы открытой разработки стоимость угля снизится примерно на 6 руб. за тонну, что составит экономию за 1 т глинозема около 20 руб. по основному производству, не учитывая снижения стоимости пара и электроэнергии. В связи с этим себестоимость глинозема будет ниже 350 руб. за тонну.

## Выводы

Наиболее эффективной для комплексной переработки нефелиновых пород Ужурского месторождения является схема спекания нефелиново-известняково-содовой шихты в присутствии восстановителя. Применение восстановителя возможно при спекании как необогащенной, так и обогащенной породы; однако целесообразность предварительного механического обогащения должна быть решена с учетом возможности использования магнитного продукта.



Поскольку восстановительная схема спекания ужурских нефелиновых пород способствует устранению трудностей и радикальному улучшению технологии, а себестоимость глинозема, получаемого по этой схеме, является наиболее низкой, следует рекомендовать применение этой схемы на будущем Ачинском глиноземном заводе.

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
24/1 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Хазанов, Роль восстановителя в процессах спекания алюминиевых и титановых руд. Изв. АН СССР, ОТН, № 10, 1957.
2. А. Ф. Думская, А. В. Павлов, Комплексная переработка нефелиновых пород новых месторождений. Сб. Гипроалюминия и ВАМИ «Легкие металлы», № 4, Л., 1957.
3. А. Ф. Думская, Итоги работ 1952—1956 гг. по выбору схемы переработки ужурских сиенитов для Ачинского глиноземного завода. Тр. ВСФАН СССР, вып. 13. Сырьевые ресурсы легких металлов, т. II, Изд. АН СССР, М., 1958.
4. А. В. Павлов, Технологические схемы переработки ужурской нефелиновой породы. Тр. ВСФАН СССР, вып. 13. Сырьевые ресурсы легких металлов, т. II, Изд. АН СССР, М., 1958.
5. Е. И. Хазанов, А. С. Хлюпина и др., О спекании ужурских нефелиновых сиенитов с известняком в присутствии восстановителя. Тр. ВСФАН СССР, вып. 13. Сырьевые ресурсы легких металлов, т. II, Изд. АН СССР, М., 1958.

Л. И. ВЕРЕЩАГИН, Е. К. ВАСИЛЬЕВ,  
А. С. НАХМАНОВИЧ, И. Л. КОТЛЯРЕВСКИЙ

#### КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 2,4-, 2,6-ДИМЕТИЛПИРИДИНОВ И 2,4,6-ТРИМЕТИЛПИРИДИНА

В лаборатории органического синтеза Института химии ВСФАН СССР в течение последних лет ведется изучение каталитических превращений дивинилацетиленовых углеводородов и ацетиленовых спиртов [1, 2]. В качестве одной из задач мы поставили перед собой исследование возможности каталитического синтеза пиридиновых оснований из ацетиленовых спиртов и аммиака.

Нами были найдены условия, при которых диметилвинилэтинилкарбинол на катализаторах  $MgO/Cr_2O_3/Al_2O_3$ ,  $CdO/Al_2O_3$  и  $CdHPO_4/CaHPO_4$  взаимодействует с аммиаком с образованием смеси 2,4- и 2,6-диметилпиридинов и 2,4,6-триметилпиридина. Так, при пропускании диметилвинилэтинилкарбинола с аммиаком над катализатором  $CdO/Al_2O_3$  (30 : 70) при температуре 370°, объемной скорости 0,7 л/литр катализатора в час и молярном соотношении карбинола и аммиака 1 : 3,7 получается катализат с выходом 73,5%, в котором содержится 37% смеси 2,4- и 2,6-диметилпиридинов и 2,4,6-триметилпиридина. В этой смеси 72% 2,6-диметилпиридина, 16,6% 2,4-диметилпиридина и 11,4% 2,4,6-триметилпиридина. Смесь пиридиновых оснований была разделена на ректификационной колонке 25 т.т. Индивидуальные соединения идентифицировались по их температурам кипения, показателям преломления, по температурам плавления пикратов хлорплатинатов и хлормеркуратов (табл. 1).

Таблица 1

Основания	Экспериментальные данные					Литературные данные				
	т. кип., °С	показатель преломления	т. пл. пикрата, °С	т. пл. хлорплатината, °С	т. пл. хлормеркурата, °С	т. кип., °С	показатель преломления	т. пл. пикрата, °С	т. пл. хлорплатината, °С	т. пл. хлормеркурата, °С
2,6-диметилпиридин	141,5—143,5	$n_D^{17}$ —1,4983	162—162,5	212—214 (разл.)	189—190	142—143	$n_D^{20}$ —1,4971	161—163	210 (разл.)	191,5
	2,4-диметилпиридин	157—159	$n_D^{18}$ —1,5005	182—183	213—215 (разл.)	—	159	$n_D^{14}$ —15033	182,5	216 (разл.)
2,4,6-триметилпиридин		169—170,1	$n_D^{18}$ —1,4989	155—156	227 (разл.)	158	171	$n_D^{20}$ —1,4981	155—156	224 (разл.)

Однако в связи с тем, что метил-, диметил- и триметилзамещенные пиридины и их производные часто очень близки по константам, для их точной характеристики были привлечены физические методы, а имен-



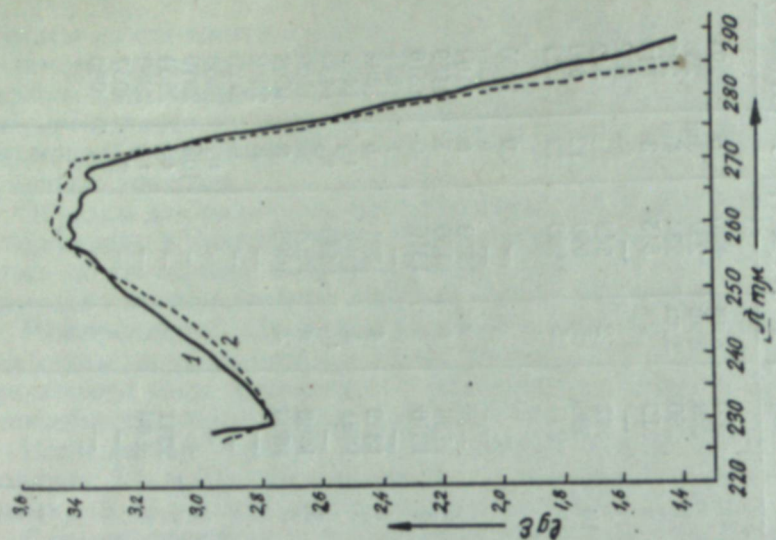


Рис. 3. УФ-спектры поглощения 2, 4, 6-триметилпиридина в изооктане (1) и этаноле (2).

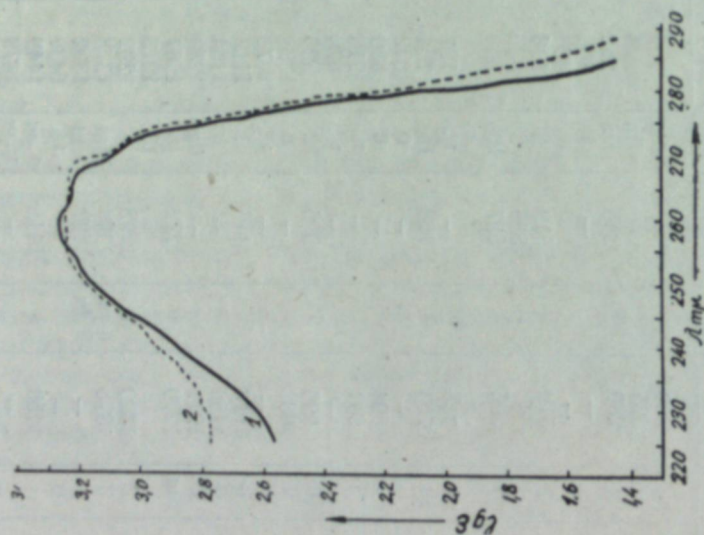


Рис. 2. УФ-спектры поглощения 2,4-диметилпиридина в изооктане (1) и этаноле (2).

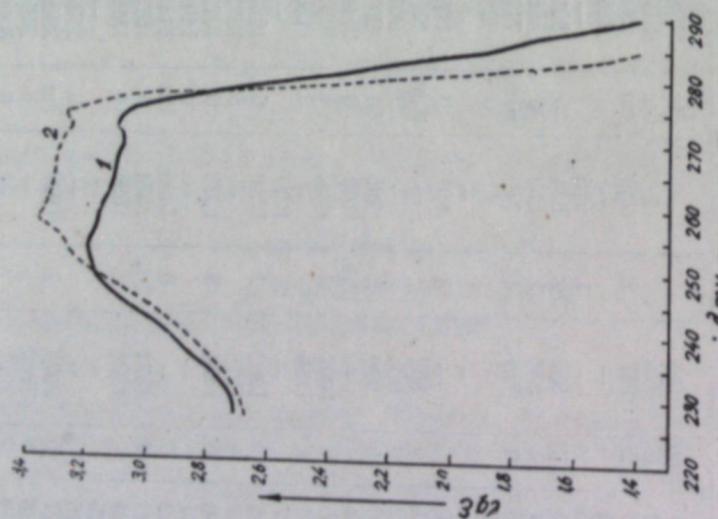


Рис. 1. УФ-спектры поглощения 2,6-диметилпиридина в изооктане (1) и этаноле (2).

$$\lambda_{\max} = 264 \text{ мμ} (\lg E = 3,415);$$

$$\lambda_{\max} = 271 \text{ мμ} (\lg E = 3,355).$$

В этаноле максимум 260 мμ смещен до 265 мμ ( $\lg E = 3,471$ ).

Как видно на кривых поглощения 2,4- и 2,6-диметилпиридинов и 2,4,6-триметилпиридина, их максимумы поглощения в этаноле смещены в красную часть спектра, а интенсивности поглощения при тех же длинах волн и концентрациях выше, чем в изооктане.

Полученные нами УФ-спектры в изооктане совпадают с опубликованными ранее [7].

Рентгенографирование пикратов пиридиновых оснований производилось по способу Страуманиса в порошковых камерах типа РКД с эффективным диаметром 57,3 мм. Диаметры образцов колебались в пределах 0,39—0,43 мм.

Так как исследуемые вещества не образуют линий под большими углами, то для определения эффективных диаметров камер они смешивались с порошком каменной соли. Порошок наклеивался с помощью цапон-лака на кварцевую нить толщиной 0,2 мм. Съемка проводилась на К-излучении кобальтового анода при 30 кВ и 12 мА, время экспозиции 7 часов.

Результаты рентгенографирования приведены в табл. 3. Отношения

Таблица 3

2,6-диметилпиридин		2,4-диметилпиридин		2,4,6-триметилпиридин		2,6-диметилпиридин		2,4-диметилпиридин		2,4,6-триметилпиридин	
I	d(kX)	I	d(kX)	I	d(kX)	I	d(kX)	I	d(kX)	I	d(kX)
—	—	7	10,75	—	—	—	—	1	2,99	—	—
—	—	7	9,75	—	—	—	—	—	—	1	2,91
—	—	—	—	3	8,47	2	2,86	—	—	3	2,84
—	—	—	—	—	—	2	2,81	—	—	5	2,79
—	—	3	8,27	—	—	4	2,71	3ш	2,74	3	2,72
—	—	—	—	3	7,99	2	2,59	3	2,58	4	2,58
—	—	—	—	3	7,47	—	—	1	2,491	4	2,489
—	—	5	7,26	—	—	—	—	—	—	—	—
6	6,93	—	—	6	6,89	2	2,464	—	—	—	—
—	—	7ш	6,73	—	—	—	—	1	2,442	—	—
—	—	—	—	6	6,52	3	2,342	3ш	2,350	3ш	2,326
—	—	—	—	2	6,24	—	—	1	2,255	—	—
3	6,21	—	—	1	5,58	—	—	3	2,183	5	2,183
—	—	—	—	3	5,50	—	—	—	—	1	2,147
—	—	—	—	—	—	—	—	3	2,112	1	2,118
—	—	—	—	—	—	6	2,126	1	2,064	2	2,080
—	—	3	5,03	5	4,93	—	—	—	—	3ш	2,028
—	—	—	—	1	4,85	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	3	2,011	—	—	—	—
6	4,68	—	—	—	—	—	—	2	1,994	—	—
—	—	3	4,53	2	4,59	—	—	2	1,958	—	—
—	—	—	—	5	4,42	—	—	—	—	6	1,944
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	3	1,873	3	1,873	—	—
—	—	4	4,32	—	—	—	—	—	—	1	1,847
—	—	—	—	5	4,15	—	—	1	1,833	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	4,09	2	4,09	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	6	3,95	5	3,99	1	1,819	—	—	2	1,794
5	3,88	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1,760
—	—	6	3,82	5	3,84	—	—	1	1,767	3р	1,710
—	—	—	—	6	3,70	—	—	—	—	—	—
3	3,69	—	—	7	3,56	—	—	1	1,678	—	—
8	3,56	5ш	3,52	—	—	—	—	1	1,619	—	—
7	3,49	—	—	10	3,44	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	6	3,36	—	—	—	—	1	1,605
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	3,25	9	3,28	9	3,21	2	1,530	—	—	—	—
—	—	10	3,19	—	—	—	—	—	—	—	—
3	3,11	2	3,10	2	3,11	—	—	—	—	—	—

тельные интенсивности линий по десятибалльной шкале, межплоскостные расстояния измерены в кило- $X$ -единицах; ш — широкая линия, р — размытая линия.

Сравнение рентгенометрических констант еще раз подтверждает чистоту исследованных образцов пикратов.

### Выводы

Новым методом синтезированы 2,4- и 2,6-диметилпиридины и 2,4,6-триметилпиридин и определены некоторые их физические константы.

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
19/XI 1958

### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Котляревский, А. С. Занина, Синтез толуола. ЖПХ, 30, 1957.
2. И. Л. Котляревский, А. С. Занина, Ароматизация дивинилацетилена. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 4—5, 1957.
3. J. Janz, R. Solomon, Picrates of alkylpyridines. *Analyt. Chem.*, vol. 25, № 3, 1953.
4. J. Janz, Picrates of alkylpyridines. *Analyt. Chem.*, № 26, 1954.
5. Manzoni-Ansidei, The Raman spectra of some derivatives of pyridine. *Boll. sci. facolta chim. ind Bologna*, № 1, 1940.
6. E. Herz, L. Kahovec, K. W. F. Kohlräusch, The Raman effect, CXLII. Nitrogen compounds, 26. Pyridine and its homologs. *Z. phys. Chem.*, B. 53, 1943.
7. R. A. Friedel, *Ultraviolet spectra of aromatic compounds*. New-York, Wiley, 1951.

М. Ф. Ляпунов

### О ФОРМИРОВАНИИ ТЕНАРДИТА В ОЗЕРЕ Б. АЖБУЛАТ

В ряде работ [1—4] указывалось на важное значение оз. Б. Ажбулат, как одного из крупнейших в СССР месторождений сульфата натрия. Производство сульфата натрия в стране в ближайшие годы должно резко возрасти. В этой связи оз. Б. Ажбулат приобретает еще большее значение, поскольку возможно образование в нем тенардита.

Известно, что в период с 1935 по 1945 г. в озере наблюдалось образование тенардита. Как указывает Н. И. Висягин [1], летом 1945 г. мощность донных отложений тенардита достигала здесь 40 см, а сверху залегал галит мощностью до 5 см. Обводнение озера, начавшееся в 1946 г. и продолжавшееся до 1951 г., привело к тому, что донные отложения солей (тенардита и галита) полностью растворились.

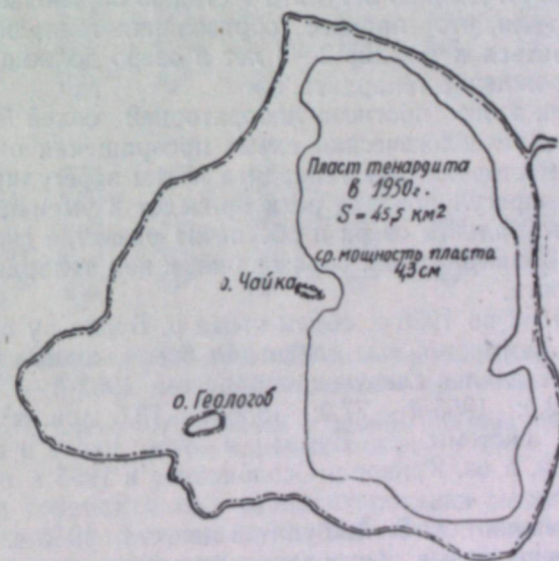


Рис. 1. Схема залегания пласта тенардита в оз. Б. Ажбулат в 1950 г.

Пласт тенардита в озере сохранялся до 1950 г. Как показали геологоразведочные работы, проведенные в 1950 г. С. Ф. Рыжковым и П. Ф. Деряпа, пласт тенардита залегал на площади около 45 км<sup>2</sup> в восточной половине озера (рис. 1). Средняя мощность пласта составляла 0,043 м, максимальная 0,17 м. В западной части озера, а также во всей прибрежной полосе и вокруг о. Чайка на расстоянии от 0,3 до 2,0 км тенардита не было.

Такой характер залегания пласта тенардита в оз. Б. Ажбулат, по нашему мнению, обусловлен исключительно сносом мирабилита вол-

нами и ветровыми течениями во время кристаллизации и садки его. В период садки мирабилит имеет мелкокристаллическую структуру и легко сносится волнами в восточную часть озера — соответственно направлению господствующих западных и юго-западных ветров.

Незначительная глубина и большая площадь зеркала озера, спокойный рельеф дна, открытые и пологие берега в южной и юго-западной части благоприятствуют охвату ветром всей акватории и сносу мирабилита на большие расстояния. При благоприятных условиях, а именно, когда весной мирабилит не полностью растворяется в рапе, а рапа становится насыщенной по отношению к сульфату натрия, мирабилит в летний период переходит в тенардит. Более интенсивное прогревание и частичное опреснение рапы в береговой полосе приводит к растворению здесь мирабилита.

Характер сноса мирабилита, несомненно, резко не изменяется из года в год, так как климатические условия района и морфометрические параметры озера относительно постоянны. Поэтому определенное залегание донных отложений солей в озере может рассматриваться как его специфическая особенность.

В 1953 г. при разработке технологической схемы использования соляных богатств оз. Б. Ажбулат нами был составлен прогноз гидрохимического режима озера на ближайшие годы (1953—1960 гг.); часть материалов по этому вопросу была изложена в одной из наших работ [3]. Согласно прогнозу, озеро, вступившее в 1951—1952 гг. в стадию усыхания, в 1957—1958 гг. должно вступить в стадию образования тенардита. Расчеты показывали, что процесс образования тенардита должен в основном закончиться в течение 2—3 лет и озеро должно превратиться в мощное месторождение тенардита.

На основании этого прогноза лабораторией солей ЗСФАН СССР была предложена технологическая схема превращения оз. Б. Ажбулат в искусственное месторождение тенардита путем зарегулирования стока р. Бурла. Такое зарегулирование реки приведет к уменьшению приходной части водного баланса озера и обеспечит развитие гидрохимического режима озера в направлении образования в нем тенардита и его длительной сохранности.

В период с 1952 по 1956 г. объем стока р. Бурла у с. Хабары был незначительным, суммарно он составлял всего лишь 137,9 млн. м<sup>3</sup>, а по годам распределялся следующим образом: 1952-й — 25,2; 1953-й — 10,2; 1954-й — 12,0; 1955-й — 77,0; 1956-й — 13,5 млн. м<sup>3</sup>. Вследствие этого все озера системы р. Бурла, в том числе и оз. Б. Ажбулат, сильно усохли, а оз. Кривое и Осолодочное в 1955 г. полностью высохли.

При обследовании оз. Б. Ажбулат в августе 1955 г. на дне озера нами были отмечены новые образования тенардита в виде тонкой корки до 1 см, обнаруживавшиеся на расстоянии 800—1000 м от уреза рапы. Так как к этому времени наступили похолодания, то в озере наблюдалось обильное выпадение мирабилита, который в виде очень мелких, легко подвижных кристаллов слоем в 40—50 см прикрывал корку тенардита.

Естественно было ожидать, что большая часть мирабилита осенне-зимней садки 1955—1956 гг. весной 1956 г. не растворится и летом будет переходить в тенардит. 9 сентября 1956 г. мы вновь посетили оз. Б. Ажбулат и произвели промеры глубин рапы и мощности донных отложений солей. Маршрут обследования, расположение буровых скважин и размеры колонок представлены на рис. 2.

Обследование показало, что донные отложения солей состоят из

старосадки мирабилита, представляющей собой монолитный слой мирабилита-стеклеца, мощностью до 25 см, и новосадки мелкокристаллического мирабилита, лежащего рыхлым, легко подвижным слоем над старосадкой, мощностью до 30 см. Мощность слоя рапы над новосадкой доходила до 50 см, а над старосадкой без учета еще не слежавшихся кристаллов новосадочного мирабилита, — до 70—80 см.



Рис. 2. Схема расположения и разрезы буровых колонок по промерам 1956 г.

Кристаллов тенардита под слоем старосадки мирабилита образования 1955 г. нами не было найдено. Вероятно, то небольшое количество тенардита, которое образовалось летом 1955 г., после выпадения на него слоя мирабилита обводнилось. Но на многих участках озера, в северо-восточной половине его и у о. Чайка, нами наблюдались скопления гидратированных двойных соединений кальция и натрия, сложного переменного состава  $xNa_2SO_4 \cdot yCaSO_4 \cdot zH_2O$ , образование которых, как известно [5], предшествует образованию тенардита в природных рассолах типа рассола оз. Б. Ажбулат. Эти скопления гидратированных двойных соединений кальция и натрия представляли собой белую кашеобразную массу слоем 5—10 см, располагавшуюся отдельными участками в прибрежной зоне озера. Наличие этих соединений свидетельствует о том, что озеро в 1956 г. вступило в начальную стадию формирования тенардита.

В августе 1957 г. мы совместно с А. С. Колосовым вновь провели промеры рапы и донных отложений солей оз. Б. Ажбулат. Всего было пробурено 20 скважин. Маршрут, точки расположения буровых скважин, разрезы буровых колонок представлены на рис. 3.

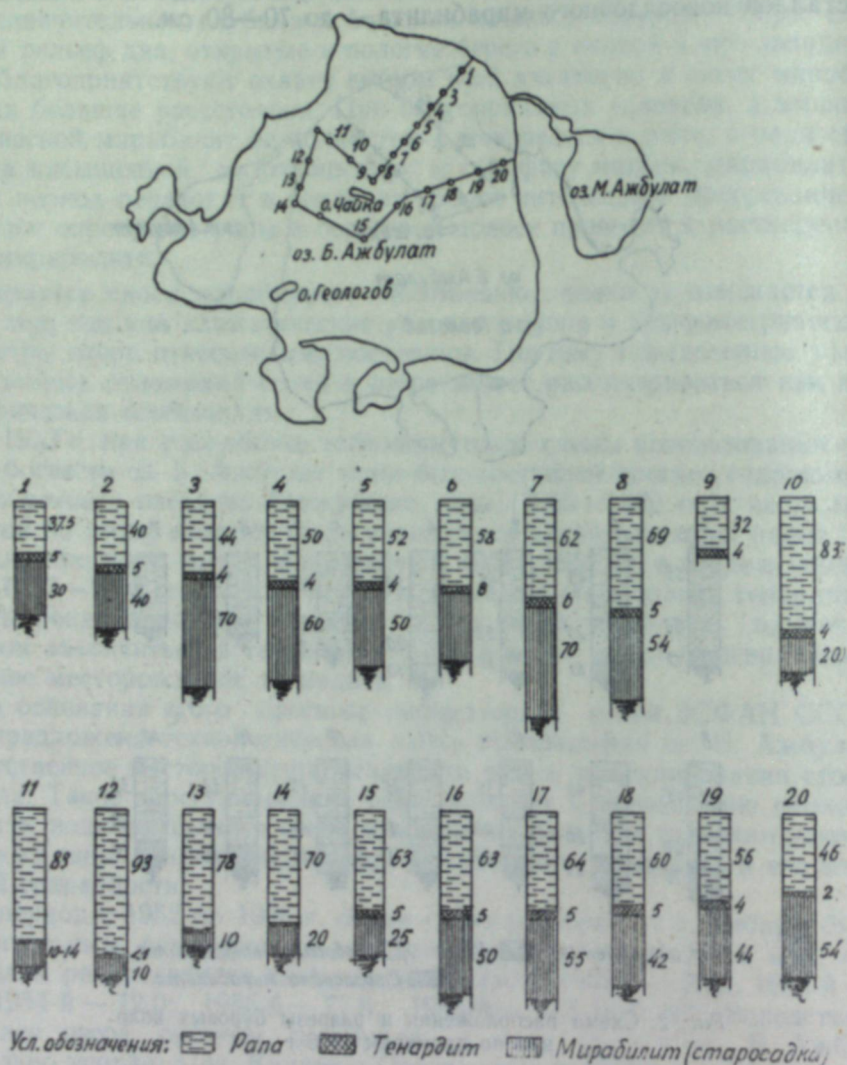


Рис. 3. Схема расположения и разрезы буровых колонок по промерам 1957 г.

Во всех скважинах были обнаружены отложения тенардита и двойных гидратированных соединений кальция и натрия. Мощность слоя отложений тенардита в смеси с гидратированными двойными соединениями кальция и натрия достигала 6 см, а средняя из промеров по 20 скважинам равнялась 3,8 см. Мощность старосадки мирабилита, представляющего собою монолит-стеклец, доходила до 70 см, средняя — 38 см. Средняя мощность рапы по промерам 20 скважин составляла 60 см.

Промеры показали, что мощности донных отложений как старосадки мирабилита, так и тенардита не равномерны по всей площади дна озера. В восточной части озера мощность слоя мирабилита достигала



Рис. 4. Микроструктура донных отложений тенардита оз. Б. Ажбулат в 1957 г., взятых из двух скважин.  
(Левый снимок  $\times 50$ , правый  $\times 21$ ).

70 см (скв. № 3), тенардита — 5—6 см, а в западной — соответственно 10—15 см и 1—2 см.

Таким образом, объяснение, которое дано нами выше относительно залегания пласта тенардита по результатам промеров 1950 г., подтверждается данными наблюдений 1955—1957 гг.

Несомненно, что перенос мирабилита и тенардита в восточную часть озера будет происходить и в будущем, и следует ожидать, что характер залегания пласта тенардита останется приблизительно таким же, как и в 1950 г.

В табл. 1 приведены анализы двух образцов тенардита из скважин № 3 и № 4.

Таблица 1  
Химический состав проб тенардита оз. Б. Ажбулат,  
отобраны 19/VIII 1957 г.

№ скважины	г <sub>2</sub> О общ.	Мирабилит	Тенардит	Примеси	Σ <sub>сол</sub>
3	6,72	12	87,7	0,52	100,23
4	4,0	6,38	93,0	0,8	100,10
Средний	5,36	9,19	90,2	0,71	100,16

Можно ориентировочно оценить запасы тенардита в донных отложениях озера. Если принять, что тенардит залегает на площади всего лишь 50% от общей площади зеркала озера, равной более 100 км<sup>2</sup>, а объемный вес его 1,8, то в донных отложениях находится  $100\ 000\ 000 \times 0,5 \cdot 0,038 \cdot 1,8 \cdot 0,9 = 3,078$  млн. т тенардита. Это значит, что к осени 1957 г. около 20% запасов сульфата натрия, имеющихся в озере, перешло в тенардит.

Незначительная мощность пласта тенардита пока не позволяет оценить эти запасы как пригодные для промышленной эксплуатации. Однако, как уже отмечалось ранее [3], в настоящее время ведутся работы по зарегулированию стока р. Бурла. В случае успешного их выполнения воды реки не станут больше поступать в оз. Б. Ажбулат, и развитие гидрохимического режима озера в ближайшие годы будет способствовать дальнейшему образованию тенардита и накоплению его в донных отложениях.

Микроструктура донных отложений тенардита (рис. 4) позволяет считать, что первая стадия процесса — образование тенардита через двойные гидратированные соединения кальция и натрия — закончилась в 1957 г. В дальнейшем образование тенардита будет происходить за счет кристаллизации его из рапы при ее испарении и за счет обезвоживания донных отложений мирабилита. Начало этих процессов фактически уже наблюдалось в 1957 г. при нашем обследовании озера. В период проведения промеров озера рапа была белесовато-мутной из-за взвешенных в ней мелких кристаллов тенардита, что легко определялось с помощью микроскопа. В двух пробах рапы нами были проведены определения количества взвешенного в ней тенардита, которое оказалось равным в среднем 1,5%. При пересчете на весь объем рапы озера, который превышает 50 млн. м<sup>3</sup>, количество тенардита, находящегося во взвешенном состоянии в рапе, составляет около 1 млн. т. Следовательно, общее количество сульфата натрия, перешедшее в тенардит, фактически больше, чем дают подсчеты по его донным отложениям. Со временем кристаллы тенардита, находящиеся в рапе во взвешенном состоянии, осядут на дно и тем самым увеличат мощность донных отложений.

Поверхность донных отложений старосадки мирабилита в 1957 г. не

была столь ровной и гладкой, как в 1956 г. Поверхность мирабилита, обнажаемого из-под слоя тенардита, была шероховатой, что свидетельствует о начавшемся процессе его растворения и переходе в тенардит. В некоторых местах этот процесс шел настолько интенсивно, что в пласте мирабилита образовались лунки и воронки диаметром 30—40 см. Как было отмечено С. З. Макаровым [6], еще в 1932 г. наблюдавшим образование тенардита на оз. Мармышанское, в местах таких лунок образование тенардита идет особенно хорошо.

Следует ожидать, что основная масса мирабилита, находящаяся в донных отложениях оз. Б. Ажбулат, перейдет в тенардит в ближайшие годы.

Дальнейшая сохранность пласта тенардита в озере будет всецело зависеть от зарегулирования стока р. Бурла. Поэтому выполнение работ по зарегулированию в настоящее время приобретает исключительно важное значение.

### Выводы

1. Отмечено два цикла образования тенардита в оз. Б. Ажбулат. Первый цикл имел место в период 1935—1945 гг., второй цикл начался в 1956 г. и продолжается в настоящее время.

2. Началу образования тенардита в озере предшествует накопление слоя мирабилита в донных отложениях мощностью 20—25 см.

3. Первая фаза процесса образования тенардита протекает через двойные гидратированные соединения кальция и натрия, и этот процесс предшествует переходу мирабилита в тенардит.

4. По ориентировочным подсчетам, на 20 августа 1957 г. в донных отложениях озера имелось около 3 млн. т тенардита при мощности слоя до 6 см.

5. Распределение мирабилита и тенардита по дну озера неравномерное. Наибольшие мощности наблюдаются в восточной половине озера, что обуславливается сносом сюда мирабилита и тенардита в период их кристаллизации ветровыми течениями и волнами при господствующих западных и юго-западных ветрах в районе озера.

6. В случае непоступления вод р. Бурла в озеро дальнейшее развитие его гидрохимического режима будет идти в направлении перехода мирабилита в тенардит с последующей кристаллизацией галита. Следует ожидать, что основная масса мирабилита, находящаяся в донных отложениях, перейдет в тенардит в ближайшие годы и оз. Б. Ажбулат может превратиться в мощное месторождение тенардита.

Химико-металлургический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
16/III 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Висягин, Озеро Ажбулат — мощный источник тенардита. Тр. Хим.-металлур. ин-та ЗСФАН СССР, № 1, Новосибирск, 1951.
2. Н. И. Висягин, А. Г. Василевская, Опыты по получению тенардита на базе рапы оз. Б. Ажбулат. Тр. Хим.-металлур. ин-та ЗСФАН СССР, № 12, Новосибирск, 1958.
3. Н. И. Висягин, Ю. П. Никольская, М. Ф. Ляпунов, Пути промышленного освоения соляных богатств оз. Б. Ажбулат. Тр. Хим.-металлур. ин-та ЗСФАН СССР, № 12, Новосибирск, 1958.
4. Н. И. Висягин, М. Ф. Ляпунов, Изотермическое испарение рапы оз. Б. Ажбулат. Тр. Хим.-металлур. ин-та ЗСФАН СССР, № 12, Новосибирск, 1958.
5. Н. И. Висягин, А. Г. Василевская, Новые данные о формировании тенардита. ДАН СССР, т. XXXVI, № 3, 1952.
6. С. З. Макаров, Материалы к физико-химическому изучению соляных озер Кулундинской степи. Изд. АН СССР, М.—Л., 1935.

С. А. КОЛЯГО

### К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И СООТНОШЕНИЯ ЕГО ОСНОВНЫХ ОТРАСЛЕЙ\*

Современное направление развития сельского хозяйства в том или ином районе страны, а также его перспективные отрасли в большой степени определяются возможностью получения высоких урожаев тех или иных культурных растений на соответственных почвах при наименьшей затрате труда и средств.

Отсюда понятно, что при решении вопроса о том, какое направление сельского хозяйства, с каким соотношением отраслей полеводства и животноводства будет наиболее доходным в условиях определенного района (участка), первостепенную роль должны играть сведения о почвах, получаемые в результате почвенно-географических исследований.

Ниже предлагается для обсуждения наш опыт использования почвенно-географических материалов с указанной целью.

В результате изучения почвенного покрова правобережной части Минусинской впадины нами выявлено 75 разновидностей почв. Каждая из них получила генетическую и агропроизводственную оценку, а также нашла отражение на почвенной карте масштаба 1 : 200000.

В настоящее время наука и сельскохозяйственная практика еще не располагают возможностью достичь такой дробной дифференциации использования почв, при которой особенности каждой почвенной разновидности получили бы отражение в практически осуществляемых комплексах агрономических мероприятий.

Поэтому все 75 разновидностей почв мы объединили в следующие 19 агропроизводственных групп:

- 1) черноземы выщелоченные,
- 2) черноземы оподзоленные и темно-серые лесные почвы,
- 3) серые лесные почвы,
- 4) тучные, влажные и относительно холодные черноземы и лугово-черноземные почвы,
- 5) дерново-луговые почвы высокой поймы,
- 6) черноземы обыкновенные,
- 7) малогумусные, маломощные, слабоувлажненные черноземы и солонцеватые почвы,
- 8) черноземы легкосуглинистые и супесчаные,
- 9) светло-серые лесные и дерново-подзолистые почвы,
- 10) лугово-черноземные, дерново-луговые и лугово-болотные солончаковые почвы,

\* Печатается в порядке обсуждения.— *Ред.*



- 11) дерново-луговые почвы низкой поймы,
- 12) серые и темно-серые лесные легкосуглинистые и супесчаные почвы,
- 13) дерново-подзолистые и подзолисто-болотные, преимущественно супесчаные, почвы сосновых боров,
- 14) горные серые почвы, горные серые (бурые) и дерново-карбонатные лесные,
- 15) горные светло-серые почвы, горные светло-серые (светло-бурые) лесные и дерново-подзолистые,
- 16) болотные почвы,
- 17) солонцы и сильносолонцеватые почвы,
- 18) солончаки,
- 19) малоразвитые щебнистые почвы и незакрепленные пески и супеси.

В основу выделения агропроизводственных групп почв положены четыре принципа:

- а) сходные показатели генетической сущности почв,
- б) сходные агропроизводственные их оценки,
- в) общность почв по наиболее целесообразному направлению и характеру использования,
- г) однородность объединяемых почв по основным агрономическим мероприятиям, обеспечивающим повышение их плодородия.

Поконтурное вычисление площадей объединяемых почв позволило определить площади распространения агропроизводственных групп в границах зон и районов правобережья. Эти данные, как и материалы, характеризующие каждую агропроизводственную группу в агрономическом отношении, здесь не приводятся за неизменением места.

Для того, чтобы подойти к обоснованному заключению о направлении развития сельского хозяйства, а также о перспективных отраслях полеводства и животноводства в каждой зоне и районе правобережья Минусинской впадины, нами проделано следующее.

Прежде всего были выявлены культурные растения, которые могут давать урожай в почвенно-климатических условиях района исследования. Вместе с этим определились не только существующие, но и возможные отрасли полеводства.

После этого, исходя из биологических особенностей отдельных культурных растений, был решен вопрос, на почвах каких агропроизводственных групп отдельные растения могут давать наибольший урожай при наименьшей затрате труда и средств и, следовательно, на почвах каких агропроизводственных групп выявленные отрасли полеводства будут наиболее перспективными.

Получив такие данные (табл. 1) и зная площади распространения каждой агропроизводственной группы почв в границах каждой зоны и района, мы легко нашли цифровые показатели, позволяющие судить о том, на какой части той или иной зоны или района возможно наиболее эффективное выращивание тех или иных культурных растений, а следовательно, и о том, какие отрасли полеводства будут оправдывать себя в той или иной зоне или районе.

В табл. 2 приводятся в качестве примера такие показатели для степной зоны правобережья Минусинской впадины и двух ее районов. Как видно, они представляют собой площади, на которых выращивание соответствующих растений может быть наиболее успешным (на основе данных табл. 1). Процент каждой суммарной площади в табл. 2 вычислялся по отношению к общей площади сельскохозяйственного пользования, т. е. к площади зоны или района без площадей, занятых почвами

Таблица 1

Отрасли полеводства и отдельные с.-х. растения, наиболее перспективные для агропроизводственных групп почв правобережной части Минусинской впадины

№ производственных групп почв	Отрасли полеводства и отдельные с.-х. растения
1—10	<i>Возделывание зерновых:</i>
1, 5, 6, 7, 8	пшеница яровая
1, 2, 3, 4, 9	рожь озимая
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	кукуруза (на зерно и зеленый корм)
1, 5, 6, 7, 8	просо
1, 2, 3, 4, 5, 6	ячмень
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10	овес
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9	гречиха
1—9	<i>Возделывание зернобобовых:</i>
7, 8	чечевица
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9	горох
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9	вика
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9	бобы
1—9	<i>Возделывание картофеля:</i>
1—10	<i>Возделывание кормовых корнеплодов:</i>
1, 2, 3, 4, 5, 10	турнепс
1, 2, 3, 4, 5, 9, 10	брюква
1, 5, 6, 8	морковь
1, 5, 6	свекла
1—11	<i>Возделывание растений на силос:</i>
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10	подсолнечник грызовой
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	кукуруза
1, 2, 3, 4, 5, 9, 10	кормовая капуста
1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11	земляная груша
1—9	<i>Возделывание однолетних кормовых трав:</i>
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9	вика
6, 7, 8	могар
6, 7, 8	суданка
1—5, 9—11	<i>Возделывание многолетних трав:</i>
1, 5, 10, 11	люцерна
1, 5, 10, 11	житняк
2, 3, 4, 9	клевер
2, 3, 4, 9	тимофеевка
1—4, 6—9	<i>Возделывание прядильно-масличных культ.</i>
1	мак
1, 2, 3, 4	лен-кудряш
1, 2, 3, 4	конопля
9	лен-долгунец
6, 7, 8	подсолнечник
1, 5, 6	<i>Возделывание сахарной свеклы</i>
1, 5, 6	<i>Табаководство</i>
8	<i>Бахчеводство</i>
1, 5, 10, 11	<i>Овощеводство</i>

лесохозяйственного пользования и почвами, нуждающимися в коренных улучшениях (12—19-я агрогруппы).

Данные табл. 2 позволяют видеть, что на большей части степной зоны правобережья Минусинской впадины можно без затрат на коренное улучшение почв успешно возделывать значительное число сельскохозяйственных растений, а именно: зерновые (ведущая культура — пшеница, зернобобовые, картофель, кормовые корнеплоды (главным образом свеклу и морковь), силосные культуры (подсолнечник грызовой, кукурузу) и однолетние кормовые травы. На меньшей площади зоны можно успешно развивать прядильно-масличные культуры (подсолнечник, коноплю), сахарную свеклу, табак, овощи и бахчевые культуры.

Возделывание перечисленных сельскохозяйственных растений, определяющих соответственные отрасли полеводства, при значительных пло-

Таблица 2

Площади, пригодные для наиболее эффективного возделывания сельскохозяйственных растений в степной зоне и двух ее районах на территории правобережья Минусинской впадины

Отрасли полеводства и отдельные с.-х. растения	Вся зона		Узино-Сыдинский р-н		Енисейский придолинный р-н	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Возделывание зерновых при ведущей культуре — пшенице	419,9	82,0	55,2	95,7	110,9	62,0
Возделывание зерновых (главным образом серых хлебов)	37,4	7,3	1,8	3,1	20,6	11,5
Возделывание зернобобовых	429,5	83,9	55,8	95,9	111,6	62,4
> картофеля	429,5	83,9	55,3	95,9	111,6	62,4
> корнеплодов:	368,6	72,0	49,9	86,6	111,6	62,4
турнепс	68,7	13,4	2,4	4,2	25,4	14,2
брюква	68,7	13,4	2,4	4,2	25,4	14,2
морковь	359,0	70,1	49,8	86,3	87,7	47,9
свекла	305,6	59,7	49,8	86,3	39,6	22,2
Возделывание растений на силос (кукуруза, подсолнечник и др.)	404,0	78,9	57,0	98,9	83,5	46,7
Возделывание однолетних кормовых трав	376,1	73,4	55,4	96,0	63,6	35,5
> многолетних трав	40,8	8,0	0,7	1,3	5,4	3,1
Культура лугов и пастбищ	82,6	16,1	2,3	4,2	67,4	37,6
Возделывание прядильно-масличных культур:	373,5	72,9	55,4	96,0	60,9	34,0
мак	28,6	5,6	0,6	1,0	2,1	1,2
лен-кудряш	32,2	6,3	0,7	1,3	2,8	1,6
лен-долгунец	—	—	—	—	—	—
конопля	312,6	60,9	49,9	86,6	37,7	21,1
подсолнечник	364,0	71,0	55,2	95,7	60,3	33,0
Возделывание сахарной свеклы	305,6	59,7	49,8	86,3	39,7	22,2
> табака	305,6	59,7	49,8	86,3	39,7	22,2
> бахчевых культур	53,4	10,6	—	—	48,1	17,2
> овощей	113,9	22,3	2,9	5,0	72,1	40,3

щадях естественных лугов и пастбищ может обеспечить нормальное развитие следующих отраслей животноводства: молочно-мясной, свиноводства, овцеводства и птицеводства.

Таким образом, в соответствии с особенностями почвенного покрова на территории степной зоны правобережной части Минусинской впадины целесообразно иметь сельское хозяйство пшенично-зернового направления с высокоразвитым молочно-мясным и мясо-шерстным животноводством.

Кроме того, почвенно-климатические условия данной зоны позволяют в широких масштабах заниматься возделыванием прядильно-масличных культур (подсолнечник, конопля), сахарной свеклы и табака.

На небольшой части зоны возможно экономически выгодное возделывание овощей и бахчевых культур.

Своеобразный почвенный покров Узино-Сыдинского района степной зоны находит свое отражение в несколько ином соотношении отраслей полеводства и животноводства, чем это указано для степной зоны в целом (см. табл. 2). Наравне с зерновыми, зернобобовыми, кормовыми и прядильно-масличными культурами здесь могут возделываться табак и сахарная свекла. Вместе с тем в районе нет достаточно благоприятных условий для развития бахчеводства и овощеводства. Мала площадь естественных лугов и пастбищ (около 4%). Отсюда понятно, что наи-

более перспективными отраслями животноводства здесь являются молочно-мясная, свиноводство и птицеводство. Для значительного развития овцеводства в данном районе условия недостаточно благоприятны.

В Енисейском придолинном районе своеобразные почвенно-климатические условия делают целесообразным интенсивное развитие наряду с зерновым хозяйством овощеводства и бахчеводства. Высокая обеспеченность района естественными лугами и пастбищами дает возможность развивать вместе с молочно-мясным животноводством и мясо-шерстное.

Из изложенного видно, что степень правильности заключения о направлении развития сельского хозяйства и соотношении его основных отраслей зависит главным образом от того, насколько правильно оцениваются агропроизводственные группы почв с точки зрения возделывания на них тех или иных культурных растений. В связи с этим возникает задача конкретизации оценки плодородия почв разных зон и районов страны в отношении соответствующих культурных растений. Это одна из тех важных задач, которые должны решаться зональными научными учреждениями, в частности, районными и областными почвенно-агрохимическими лабораториями.

Томский государственный университет

Поступила в редакцию  
14/II 1959

И. Л. КЛЕВЕНСКАЯ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СОСТАВ АКТИНОМИЦЕТОВ  
В ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ КУЛУНДЫ

Актиномицеты очень широко распространены в природе, особенно в почвах, где они встречаются во всех географических зонах, начиная с арктической тундры. В Советском Союзе, по данным Н. А. Красильникова [1], актиномицеты в почве составляют от 5 до 70% от общего числа микробов.

Роль актиномицетов в почве чрезвычайно разнообразна. Они участвуют в разложении сложных растительных и животных остатков (целлюлозы, лигнина, хитина и др.), в освобождении аммиака из сложных белков, в процессах гумификации, в восстановлении нитратов до нитритов, в фиксации атмосферного азота.

Кроме того, известно, что ряд актиномицетов может стимулировать рост растений и, наоборот, продукты жизнедеятельности некоторых актиномицетов оказывают угнетающее действие на растения.

Видовой состав и численность актиномицетов в почве могут служить показателями направленности почвообразовательного процесса и состояния почвы, поскольку их деятельность, так же как и деятельность споровых бактерий, связана с превращениями относительно стабильных форм органического вещества почвы (Мишустин [2, 3]).

Несмотря на большую роль актиномицетов в почвенных процессах, видовой состав их в различных почвах, особенно в районах Западной Сибири, до настоящего времени очень мало изучен. Одним из таких районов является Кулундинская степь.

Рельеф, климат и почвы Кулундинской степи отличаются рядом характерных особенностей, из которых самой главной можно считать ее засушливость.

При изучении почвенной микрофлоры в южных черноземах, являющихся основными пахотными землями в этом районе, автором было обнаружено, что эти почвы содержат большое число и довольно разнообразные формы актиномицетов.

В настоящем сообщении излагаются результаты работы по изучению численности, видового состава и некоторых физиологических свойств актиномицетов, выделенных с участков залежи до обработки и обработанной залежи южного чернозема.

Образцы почвы для анализов брались с опытных участков временного стационара, организованного Западно-Сибирским филиалом АН СССР на базе совхоза «Овцевод» Андреевского района Новосибирской области.

Восемнадцатилетняя залежь с полынно-типчаковой растительностью была поднята паровой вспашкой в июне 1954 г. Весной 1955 г. она была засеяна яровой пшеницей, осенью вспахана под зябрь, в 1956 г. снова засеяна пшеницей, весной 1957 г. вспахана и засеяна овсом.

Численность актиномицетов в южных черноземах

Для выделения и количественного учета актиномицетов применялся в основном крахмало-аммиачный агар.

Как показали анализы, число актиномицетов в южном черноземе в среднем составляет в залежи 33% и в обработанной почве 36% от количества учитываемых микроорганизмов (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение отдельных групп микроорганизмов в южном черноземе Кулунды

Состояние почвы	Общее число микробов	Бактерии	Актиномицеты	Грибы
Залежь	2445/100	1600/66	820/33	25/1
Обработанная залежь (3-й год использования)	5625/100	3400/63,6	220/36	25,0,4

Наблюдения за развитием актиномицетов в почве, проведенные с мая по сентябрь в 1955 и 1956 гг., показали большую изменчивость общей численности актиномицетов и соотношения ее с численностью бактерий в зависимости от сезона и погодных условий различных лет.

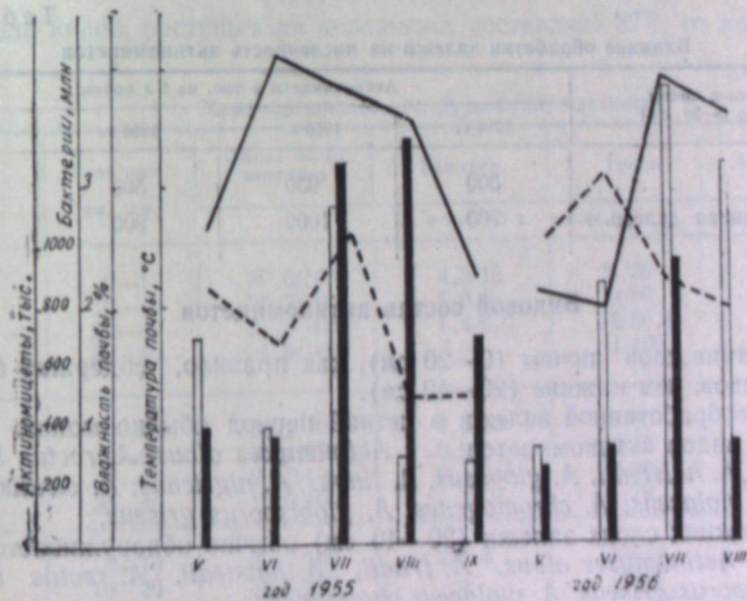


Рис. 1. Изменения в численности актиномицетов и бактерий в связи с изменениями влажности и температуры почвы. 1 — температура почвы на глубине 15 см, 2 — влажность почвы. Светлые столбцы — численность бактерий, темные — актиномицетов.

Актиномицеты относятся к ксерофитным микроорганизмам. Это свойство особенно четко проявляется в южных черноземах Кулундинской степи. Так, общая численность их в засушливом 1955 г. была выше, чем в более влажном 1956 г. Численность актиномицетов по отдельным сезонам этих лет менее, чем численность бактерий, зависит от изменения влажности почвы (рис. 1).

Большее влияние оказывает на актиномицеты температура почвы. Весной, когда температура верхних слоев почвы еще низкая (11 — 13°),

число актиномицетов невелико (300 тыс. на 1 г почвы). Летом с повышением температуры почвы (23—25°) их численность резко возрастает (1400 тыс.) (см. рис. 1).

Численность актиномицетов в южном черноземе Кулунды убывает с глубиной, что уже ранее отмечалось рядом авторов для других почв ([4—9] и др.), но уменьшение содержания актиномицетов по мере увеличения глубины, по сравнению с другими микроорганизмами, происходит менее резко (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение отдельных групп микроорганизмов в различных слоях южного чернозема Кулунды

Слой почвы, см	Бактерии	Актиномицеты	Грибы
	в тыс. на 1 г почвы/%		
0—10	2300/69,4	1100/30	20,0,6
10—20	1000/52,5	900/46	15/1,5
20—30	500/42,2	700/56	17/1,8
30—40	250/47,8	250/52	3/0,2

Обработка залежи приводит к увеличению численности актиномицетов (табл. 3). Однако это изменение происходит не так резко, как для бактерий.

Таблица 3

Влияние обработки залежи на численность актиномицетов

Состояние почвы (в слое 0—20 см)	Актиномицеты в тыс. на 1 г почвы			
	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.
Залежь	500	930	500	800
Обработанная залежь	700	1000	900	1200

#### Видовой состав актиномицетов

Верхние слои почвы (0—20 см), как правило, содержат большее число видов, чем нижние (20—40 см).

В необработанной залежи в летний период обычно можно обнаружить 12 видов актиномицетов: *Actinomyces albus*, *A. rectus bruneus*, *A. fradii*, *A. halstedii*, *A. globosus*, *A. flavus*, *A. nigricans*, *A. viridis*, *A. griseus*, *A. violaceus*, *A. chromogenes*, *A. globisporus griseus*.

В нижних слоях залежи (20—40 см) обычно обнаруживается лишь 6 видов: *Actinomyces albus*, *A. fradii*, *A. halstedii*, *A. rectus bruneus*, *A. globisporus griseus*, *A. violaceus chromogenes*.

С обработкой залежи число видов актиномицетов возрастает до 19. Кроме перечисленных выше, в пахотном слое (0—20 см) встречаются *Actinomyces coelicolor*, *A. viridichromogenes*, *A. griseoflavus*, *A. violaceus chromogenes*, *A. globisporus*, *A. cylindrosporus*, *A. ruber*.

В подпахотных слоях почвы (20—40 см) число видов уменьшается до 10.

Наблюдения показали, что численное соотношение отдельных видов актиномицетов значительно изменяется в зависимости от гидротермических условий различных лет. В засушливый 1955 г. в необработанной залежи был обнаружен в большом количестве (50%) *A. rectus bruneus*. В более влажные 1956 и 1957 гг. наиболее часто встречались *A. globosus* (до 20%), *A. halstedii* (до 15%).

Южные черноземы Кулундинской степи по относительному числу актиномицетов (33%) близки к каштановым почвам Казахстана, которые, по данным Е. Н. Мишустина [3], содержат актиномицетов 34,7% от численности всех микроорганизмов, но несколько отличаются по видовому составу актиномицетов. Так, по данным З. Ф. Тепляковой [8], в целинной темно-каштановой почве наиболее распространенными видами являются *A. globisporus*, *A. albus*, *A. violaceus niger*, *A. farinosus*, *A. halstedii*. В южном же черноземе, как указывалось выше, наиболее распространены *A. fradii*, *A. flavus*, *A. albus*, *A. rectus bruneus*, *A. globosus*, *A. halstedii*.

#### Физиологические свойства выделенных актиномицетов

Как показали анализы, почти все виды, выделенные из южного чернозема Кулунды, растут на глюкозе, галактозе, лактозе, сахарозе, крахмале, декстрине, глицерине. Однако разные виды обладают специфичностью в использовании углеродсодержащих веществ. Так, на глюкозе растут с образованием кислот 77%, на мальтозе — 71%, сахарозе — 56% из всех испытанных видов. Значительно меньшее количество видов (17%) используют с образованием кислот галактозу и лактозу.

Все выделенные нами штаммы актиномицетов обладают способностью гидролизовать крахмал. Однако это свойство выражено у различных видов и штаммов в разной степени. Наиболее ярко оно проявляется у некоторых штаммов *A. fradii*, *A. rectus bruneus*, *A. viridichromogenes*.

Число видов, растущих на целлюлозе, составляет 37% от всех выде-

Таблица 4

Микроорганизмы, разрушающие клетчатку

Дата	Слой почвы, см	Общее число микробов	Бактерии	Грибы	Актиномицеты
			в тыс. на 1 г почвы/%		
19 мая	0—10	30,6/100	4,5/15	21/70	4,5/15
	10—20	28,7/100	1,0/5	22/80	4,6/15
	20—30	21,5/100	1,4/6,9	18/86,8	1,4/6,9
	30—40	1,0/100	—	1/100	—
19 июня	0—10	22,1/100	4,5/20	13/60	4,5/20
	10—20	33,1/100	0,9/1	25/76	7,2/13
	20—30	24,2/100	0,1/0,5	22/90	2,1/9,5
	30—40	19,0/100	2/10	15/79	2,4/11
23 июля	0—10	27,7/100	2/7,4	20/74	5/18,6
	10—20	38,6/100	—	36/92	0,9/8
	20—30	3,1/100	—	2,5/80	0,85/20
	30—40	4,7/100	—	4,7/100	—
12 августа	0—10	30,7/100	3/10	7/22	19,6/68
	10—20	46,2/100	4/9	35/78	5,8/13
	20—30	9,8/100	0,4/4	9/92	0,4/4
	30—40	52,8/100	0,3/1	0,5/1,7	2,0/73
23 сентября	0—10	35,0/100	13/37	19/57	7/6
	10—20	17,0/100	4,4/26	8/47	3/27
	20—30	9,0/100	3,33	4/43	2,22
	30—40	3,0/100	—	2,66	1/33

ленных нами. Особенно хорошо растут на клетчатке *A. griseus*, *A. flavus*, *A. coelicolor*.

Вместе с этим актиномицеты имеют большой удельный вес в группе целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Они составляют 18—20%, а иногда 68% всех микроорганизмов, разрушающих клетчатку (табл. 4).

Поэтому, несмотря на то, что разрушение клетчатки, вызванное актиномицетами, протекает менее интенсивно, чем целлюлозными бактериями [1], нельзя не признать, что они имеют большое значение в разложении растительных остатков новых земель, вовлекаемых в обработку.

Все выделенные нами актиномицеты обладают способностью разлагать белки. Многие из них при разложении этих веществ выделяют аммиак, т. е. являются активными аммонификаторами, некоторые виды при использовании белков выделяют сероводород (табл. 5).

И, наконец, следует указать на способность актиномицетов расти на средах с очень малым содержанием азота (0,07%), что говорит о их олигонитрофильности.

Таблица 5.

## Некоторые физиологические показатели актиномицетов

№ п/п.	Виды и штаммы актиномицетов	Протеолитическая способность	(Выделение аммиака при росте на МПА)	(Выделение сероводорода при росте на МПА)	Денитрификация до NO <sub>2</sub>	Денитрификация до NH <sub>3</sub>
1	<i>A. fragilis</i> :					
	штамм 108	++++	+++	+	+	-
	> 112	++++	+	-	-	-
	> 115	++	+	+	-	-
2	<i>A. coelicolor</i>	+++	+++	-	-	-
3	<i>A. cylindrosporus</i> :					
	штамм 109	+++	-	-	+	+
	> 110	+++	-	-	+	+
	> 121	+++	-	-	+++	-
4	<i>A. griseus</i> :					
	штамм 113	++	-	++	-	-
	> 11	++	+	++	-	-
5	<i>A. rectus bruneus</i>	+++	-	-	-	-
6	<i>A. viridichromogenes</i>	+++	++	-	-	-
7	<i>A. halstedii</i>	++	++	+	+	+
8	<i>A. violaceae</i>	++	++	-	-	-
9	<i>A. flavus</i> :					
	штамм 107	++	+	+	+	-
	> 16	++	+	+	+	-
10	<i>A. griseoflavus</i>	+++	+	-	-	-
11	<i>A. chromogenes</i> :					
	штамм 114	+++	+	+	-	-
	> 125	+	+	+	+	-
12	<i>A. globosus</i>	++	+	-	-	-
13	<i>A. violaceus chromogenes</i>	++	+	-	-	-
14	<i>A. viridis</i>	++	+	-	-	-
15	<i>A. globisporus</i>	+++	+	-	-	-
16	<i>A. globisporus griseus</i>	+++	+	-	-	-
17	<i>A. griseus</i>	++	+	+	-	-
18	<i>A. albus</i>	+	++	++	-	-

Наряду с этим, некоторые из выделенных актиномицетов обладают способностью к денитрификации, восстанавливая азотную кислоту в азотистую, а иногда и в аммиак (см. табл. 5).

Таким образом, актиномицеты играют большую и, в общем, положительную роль в азотном балансе южного чернозема.

## Заключение

Южные черноземы Кулундинской степи содержат значительное количество и разнообразные формы актиномицетов. По относительной их численности среди других микроорганизмов изученные почвы близки к каштановым почвам Казахстана, но несколько отличаются от них по видовому составу актиномицетов.

Численность актиномицетов и число их видов резко возрастают от весны к лету, что, по-видимому, связано главным образом с повышением температуры почвы. Таким образом, значение актиномицетов в почвенных процессах в летние месяцы значительно усиливается.

В обработанной залежи по сравнению с необработанной увеличиваются численность и видовое разнообразие актиномицетов.

Полученные данные о численности и составе актиномицетов и предварительное изучение некоторых физиологических свойств наиболее распространенных форм говорят о большой роли актиномицетов в увеличении эффективного плодородия залежи при ее обработке.

Биологический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
25/XI 1958

## ЛИТЕРАТУРА

- Н. А. Красильников, Лучистые грибки и родственные им организмы. Изд. АН СССР, М.—Л., 1938.
- Е. Н. Мишустин, В. А. Мирзоева, Соотношение основных групп микроорганизмов в почвах разных типов. Почвоведение, № 6, 1953.
- Е. Н. Мишустин, Микроорганизмы и плодородие почвы. Изд. АН СССР, М., 1956.
- Д. М. Нвогрудский, Почвенная микробиология. Изд. АН Каз. ССР, Алма-Ата, 1956.
- Е. В. Рунов, Микрофлора черноземов под лесными насаждениями в Деркульской степи. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. XV, 1954.
- А. В. Рыбалкина, Микрофлора почв Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М., 1957.
- З. Ф. Теплякова, Микробиологические особенности бурых почв Джезказганского района. Тр. Ин-та почвоведения Каз. ССР, т. 2, Алма-Ата, 1953.
- З. Ф. Теплякова, Т. Г. Максимова, Распространение актиномицетов в почвах Северного Казахстана, Микробиология, т. 26, вып. 3, 1957.

Л. А. МИРОШНИЧЕНКО

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ  
В ПОЧВАХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В современных представлениях о корневом питании растений почвенной микрофлоре отводится большая роль. Почвенные микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности подвергают разрушению различные органические вещества животного и растительного происхождения. В результате этого освобождаются элементы питания растений в минеральной форме и создаются новые органические соединения [1—4]. Кроме того, микроорганизмы продуцируют в процессе своей жизнедеятельности аминокислоты, витамины, ростовые вещества и другие соединения, оказывающие воздействие на рост и развитие растений, на количественный и качественный состав самой микрофлоры и на течение биохимических процессов в почве [5—8].

Нами изучалось воздействие агротехнических приемов на микробиологические процессы в почвах Иркутской области. Были проведены исследования, определяющие влияние способов обработки, севооборотов, органических и минеральных удобрений на микрофлору разных почв. Результаты одного из таких исследований излагаются в настоящей статье.

Роль минеральных удобрений в специфических почвенно-климатических условиях Иркутской области изучалась и раньше (Иркутский с.-х. институт, опытные станции), но без учета воздействия удобрений на почвенную микрофлору.

Нами исследовалось влияние минеральных удобрений на микробиологические процессы в полевых и вегетационных опытах в 1954, 1955 и 1956 гг. Опыты проводились на светло-серой лесной слабоподзоленной среднесуглинистой почве совхоза им. Дзержинского Иркутского района, на темно-серой лесной среднесуглинистой почве ботанического сада Иркутского университета и на дерново-карбонатной среднесуглинистой коричневой почве опытной с.-х. станции Баяндаевского района.

На светло-серой лесной почве совхоза высевалась яровая пшеница (Лютесценс 62), на темно-серой почве ботанического сада — овес (Золотой дождь), а на дерново-карбонатной почве — пшеница (Иркутская 49). На серых лесных почвах опыты ставились в четырехкратной повторности по известкованному и неизвесткованному фону по следующей схеме: контроль (без удобрений); аммиачная селитра (100 кг на 1 га); суперфосфат (300 кг на 1 га); аммиачная селитра (100 кг на 1 га) и суперфосфат (300 кг на 1 га). На дерново-карбонатной почве образцы на микробиологические исследования отбирались с контрольных делянок и делянок, удобренных суперфосфатом (300 кг на 1 га), а также суперфосфатом (300 кг на 1 га) и 40% калийной солью (150 кг на 1 га). Удобрения внесены под предпосевную культивацию, на светло-серой

почве по весновспашке, а на темно-серой и дерново-карбонатной — по зяби. Посев произведен конной сеялкой, пшеницы — 10 и 14 мая, а овса — 25 мая, в сроки, рекомендованные агротехническими правилами для Иркутского и Баяндаевского районов.

Почвенные образцы брались соответственно фазам развития пшеницы и овса, с пяти мест (конвертом) каждой делянки. Микробиологические анализы проведены в свежих образцах средней пробы. При этом определялось общее количество микроорганизмов прямым счетом под микроскопом [8] и подсчетом на МПА [9]. Физиологические группы микроорганизмов и изменения их состава учтены посевом соответствующих разведений на различные среды. Количество микроскопических грибов учитывалось на синтетической среде Чапека, актиномицетов — на крахмало-аммиачном агаре. Учет аэробных бактерий, разлагающих клетчатку, произведен на агаризованной среде Гетчинсона, нитрификаторов — на выщелоченном агаре с аммонийно-магниевой солью фосфорной кислоты, а азотфиксаторов — на среде Эшби и Виноградского [9].

Результаты определения влияния минеральных удобрений на общее количество микроорганизмов исследуемой светло-серой почвы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние минеральных удобрений на общую численность микроорганизмов в светло-серой лесной почве (пахотные горизонты)

Удобрения (кг/га)	К-во микроорганизмов, млн. на 1 г сухой почвы			
	известкованный фон		известкованный фон	
	кущение	колошение	кущение	колошение
Без удобрений	388,4	579,4	559,4	721,3
Аммиачная селитра (100)	578,0	758,2	882,0	956,0
Суперфосфат (300)	541,0	595,2	545,0	680,2
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	624,0	918,0	1050,6	1300,6

Исследованиями устанавливается прямая зависимость численности микроорганизмов от вида внесенных удобрений. Общее количество микроорганизмов на делянках, получивших удобрения по известкованному фону, значительно больше, чем на делянках, почва которых не удобрялась и не известковалась.

Внесение только одной аммиачной селитры положительно влияет на развитие микрофлоры: численность микроорганизмов на делянках, удобренных ею, значительно возрастает по сравнению с контролем.

Внесение одного суперфосфата в светло-серую лесную почву неэффективно, совместное же внесение его с аммиачной селитрой повышает количество микроорганизмов против контроля почти вдвое.

Действие минеральных удобрений сказывается также и на активности физиологических групп микроорганизмов в исследуемых почвах.

Как показывают данные, приведенные в табл. 2, применение удобрений на светло-серой лесной почве способствует увеличению численности исследуемых физиологических групп микроорганизмов. На делянках, удобренных аммиачной селитрой с суперфосфатом, их количество достигает максимума. Неэффективным на этой почве оказалось влияние суперфосфата на нитрифицирующие бактерии; при внесении его по известкованному фону развитие их было даже подавлено.

В табл. 3 приведены данные о влиянии минеральных удобрений на

Таблица 2

Влияние минеральных удобрений на микрофлору светло-серой лесной почвы (29/VII 1955 г.)

Удобрения (кг/га)	К-во мик. организмов, тыс. на 1 г сухой почвы		
	маслянокис- л а е	аэробные целлюлозные	нитрифи- каторы
По неизвесткованному фону			
Без удобрений	12,0	6,1	0,01
Аммиачная селитра (100)	31,4	4,2	5,4
Суперфосфат (300)	14,2	7,1	0,02
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	44,8	11,6	6,4
По известкованному фону			
Без удобрений	16,2	1,4	0,4
Аммиачная селитра (100)	37,4	10,2	6,06
Суперфосфат (300)	16,0	7,5	0,01
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	54,3	10,6	9,2

Таблица 3

Влияние минеральных удобрений на микрофлору темно-серой лесной почвы (1956 г.)

Удобрения (кг/га)	Количество микроорганизмов, тыс. на 1 г сухой почвы					
	известкованный фон			известкованный фон		
	всходы 15/VI	колошение 3/VIII	спелость 7/IX	всходы 15/VI	колошение 3/VIII	спелость 7/IX
<b>Г р и б ы</b>						
Без удобрений	12,5	70,0	15,5	0,55	275,0	5,0
Аммиачная селитра (100)	14,5	105,0	16,5	0,6	400,0	11,0
Суперфосфат (300)	12,0	8,5	0,8	0,5	290,0	14,0
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	15,0	304,0	15,0	1,2	820,0	18,5
<b>Целлюлозные аэробные бактерии</b>						
Без удобрений	1,0	2,1	23,5	1,3	105,0	105,0
Аммиачная селитра (100)	1,2	15,5	28,5	3,2	205,0	130,0
Суперфосфат (300)	1,4	70,0	135,0	12,0	16,0	60,0
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	2,2	65,0	190,0	12,0	245,0	265,0
<b>Анаэробные фиксаторы азота</b>						
Без удобрений	2,5	0,03	0,06	70,0	1,3	0,06
Аммиачная селитра (100)	13,0	0,3	0,06	25,0	2,5	0,6
Суперфосфат (300)	20,0	0,1	0,1	110,0	2,5	0,06
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	25,0	2,5	2,0	25,0	0,7	2,5
<b>Азотобактер</b>						
Без удобрений	0,1	0,7	0,6	0,1	0,5	0,2
Аммиачная селитра (100)	0,2	0,4	0,3	0,3	0,7	0,2
Суперфосфат (300)	0,6	1,5	0,5	0,6	2,5	0,4
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	0,7	1,3	0,8	0,4	0,5	1,4

развитие отдельных физиологических групп микроорганизмов темно-серой лесной почвы. Как видим, различные группы микроорганизмов

по-разному реагируют на удобрения. Положительное влияние совместного применения аммиачной селитры, суперфосфата и известкования сказывается на учетных группах микроорганизмов на протяжении всего вегетационного периода. При совместном внесении удобрений жизнедеятельность грибов-возбудителей маслянокислого брожения и азотобактера была в ранний период развития овса активнее, чем на неудобранных делянках в более позднее время. На известкованных делянках бактерии, разрушающие клетчатку, наибольшего развития достигали к концу вегетационного периода овса, а на известкованных — значительно раньше. Таким образом, удобрения, активизируя жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, нарушают обычную периодичность в их развитии, последнее «смещается» на более ранний период.

Данные о влиянии минеральных удобрений на микрофлору дерново-карбонатных почв приведены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние минеральных удобрений на микрофлору дерново-карбонатной почвы (21/VII 1956 г.)

Удобрения (кг/га)	К-во микроорганизмов, тыс. на 1 г сухой почвы				
	растущие на МПА	грибы	актиномицеты	целлюлозные аэробные	нитрифика- торы
Без удобрений	15000,0	12,0	15,0	1,5	0,5
Суперфосфат (300)	23000,0	48,0	80,0	8,0	1,9
Суперфосфат (300) + калийная соль (150)	98500,0	77,0	500,0	72,0	5,5

В этих опытах на удобренных делянках отмечается значительная активизация почвенной микрофлоры. На дерново-карбонатной почве в отличие от серых лесных однонаправленное действие суперфосфата положительно сказывается на развитии всех учетных групп микроорганизмов. Совместное внесение суперфосфата с калийной солью способствует еще большему увеличению микроорганизмов, учетных на МПА, актиномицетов, нитрификаторов и целлюлозных бактерий. Менее интенсивно по удобренным вариантам опыта шло развитие грибов.

Воздействие исследуемых удобрений сказалось не только на количестве микроорганизмов, но и на активности микробиологических процессов. Интенсификация процессов определялась нами в полевых условиях на разноудобренных делянках и в лабораторных условиях на дерново-карбонатной и серых лесных почвах. В опытах учитывались процессы нитрификации и фиксации молекулярного азота. Активность нитрификации в полевых условиях учитывалась по накоплению нитратов в почве, а в лабораторных — по накоплению нитратов в образцах почв, выдержанных в течение 20 дней в оптимальных условиях температуры, влажности и с добавлением материала для процесса [10] — сульфата аммония и гороховой муки из расчета 30 мг азота на 100 г почвы.

Полученные данные (табл. 5) показывают, что процессы нитрификации в темно-серой почве активизировались при всех видах исследуемых удобрений, хотя однонаправленное действие суперфосфата и в данном случае было менее эффективным. Здесь также наблюдаются сдвиги в периодичности проявления процесса, как и при развитии отдельных физиологических групп микроорганизмов. Максимальное накопление нитратов в полевых условиях отмечается по всем видам удобрений в период всходов овса, а на контрольных делянках — в период

Таблица 5

## Процессы нитрификации в темно-серой лесной почве

Удобрения (кг/га)	К-во NO <sub>3</sub> , мг на 100 г сухой почвы					
	неизвесткованный фон			известкованный фон		
	всходы	колошение	спелость	всходы	колошение	спелость
Без удобрений	2,29	1,37	3,09	3,29	1,29	4,61
Аммиачная селитра (100)	9,75	2,12	3,82	11,40	2,22	5,88
Суперфосфат (300)	8,14	1,31	2,70	4,00	1,21	2,89
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	10,27	2,88	3,90	11,04	4,10	6,05

спелости. Однако интенсивность процесса нитратонакопления на делянках, удобренных аммиачной селитрой и суперфосфатом, не была ниже, чем на контрольных делянках, и в более поздний период развития исследуемого растения.

Таблица 6

Влияние удобрений на энергию нитрификации почв (в мг NO<sub>3</sub> на 100 г сухой почвы)

Почвы	Исходное к-во нитратов	Накоплено нитратов в вариантах опыта			
		одно увлажнение	сульфат аммония	сульфат аммония с мелом	гороховая мука
Светло-серая лесная (совхоз им. Дзержинского Иркутского района)	0,73	1,62	1,71	3,17	0,78
Темно-серая лесная (ботанический сад Иркутского университета)	2,65	2,08	4,07	7,28	6,25
Дерново-карбонатная (Баяндаевская опытная с.-х. станция)	2,17	2,20	4,24	0,29	11,58

Изменение потенциальной активности процессов нитрификации в разных вариантах опытов показано в табл. 6. Как видно из данных этой таблицы, действие удобрений на потенциальные возможности микробиологических процессов в исследуемых почвах проявляется весьма сложно. Энергия нитратонакопления в серых лесных почвах находится в прямой зависимости от реакции почвенного раствора. Добавление мела к этим почвам повышает накопление нитратов. А добавление органического материала к светло-серой почве не вызывает увеличения энергии нитратонакопления, что свидетельствует о слабой потенциальной способности почвы к накоплению аммиака. На темно-серой почве удобрения усиливают способность почвы к накоплению нитратов по всем вариантам опыта. В дерново-карбонатной почве процессы нитрификации при известковании угнетаются. Накопление нитратов в опыте при оптимальных условиях температуры и влажности ограничивается только недостатком материала, так как добавление материала для процесса значительно увеличивает энергию нитрификации.

Таким образом, из данных исследования процессов нитрификации следует, что применение минеральных удобрений вызывает не только неодинаковое количество нитрифицирующих бактерий на разноудобренных делянках, но и разную энергию накопления нитратов.

Воздействие удобрений на азотфиксирующую способность почвенных микроорганизмов учитывалось на штаммах азотобактера, выделенных из темно-серой почвы ботанического сада университета. Для этого из чистой культуры азотобактера, выделенного из разноудобренных делянок, отсчитывалось по 500 млн. клеток в чашку Петри с 30 мл питательной среды, содержащей 2% сахара. По исчезновению в контролируемых чашках сахара исследуемые штаммы азотобактера анализировались на содержание азота по методу Кьельдаля. Одновременно учитывалось содержание азота в среде и в чистой культуре азотобактера. Результаты исследований (табл. 7) показали, что под воздействием удобрений азотобактер повысил продуктивность азотфиксации с 4,79 до 9,69 мг азота на 1 г сахара.

Таким образом, исследования влияния минеральных удобрений и известкования на микробиологические процессы устанавливают полную зависимость активности этих процессов от вида внесенных удобрений. Применение минеральных удобрений и известкование оказывает воздействие и на физиологическую особенность почвенных микроорганизмов, как это устанавливается в наших опытах с азотобактером.

Чтобы более полно осветить вопрос о влиянии минеральных удобрений на микрофлору почв в специфических условиях Иркутской области, приводим таблицу с данными об урожайности (табл. 8) для сопоставления их с результатами микробиологических анализов.

Таблица 8

## Влияние удобрений на урожай (ц/га)

Удобрения (кг/га)	Неизвесткованный фон		Известкованный фон	
	урожай	прибавка по сравн. с контролем	урожай	прибавка по сравн. с контролем

## Пшеница на светло-серой лесной почве

Без удобрений	8,5	—	8,2	—
Аммиачная селитра (100)	11,6	3,1	12,6	4,4
Суперфосфат (300)	7,1	—	7,8	—
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	11,0	2,5	12,6	4,4

## Овес на темно-серой лесной почве

Без удобрений	12,2	—	19,7	—
Аммиачная селитра (100)	24,7	12,5	27,7	8,0
Суперфосфат (300)	18,7	6,5	21,4	1,7
Аммиачная селитра (100) + суперфосфат (300)	43,0	30,8	49,5	29,8

## Пшеница на дерново-карбонатной почве

Без удобрений	8,7	—	—	—
Суперфосфат (300)	9,6	0,9	—	—
Суперфосфат (300) + калийная соль (150)	11,0	2,3	—	—



Наиболее высокие урожаи пшеницы на светло-серой почве получены с делянок, удобренных аммиачной селитрой. Применение суперфосфата как одного, так и совместно с аммиачной селитрой для урожая на этой почве оказалось неэффективным и, как показывают микробиологические анализы, угнетало развитие почвенной микрофлоры. Снижение урожая пшеницы на светло-серой почве по фосфорному удобрению подтверждает, что условия корневого питания растений определяются не только наличием питательных веществ в почве, но и возможностью их усвоения.

На темно-серой почве наиболее высокие прибавки урожая овса получены на делянках с азотными и фосфорными удобрениями. Суперфосфат дал наименьшую прибавку урожая.

На дерново-карбонатной почве урожай был выше на делянках, получивших в качестве удобрений смесь суперфосфата с калийной солью.

Результаты исследований показывают, таким образом, что наиболее эффективное влияние на урожай овса и пшеницы оказывает совместное применение азотных, фосфорных удобрений и известкования на серых лесных почвах и фосфорных и калийных удобрений — на дерново-карбонатных почвах. При таком использовании удобрений лучше всего проявляется положительное действие их на жизнедеятельность почвенной микрофлоры и на условия корневого питания растений.

### Выводы

1. Применение минеральных удобрений и известкование вызывают весьма существенные изменения в биодинамике почв. Под воздействием минеральных удобрений общее количество микроорганизмов в серых лесных и дерново-карбонатных почвах значительно возрастает. Численность микроорганизмов особенно увеличивается на серых лесных почвах при совместном применении удобрений и известковании. Под влиянием удобрений значительно повышаются энергия накопления нитратов и азотфиксирующая способность почв. Изменяется также и физиологическая активность отдельных групп микроорганизмов. Так, азотобактер, выделенный из разноудобренных делянок, обладал различной азотфиксирующей активностью. Степень повышения азотфиксирующей активности была большей у штаммов, выделенных из почвы делянок, удобренных суперфосфатом и суперфосфатом с аммиачной селитрой.

2. Совместное внесение аммиачной селитры, суперфосфата и известкование на светло-серой лесной почве малоэффективно, так как не обеспечивает получения большей прибавки урожая, чем на делянках, получивших одну аммиачную селитру. На почвах более плодородных, темно-серой и дерново-карбонатной, применение одного суперфосфата дает прибавку урожая, но все же более благоприятное влияние на урожай на этих почвах оказывает комбинированное применение удобрений.

3. При помощи рациональных комбинаций отдельных видов удобрений возможно в специфических почвенно-климатических условиях Иркутской области воздействовать на развитие почвенной микрофлоры, ускоряя микробиологические процессы в весенний период, сдвигая периодичность в развитии отдельных физиологических групп микроорганизмов и изменяя физиологическую их активность.

Иркутский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
30/X 1958

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Р. Вильямс, Почвоведение, Сельхозгиз, М., 1947.
2. Н. А. Красильников, Микроорганизмы в плодородии почв. Изв. АН СССР, сер. биол., № 2, 1954.
3. А. В. Петербургский, Некоторые вопросы корневого питания растений. Почвоведение, № 8, 1954.
4. Ф. В. Турчин, Питание растений и применение удобрений. Почвоведение, № 6, 1954.
5. Н. А. Красильников, Роль микроорганизмов в дополнительном питании растений. Успехи совр. биологии, т. XXXIII, № 3, 1952.
6. Е. Н. Мишустин, Почвенная микробиология и ее основные задачи. Тр. Ин-та микробиологии АН СССР, вып. 1, 1951.
7. Г. М. Шавловский, Участие микроорганизмов ризосферы в снабжении растений органическими соединениями серы. ДАН СССР, т. 91, 1953.
8. О. Г. Шульгина, К вопросу о микроскопическом изучении микробиологического населения. Тр. отдела с.-х. микробиологии, ГИОА, т. II, Л., 1927.
9. Методика микробиологических исследований почвы и корневой системы растений. Сб. трудов расширенного пленума секции удобрений ВАСХНИЛ, М., 1953.
10. Агрохимические методы исследования почв. Изд. АН СССР, М., 1954.

И. И. ГИТЕЛЬЗОН, И. А. ТЕРСКОВ

### ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КИСЛОТНОЙ СТОЙКОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ

#### Возрастная эволюция стойкости эритроцитов

Длительная жизнь эритроцита в периферической крови сопровождается изменениями его физико-химической структуры.

Возрастные и другие изменения ультраструктуры эритроцита обуславливают параллельные изменения его физиологического состояния и функциональной способности. В основе стойкости эритроцита лежит его физико-химическая структура, и поэтому через физико-химию стойкость может быть связана с состоянием эритроцита.

Изучение стойкости с этих позиций, в особенности при ее дифференциальном определении, приобретает интерес для физиологии. Особенно интересно установление связи стойкости эритроцита с возрастом и со степенью физиологической изношенности эритроцита в зависимости от условий, в которых он существовал. Однако использование стойкости как физиологического критерия затруднено тем, что конкретное физиологическое значение ее до сих пор неясно. Так, в литературе, несмотря на длительный срок изучения, остается неясным основной вопрос: увеличивается или уменьшается стойкость эритроцитов с возрастом. Одни исследователи считают, что с возрастом она повышается, другие, наоборот, полагают, что более стойки молодые эритроциты. Различные истолкования объясняются сложностью вопроса и методическими трудностями.

В любой момент жизни организма совокупность всех его эритроцитов представляет разнородную по возрасту и состоянию популяцию. Поэтому для выяснения вопроса о конкретной связи стойкости эритроцита с его состоянием необходимо эритроциты исследовать не в общей массе, а дифференцировать их по стойкости. Такую возможность предоставляет метод определения стойкости по эритрограммам [1]. Эритрограмма — это кривая процентного распределения эритроцитов по стойкости. Последняя измеряется при этом по длительности повреждающего воздействия — в минутах.

Проведенные нами исследования показали, что распределение эритроцитов по стойкости в нормальной крови человека и животных закономерно для каждого вида и хорошо повторяется у отдельных индивидуумов.

На рис. 1 представлены типичные эритрограммы для человека и кролика. Отметим, что распределение эритроцитов по стойкости как у человека, так и у кролика отличается от нормального гауссовского, т.е. не является случайным распределением вариаций стойкости эритроцитов. Закономерность специфического распределения эритроцитов по стойкости отражает его стабильность, поддерживаемую постоянным равно-

весием между кроветворной и кроверазрушающей функциями нормального организма.

Одним из путей выяснения физиологического значения стойкости может быть исследование нарушений сдвигов в равновесном распределении между эритроцитами различного качества. В эксперименте такой сдвиг можно направить в сторону как дегенерирующих, так и регенерирующих форм эритроцитов.

Для сдвига равновесия в сторону омоложения крови в опытах на кроликах проводилось острое массивное кровопускание, которое вызвало последующую регенерацию, естественно приводившую к пополнению крови молодыми эритроцитами.

В один прием из сонной артерии извлекалось 35—45 см<sup>3</sup> крови, что составляло 33—43% от всей массы крови (считая, что последняя составляет 5,5% от веса тела). В течение опыта с промежутками в один-два дня все подопытные и контрольные животные подвергались исследованию. У них фотоэлектрическим методом определялось число эритроцитов, количество гемоглобина и эритрограмма. Производился подсчет числа ретикулоцитов на мазках с бриллианткризильбляу.\*

Глубина энемизации и ход последующего восстановления характеризуются приводимыми на рис. 2 кривыми количества гемоглобина, числа эритроцитов и ретикулоцитов у одного из подопытных животных (П-1-1). На графике по оси абсцисс отложены дни от момента кровопускания, по оси ординат — гемоглобин и эритроциты в процентах от исходного уровня и ретикулоциты в промилле.

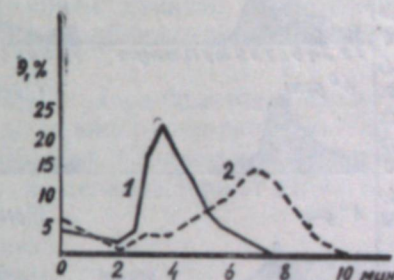


Рис. 1. Типичные эритрограммы для человека (1) и кролика (2).

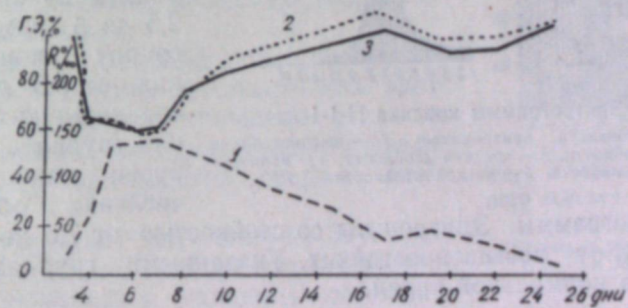


Рис. 2. Изменение числа ретикулоцитов (1), эритроцитов (2) и количества гемоглобина (3) у кролика П-1-1.

Как видно из графика, на 4-й день количество эритроцитов упало до 64% от исходного, а к 6-му дню — до 60%. С 6-го дня эритроциты нарастают вначале быстро, а затем медленно, их число достигает нормального уровня на 15—17-й день и в последующие дни колеблется около него.

Изменения количества гемоглобина следует параллельно изменениям числа эритроцитов. Это показывает, что в течение всего процесса эритроциты оставались нормокромными.

\* Кровопускание и определение ретикулоцитов выполнены С. Е. Мочкиной.

Ретикулоциты возрастают быстро и уже на 4-й день втрое превышают исходный уровень. На 5—7-й день количество их достигает максимума (130—150‰), т. е. в 7—8 раз превосходит исходное. Затем число ретикулоцитов постепенно снижается, приходя к норме на 19—21-й день.

У других подопытных животных изменения в основном совпадали по срокам. Перед кровопусканием у подопытных кроликов определялись фоновые эритрограммы. Эритрограммы контрольных кроликов почти не изменялись в продолжение опытов. У всех подопытных животных происходили закономерные и в общем однотипные изменения эритрограмм.

Рис. 3 показывает динамику эритрограмм у одного из подопытных животных (кролик П-1-1). Эритрограммы этой серии опытов записывались при температуре 20° С, с минутным интервалом между отсчетами.

Для удобства описания эритрограммы объединяются в условные группы стойкости. Эритроциты со стойкостью от 2,5 до 5 мин. составляют группу пониженостойких, от 5,5 до 7 мин. — среднестойких. Последняя группа в нормальной крови наиболее многочисленна и образует максимум эритрограммы. Эритроциты со стойкостью от 7,5 до 10 мин. составляют группу повышеностойких. Указанными группами исчерпывается состав нормальной крови.

При выходе системы из равновесного состояния могут появляться эритроциты, стойкость которых выходит за пределы нормального для данного вида животных диапазона. Эритроциты со стойкостью, большей 10 мин., объединяются в группу высокостойких.

При появлении эритроцитов со стойкостью, меньшей 2 мин., они попадают в группу низкостойких. Необходимо отметить, что при количественном расчете эта группа не входит в 100%, так как в норме крайний левый конец эритрограммы отражает не распад эритроцитов, а их предгемолитическую сферуляцию. Появление эритроцитов столь малой стойкости определяется по превышению этой области эритрограммы над нормальным уровнем сферуляционных изменений, который сам имеет значительные колебания. Поэтому низкостойкие эритроциты не поддаются вполне строгому количественному учету и рассчитываются сверх 100%.

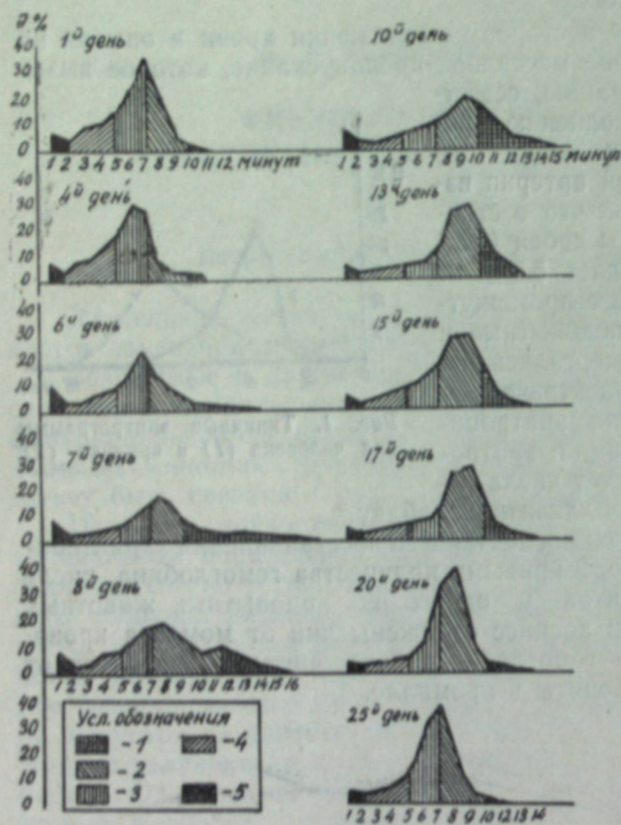


Рис. 3. Эритрограммы кролика П-1-1.

1—3 — группы стойкости эритроцитов: 1 — высокостойкие, 2 — повышенной стойкости, 3 — средней стойкости, 4 — пониженной стойкости, 5 — низкой стойкости.

Уже на 2-й день после кровопускания эритрограмма отличается от исходной, в дальнейшем изменения нарастают. Основное в этих изменениях заключается в появлении высокостойких эритроцитов. На 4-й день это очень небольшая группа со стойкостью 10,5—11 мин., к 6-му дню группа увеличивается за счет появления все более и более стойких эритроцитов, вплоть до стойкости 12—15 мин. В течение следующего, 7-го дня продолжается крутое нарастание группы высокостойких эритроцитов. Одновременно эритрограмма значительно удлиняется за счет появления в периферической крови еще более стойких (до 19 мин.) эритроцитов. Этот день является кульминационным пунктом в изменении эритрограмм. Затем начинается постепенное приближение эритрограммы к нормальной форме.

На 8—10-й день группа высокостойких укорачивается и включает в себя лишь эритроциты со стойкостью до 14 мин., исчезают эритроциты с наиболее высокой стойкостью — 15—19 мин. Создается впечатление, что эритроциты, входящие в эту группу, постепенно теряют стойкость и в связи с этим перемещаются по эритрограмме влево, приближаясь к существующей в нормальных условиях группе повышеностойких и, видимо, пополняя ее.

На эритрограммах, полученных на 13—15-й день, процесс нарастания группы повышеностойких и одновременного уменьшения группы высокостойких эритроцитов еще более заметен. Из повышеностойких сформировался новый максимум. Отметим, что группа среднестойких, составлявшая максимум на исходной эритрограмме, постепенно уменьшается. Одновременно уменьшается количество низко- и пониженостойких эритроцитов, несколько возрасшее в первые 4 дня.

В период с 17 по 20-й день продолжается обеднение группы высокостойких эритроцитов и начинается уменьшение числа повышеностойких при одновременном увеличении числа эритроцитов средней стойкости.

Эритрограмма, полученная на 25-й день, показывает возврат в распределении эритроцитов по стойкости к исходному состоянию.

Таким образом, при рассмотрении эритрограмм выявляется закономерный характер изменения качественного состава эритроцитов в процессе регенерации.

Для того, чтобы сопоставить изменение распределения эритроцитов по группам стойкости с изменением их общего количества в течение опыта, приводим соответствующую столбиковую диаграмму (рис. 4). Высота каждого столбика этой диаграммы показывает общее число эритроцитов в момент анализа, в процентах от исходного. Линия, соединяющая вершины столбиков, отражает изменение числа эритроцитов в течение опыта.

Штриховка соответствует проценту эритроцитов в каждой группе стойкости, т. е. характеризует качественный состав крови на данный день. По диаграмме более наглядно можно представить основные этапы количественных переходов между группами различной стойкости.

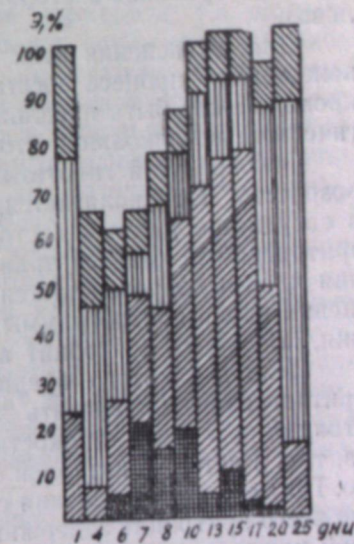


Рис. 4. Изменения качественного состава красной крови у кролика П-1-1.

(Условные обозначения те же, что и на рис. 3.)

В первые два дня после кровопускания, когда регенерация еще не началась, общее число эритроцитов падает за счет довольно равномерного сокращения всех групп, так что количественное соотношение между ними заметно не нарушается.

Наступающее в дальнейшем восстановление количества эритроцитов сопровождается глубокими изменениями их качественного состава. Это выражается в возникновении большой группы высокостойких эритроцитов и продолжающейся убыли средне-, понижено- и низкостойкой групп эритроцитов.

На 13-й день общее число эритроцитов возвращается к исходному уровню, но качественный их состав остается резко отличным от первоначального. Подавляющее большинство (70%) составляют повышенностойкие эритроциты. В исходной крови их было 22%.

Позднее общее число эритроцитов почти не менялось, а качественный состав начал постепенно нормализоваться. Особенно характерно то, что нормализация наступает не одновременно во всех группах: этот процесс как бы перемещается, начавшись в области наивысшей стойкости и распространяясь в сторону убывания (по эритрограмме — справа налево).

Для объяснения этих закономерных изменений стойкости, сопровождающих процесс восстановления равновесного состояния системы крови, может быть предложена следующая рабочая гипотеза физиологического истолкования стойкости эритроцитов.

Основой этой гипотезы является связь стойкости эритроцита с его возрастом. Предполагается, что эритроцит выходит из костного мозга в сосудистое русло в состоянии наибольшей стойкости и занимает на эритрограмме крайнее правое положение. Процесс созревания и старения клетки сопровождается постепенным падением стойкости (перемещение вдоль эритрограммы влево), вплоть до минимального ее значения, после чего эритроцит выбывает из кровообращения.

Исходя из этого предположения, можно по форме нормальной эритрограммы определить длительность прохождения эритроцитом состояний различной стойкости. В первые дни, по выходе из костного мозга, т. е. в ретикулоцитарной фазе, стойкость эритроцита снижается быстро. По мере его созревания скорость снижения стойкости убывает. Дольше всего эритроцит задерживается в состоянии стойкости, соответствующей нормальному положению максимума эритрограммы. По-видимому, такая стойкость присуща эритроциту в период его полной зрелости. Просуществовав некоторое время в этом состоянии, эритроцит начинает быстро терять стойкость. Вступив в эту фазу, он все быстрее приближается к наименьшей стойкости и, наконец, гибнет в этом состоянии.

Соответственно высказанному предположению распределение эритроцитов по стойкости можно толковать как распределение их по возрастному составу. Отсюда группы, составляющие нормальную эритрограмму, могут быть представлены как возрастные.

Группа повышенной стойкости соответствует молодым эритроцитам, включая небольшое число ретикулоцитов, присутствующих в нормальной крови. Группа средней стойкости представляет эритроциты зрелого возраста, группа пониженной стойкости состоит из стареющих эритроцитов, и, наконец, группу низкой стойкости составляют одряхлевшие эритроциты, находящиеся накануне гибели.

Ход изменений качественного состава красной крови при постгеморрагической анемии подтверждает высказанную гипотезу.

Из сопоставления изменений числа ретикулоцитов и числа высоко-

стойких эритроцитов видно, что эти два показателя изменяются в процессе регенерации сопряженно. Это позволяет связать появление группы высокостойких эритроцитов с ретикулоцитами.

Эритрограммы с 6 по 20-й день показывают, что ретикулоциты, попадающие в сосудистое русло при усиленной регенерации, нельзя приравнивать к ретикулоцитам нормальной крови. Наличие высокостойких эритроцитов только на эритрограммах периода усиленной регенерации показывает, что в это время из костного мозга в кровь попадают ретикулоциты, менее созревшие, чем при нормальном уровне эритропоеза. Чем выше напряженность регенерации, тем менее зрелые формы выходят в кровь. Это видно на эритрограмме 7-го дня, полученной в момент максимального ретикулоцитоза и растянувшейся до стойкости в 19 мин. Из сравнения эритрограмм 7 и 8-го дней видно, что очень молодые ретикулоциты, быстро дозревая в периферическом русле, за сутки значительно сместились по эритрограмме влево и образовали максимум на 11-й минуте стойкости.

Проследивая день за днем дальнейшие изменения эритрограмм, можно установить, что не только созревание нормоцита, т. е. момент потери им нитчатой субстанции, сопровождается понижением стойкости, но и вся дальнейшая жизнь эритроцита, не отражаемая морфологическими изменениями, связана с процессом снижения стойкости. Это можно видеть из того, что на фоне затухания вспышки ретикулоцитоза и уменьшения группы высокостойких эритроцитов начинает пополняться соседняя с нею группа повышенностойких. Следовательно, эритроциты, постепенно созревая, как бы перетекают в эту группу.

С 17 по 20-й день поток созревающих эритроцитов докатывается до средней группы стойкости и начинает пополнять ее.

К 25-му дню большая часть эритроцитов, возникших при вспышке регенерации, достигает состояния зрелости и составляет среднюю группу стойкости (71%). Головная часть потока к этому времени уже пополняет группу пониженностойких и даже доходит до группы низкостойких. Таким образом восстанавливается качественный состав красной крови, который далее поддерживается наступившим нормальным равновесием уровней продуцирования и расхода.

Из сказанного следует, что представление о потоке эритроцитов, возникающих в состоянии наивысшей стойкости и перемещающихся по мере созревания вдоль эритрограммы, позволяет предложить удовлетворительное объяснение экспериментальным данным, полученным в опыте.

Связывая стойкость эритроцитов с возрастом, необходимо отметить, что эта связь не является жесткой. На стойкость может влиять не только календарный срок жизни эритроцита, но и условия, в которых он возник и существует в русле. Стойкость определяется совокупностью всех этих фактов. Поэтому правильнее говорить о возрасте не в абсолютном календарном, а в физиологическом смысле, подразумевая под ним степень зрелости или изнашивания эритроцита. При нормальном функционировании организма календарный и физиологический сроки жизни эритроцита адекватны. При постгеморрагической анемии регенерация идет без интоксикации или каких-либо других грубых повреждающих воздействий на кровь, если не считать возбуждения ретикулоэндотелия. Поэтому при этой анемии не следовало ожидать резкого разрыва между календарным и физиологическим возрастом.

При других патологических состояниях организма (интоксикациях, сдвигах в физико-химии и т. д.) возможны резкие несоответствия между календарной длительностью жизни эритроцита и его физиологическим возрастом.

Для уточнения вопроса о связи возраста со стойкостью необходимо было исследовать эритрограммы, полученные в условиях такого расхождения. Это и выполнено в эксперименте.

Как известно, массивная дегенерация эритроцита в русле получается при свинцовых отравлениях. В опыте на кроликах введением под кожу 5% раствора уксуснокислого свинца в количестве 2 см<sup>3</sup> через 1—2 дня вызывалась свинцовая анемия. Суммарная доза на 1 кг веса животных составила 0,8 г. В процессе опыта исследовались те же показатели крови, что и в предыдущем эксперименте.

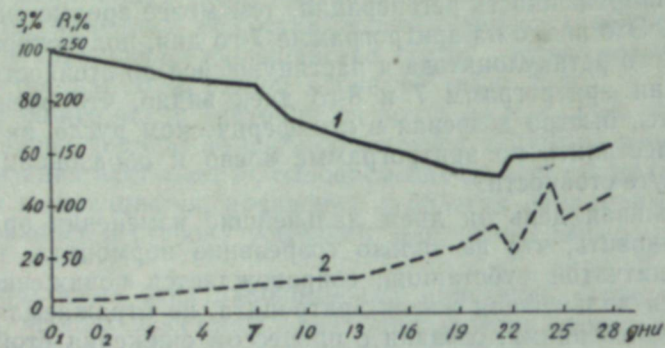


Рис. 5. Изменение числа эритроцитов (1) и ретикулоцитов (2) у кролика С-1-3.

У всех подопытных животных развилась свинцовая интоксикация с выраженной анемией, закончившейся во всех случаях летально на 36—38-е сутки. Развитие анемии может быть проследжено по рис. 5. Из кривой изменения числа эритроцитов видно, что в течение 12—15 дней число эритроцитов незначительно падало или сохранялось на прежнем уровне. Затем началось крутое падение, длившееся до 26-го дня. В оставшиеся дни, вплоть до последнего дня жизни, количество эритроцитов незначительно возрастало.

В процессе развития интоксикации наблюдались закономерные и в общем однотипные для всех подопытных животных изменения эритрограмм. На рис. 6 представлен ряд эритрограмм для кролика С-1-3. Эта серия эритрограмм выполнена по стандартной методике, при 24°C, с 0,5-минутным интервалом между измерениями. Соответственно этому сдвинуты и границы групп стойкости. Характерной чертой изменения эритрограмм при свинцовой интоксикации является смещение их влево, т. е. переход большей части эритроцитов в группы пониженной и низкой стойкости. Количественно этот процесс иллюстрируется столбиковой диаграммой на рис. 7.

В первый период (до 19-го дня) наблюдается нарастание группы пониженностойких эритроцитов. Позже эритроциты, резко потеряв стойкость, массами перемещаются в группу низкостойких и постепенно элиминируются из русла.

Отмеченные изменения крови соответствуют ненормально быстрому физиологическому старению основной массы эритроцитов. Следовательно, стойкость, как показывает этот опыт, отражает не календарный, а физиологический возраст эритроцитов.

Последний этап развития свинцовой анемии сопровождается вспышкой гемопоеза. Это видно из некоторого увеличения числа эритроцитов и крутого нарастания числа ретикулоцитов. Одновременно с ростом ретикулоцитов эритрограмма растягивается вправо, образуя группу высо-

костойких эритроцитов, аналогичную высокостойкой группе при постгеморрагической анемии. Это еще раз подтверждает правильность представления о высокостойких эритроцитах как о самых молодых клетках красной крови в сосудистом русле.

Таким образом, анализ динамики эритрограмм при исследованных экспериментальных анемиях позволяет сделать заключение, что в течение жизни

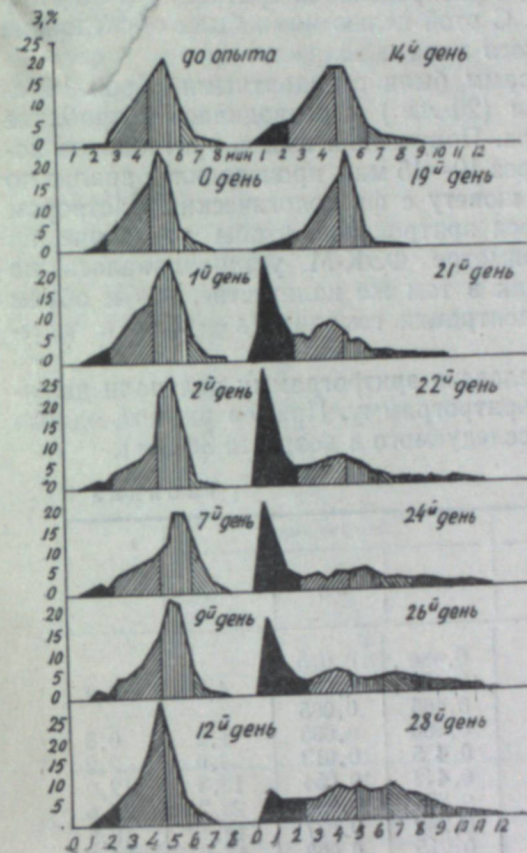


Рис. 6. Эритрограммы кролика С-1-3. (Условные обозначения те же, что и на рис. 3.)

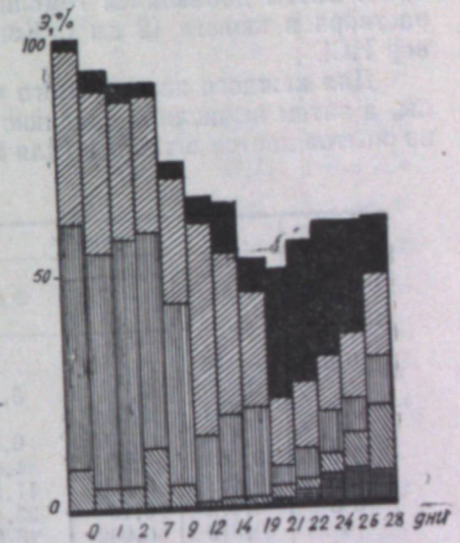


Рис. 7. Изменения качественного состава красной крови у кролика С-1-3. (Условные обозначения те же, что и на рис. 3.)

в сосудистом русле стойкость эритроцита постепенно меняется от наиболее высокой до низкой.

Распределение по стойкости, даваемое эритрограммой, коррелирует с возрастным составом клеток крови. При этом отражается не абсолютный срок жизни клеток, а физиологический возраст, соответствующий степени их зрелости и изношенности. Это позволяет считать стойкость эритроцита физиологически важным показателем, заслуживающим специального исследования в условиях нормы и патологии.

#### Распределение эритроцитов по стойкости в крови человека

Нами было показано [1—2], что получение эритрограмм дает возможность следить за изменениями качественного состава красной крови, определять уровень кроветворения и кроверазрушения, а также дифференцировать эритроциты по их физиологическому возрасту.

Кислотные эритрограммы, полученные при стабильных условиях (постоянная температура, постоянное количество вводимой крови, фиксированная концентрация гемолитика и др.), хорошо воспроизводимы.

Чтобы иметь возможность судить о сдвигах в распределении эритроцитов по стойкости в случаях патологии, необходимо установить

нормальный вид эритрограммы для крови здоровых людей и найти пределы физиологических колебаний в распределении эритроцитов по стойкости при нормальных условиях. С этой целью нами была обследована группа здоровых людей различного пола и возраста.

Условия получения эритрограмм были стандартными. Кровь бралась из пальца капилляром Сали (20 мм<sup>3</sup>) и разводилась в пробирке с 2 см<sup>3</sup> физиологического раствора. Полученная взвесь эритроцитов помещалась в термостат (24°C). Через 10—15 мин. производился анализ по описанной ранее методике [I]. В кювету с физиологическим раствором вводилось такое количество взвеси эритроцитов, чтобы показание по шкале экстинкции на фотоколориметре ФЭК-М устанавливалось на 0,700. Затем добавлялся гемолитик в том же количестве, что и объем раствора в кювете (2 см<sup>3</sup>). Концентрация гемолитика — 0,004 н раствор HCl.

Для каждого исследуемого человека эритрограмму получали дважды, а затем вычисляли среднюю эритрограмму. Пример расчета одного из опытов дается в табл. 1 (для исследуемого в возрасте 36 лет).

Таблица 1

№ минуты гемолита	1-е измерение			2-е измерение			Эср. %
	E	ΔE	Э, %	E	ΔE	Э, %	
0,5	0,485	0,006		0,480	0,010		
1	0,479	0,007	3,5	0,470	0,005	4,7	4,1
1,5	0,472	0,002		0,465	0,005		
2	0,470	0,002	0,3	0,460	0,005	1,2	0,8
2,5	0,468	0,006	1,4	0,455	0,013	3,0	2,2
3	0,462	0,050	11,5	0,442	0,054	12,5	12,0
3,5	0,412	0,100	23,0	0,388	0,096	22,2	22,6
4	0,312	0,082	18,9	0,292	0,077	18,1	18,5
4,5	0,230	0,065	15,0	0,215	0,063	14,8	14,9
5	0,165	0,050	11,5	0,152	0,043	10,1	10,8
5,5	0,115	0,033	7,7	0,109	0,032	7,5	7,6
6	0,082	0,024	5,5	0,077	0,021	4,9	5,2
6,5	0,058	0,011	2,5	0,056	0,013	3,1	2,8
7	0,047	0,007	1,6	0,043	0,006	1,2	1,4
7,5	0,040	0,003	0,7	0,037	0,005	1,2	1,0
8	0,037	0,001	0,2	0,032	0,001	0,2	0,2
8,5	0,036	0,000	0,0	0,031	0,000	0,0	0,0
Сумма		0,434	100,0		0,429	100,0	100,0

Среднее распределение эритроцитов по группам стойкости при 24°C для группы мужчин (20 чел.) в возрасте от 18 до 50 лет и группы женщин (20 чел.) в возрасте 17—27 лет показано в табл. 2.

Таблица 2

Показатели	Группы стойкости (минуты гемолита)												
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Средний % эритроцитов у мужчин	1,1	4,2	15,7	22,3	18,2	13,8	10,8	6,8	3,9	2,0	0,9	0,3	0,0
Среднеквадратичное отклонение	0,3	1,7	3,0	0,8	0,5	1,3	1,3	0,9	0,8	0,8	0,5		
Средний % эритроцитов у женщин	1,2	3,8	14,4	22,0	18,5	13,7	10,0	6,9	4,5	3,0	1,4	0,7	0,3
Среднеквадратичное отклонение	0,3	1,2	3,0	2,1	1,3	1,0	0,7	1,4	1,7	1,5	0,9	0,5	

Средняя абсолютная ошибка для группы мужчин составляет  $\pm 1,1\%$ , для группы женщин  $\pm 1,6\%$ . Разброс кривых для группы женщин, следовательно, несколько больше, чем для группы мужчин (рис. 8). В общем же эритрограммы для мужчин и женщин совпадают. Характерное различие заметно лишь на правой ветви эритрограммы: эритроцитов высокой стойкости у женщин в среднем явно больше, чем у мужчин.

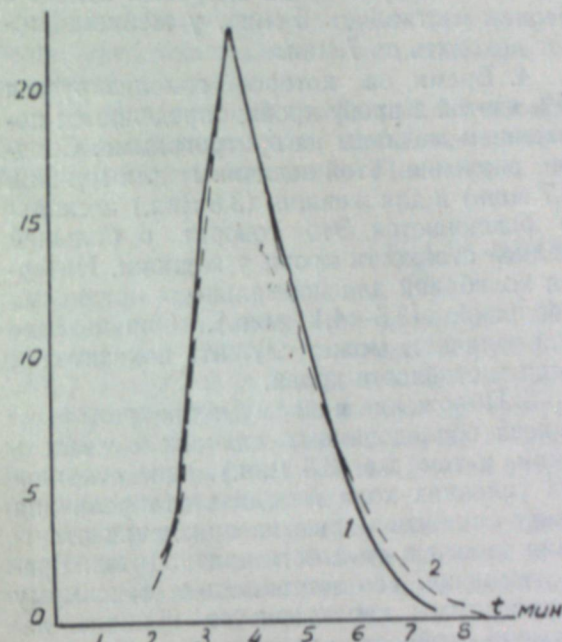


Рис. 8. Осредненные эритрограммы для группы мужчин (1) и группы женщин (2).

Таблица 3

Группа стойкости	Э, %	Вероятное отклонение
2	1,2	$\pm 0,3$
2,5	3,8	$\pm 1,7$
3	15,0	$\pm 3,0$
3,5	22,1	$\pm 1,5$
4	18,4	$\pm 1,8$
4,5	13,8	$\pm 1,3$
5	10,4	$\pm 0,9$
5,5	6,8	$\pm 1,1$
6	4,2	$\pm 1,2$
6,5	2,5	$\pm 1,2$
7	1,2	$\pm 0,7$
7,5	0,5	$\pm 0,7$
8	0,2	$\pm 0,5$

Количественные данные средней эритрограммы для групп мужчин и женщин с пределами вероятных отклонений приводятся в табл. 3. Наибольшие отклонения приходятся на группу стойкости 2,5; 3 и 3,5 мин.

Отклонения от средних значений, как это видно из графика и таблиц, не очень велики, и можно считать, что эритрограмма здорового человека весьма стабильна. Полученный результат указывает также на удовлетворительную точность измерений.

В сводной табл. 4 представлены средние значения основных характеристик эритрограмм мужчин и женщин.

Рассматривая последовательно графы табл. 4, можно отметить следующее:

1. При стабильных условиях получения эритрограмм начало гемолита во всех случаях у здоровых мужчин и женщин относится к 2-й минуте с момента введения гемолитика. Стабильность точки начала гемолита показывает, что в крови нормальных людей наиболее малостойкие эритроциты имеют примерно одинаковую стойкость, изменения которой в пределах принятых интервалов отсчета не обнаруживаются. Иными словами, существует нижний порог стойкости для эритроцитов нормальной крови. Эритроциты с химической стойкостью ниже пороговой в русле крови здорового человека в заметных количествах не встречаются.

2. Время окончания гемолита варьирует у разных лиц в пределах от 7,0 до 8,5 мин. Среднее время окончания гемолита — 8 мин. — одинаково для мужчин и женщин. Однако в крови женщин встречаются эри-

Таблица 4

Показатели	Начало гемол. мин.	Конец гемол. мин.	Ширина интервала, мин.	Точка 5% гемол., мин.	Полож. и мин. и макс. мин.	Высота максимума, %	Иск. значение экстинкции, $E_0$	Ковечное значение экстинкции, $E_k$	Начальное значение экстинкции, $E_{нач}$	Предгемолитические изменения экстинкции, %
У мужчин: среднее значение размах колебаний	2,0	8,0	6,0	3,7	3,5	22,3	0,471	0,033	0,458	3,4
		7,0-8,5	5,5-6,5	3,5-3,9		20,3-24,4	0,450-0,490	0,030-0,036	0,427-0,472	2,2-4,3
У женщин: среднее значение размах колебаний	2,0	8,0	6,0	3,8	3,5	22,0	0,479	0,034	0,456	2,9
		7,0-9,0	5,5-7,0	3,5-4,1		19,3-25,0	0,458-0,490	0,031-0,038	0,454-0,476	1,1-5,1

троциты со стойкостью до 9 мин. Следовательно, верхний порог стойкости эритроцитов для крови здорового человека варьирует в довольно узком интервале.

3. Разность между временем окончания и временем начала гемолита (ширина интервала гемолита) в крови здоровых людей в среднем составляет 6 мин., у женщин может доходить до 7 мин.

4. Время, за которое гемолитизируется 50% взятой в пробу крови, определяется положением медианы на эритрограмме. Средние значения этой величины для мужчин (3,7 мин.) и для женщин (3,8 мин.) несколько различаются. Это говорит о большей средней стойкости крови у женщин. Интервал колебаний для нормального организма этой величины может служить показателем средней стойкости крови.

5. Положение максимума эритрограммы во всех обследованных случаях оказалось одним и тем же (3,5 мин.). При стабильных условиях хода гемолита эта величина может служить одним из признаков отсутствия сдвига в стойкости эритроцитов. Время гемолита, соответствующее максимуму эритрограммы, характеризует наиболее вероятную стойкость эритроцитов. Совпадение значений наиболее вероятной стойкости эритроцитов у многих исследованных здоровых людей, очевидно, не является случайным.

6. Средняя высота максимума эритрограммы для мужчин и женщин почти одинакова (22,0 и 22,3). Вариации в его высоте для женщин больше, чем для мужчин. Это указывает на большую лабильность системы крови у женщин, что подтверждается и размером отклонений других показателей.

7. Величина исходного значения экстинкции определяется количеством крови, залитой перед анализом в кювету. Колебания этой величины характеризуют точность дозировки крови, взятой для анализа.

8. Значение экстинкции по окончании процесса гемолита определяется поглощением света гематином, образовавшимся под действием кислоты, и рассеянием света стромой эритроцитов. На точность определения этой величины влияет степень идентичности кювет, точность установки гальванометра на нуль, чувствительность гальванометра и другие причины.

9. Разность между экстинкцией в начале гемолита ( $E_{нач}$ ) и экстинкцией в конце гемолита ( $E_k$ ), т. е.  $E_{нач} - E_k$ , служит основой для расчета процента парциального гемолита, который вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta E_i}{E_{нач} - E_k} \cdot 100 = \% \Delta i.$$

Вычисление распределения эритроцитов по стойкости в процентах позволяет сопоставлять результаты при различных количествах крови, вносимой в кювету.

10. В последней графе табл. 4 вычислен показатель сфероцитоза, который характеризует изменение оптических свойств эритроцитов в предгемолитном состоянии. Показатель сфероцитоза вычислен по формуле:

$$\frac{E_0 - E_{нач}}{E_0} \cdot 100 \%$$

Среднее значение этой величины для мужчин (3,4%) больше, чем для женщин (2,9%), но пределы колебаний для женщин (от 1,1 до 5,1%) значительно шире, чем для мужчин (2,2-4,3%).

Закономерной зависимости эритрограммы от возраста установить не удалось. В описываемой серии анализов среди обследованных лиц не было детей и престарелых. В этих возрастах возможны значительные отклонения эритрограмм.

Распределение эритроцитов по стойкости у здоровых людей асимметрично. Расстояние по оси абсцисс от начала гемолита ( $H$ ) до максимума ( $M$ ) не равно расстоянию от максимума до конца гемолита ( $K$ ):  $M - H = 3,5 - 2,0 = 1,5$ ;  $K - M = 8,0 - 3,5 = 4,5$ . В простейшем случае эту асимметричность можно характеризовать отношением

$$\frac{K - M}{M - H} = \frac{4,5}{1,5} = 3.$$

Величина  $\frac{K - M}{M - H}$  варьирует у мужчин от 2,7 до 3,3, у женщин —

2,7 до 3,7. Общий вид эритрограмм по оси абсцисс можно оценивать по величине среднего времени гемолита  $t_{cp} = \frac{K + H}{2}$ . Среднее время гемолита при 24° равно 5 мин. Следует учесть, что среднее время гемолита не равно точке 50% гемолита ( $t_{50\%} = 3,7 - 3,8$  мин). Это объясняется асимметричностью эритрограммы.

В случаях патологии отклонение от нормальной эритрограммы удобно оценивать по разности между распределением эритроцитов по стойкости в норме и в исследуемом случае.

В качестве примера приводим сравнение данных эритрограммы больной Ж. (диагноз: бирмеровская анемия) и средней эритрограммы для здоровых людей (табл. 5, рис. 9). Обе эритрограммы получены при стандартных условиях.

Из сравнения эритрограмм видно, что имеющиеся отклонения значительно превосходят величину случайных отклонений для крови здорового человека. Это говорит о нарушении нормального распределения эритроцитов по стойкости. На рис. 9 представлена кривая отклонений групповой стойкости эритроцитов у больной Ж.

Несимметричность кривой может быть также характеризована отношением количества эритроцитов, составляющих правую ветвь эритро-

Таблица 5

Минуты гемолиза	% Э больной Ж.	% Э норм. крови	Разница
2	0	1,2	-1,2
2,5	3,5	3,8	-0,3
3	4,5	15,0	-11,5
3,5	14,6	11,1	-3,5
4	12,9	18,4	-5,5
4,5	11,4	13,8	-2,4
5	9,9	10,4	-0,5
5,5	8,6	6,8	+1,8
6	6,9	4,2	+2,7
6,5	6,2	2,5	+3,7
7	1,7	1,2	+0,5
7,5	4,5	1,5	+4,0
8	3,2	0,2	+3,0
8,5	5,2	0	+5,2
9	1,5	0	+1,5
9,5	2,2	0	+2,2
10	1,5	0	+1,5
10,5	0,5	0	+0,5
11	0,5	0	+0,5

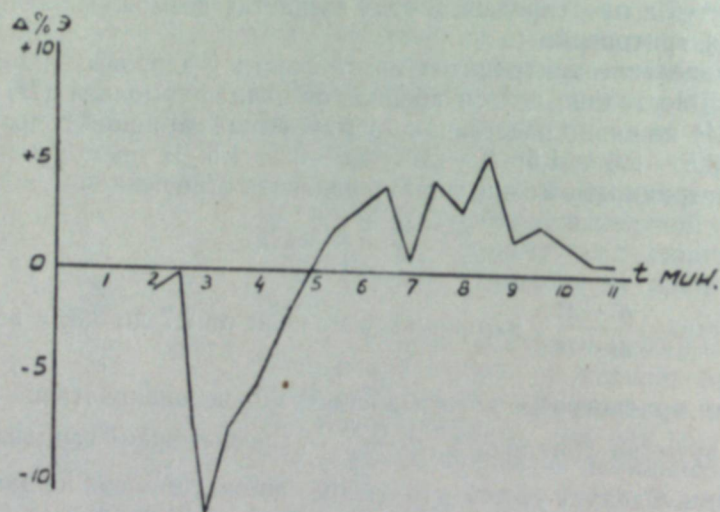


Рис. 9. Кривая отклонения от нормы групповой стойкости эритроцитов у больной Ж. (бирмеровская анемия).

граммы, к количеству эритроцитов левой ветви, т. е. может определяться по формуле:

$$\frac{100 - \Sigma\% \mathcal{E}_{\max}}{\Sigma\% \mathcal{E}_{\max}}$$

Для нормальной крови  $\Sigma\% \mathcal{E}_{\max}$  равно 42,1, следовательно,

$$\frac{100 - \Sigma\% \mathcal{E}_{\max}}{\Sigma\% \mathcal{E}_{\max}} = \frac{57,9}{42,1} = 1,37.$$

Для крови больной Ж.  $\Sigma\% \mathcal{E}_{\max} = 22,6$ . Показатель несимметричности будет равен 3,43.

Проведенные исследования показывают, что в норме распределение эритроцитов по стойкости стабильно и имеет вид характерной од-

новершинной кривой. Пределы наблюдаемых отклонений сравнительно невелики.

Постоянство распределения эритроцитов по стойкости в крови здорового человека отражает динамически равновесное состояние системы крови. Наблюдаемые в патологии изменения эритрограмм свидетельствуют о выходе системы крови из равновесного состояния. Основываясь на этом, можно использовать эритрограммы для характеристики состава красной крови.

Институт физики  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
16/X 1958

## ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Терсков, И. И. Гительзон, Метод химических (кислотных) эритрограмм. Биофизика, № 2, 1957.
2. И. И. Гительзон, И. А. Терсков, Фотоэлектрическое исследование стойкости эритроцитов и некоторые результаты его применения. Физиологический журнал СССР, т. 42, № 5, 1956.
3. И. А. Терсков, И. И. Гительзон, К вопросу о динамике изменений качественного состава красной крови при остром лучевом поражении. Биофизика, № 4, 1957.



## ХРОНИКА

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ПЕРСПЕКТИВАМ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ НОВОСИБИРСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА

23—25 декабря 1958 г. Новосибирский совнархоз совместно с обкомом КПСС, облисполкомом, горсоветом, Сибирским отделением Академии наук СССР, Новосибирским межобластным управлением торфяного фонда и НТО энергетической промышленности провел научно-техническое совещание по перспективам комплексного использования торфяных ресурсов Новосибирского экономического района. В работе совещания приняли участие представители ГИТК СССР и РСФСР, Госплана РСФСР, Главторффонда РСФСР, Энергетического института АН СССР и ряда других научных, проектных и производственных организаций.

На совещании было прочитано 12 специальных докладов о торфяных ресурсах Западной Сибири и перспективах их освоения, о возможностях промышленной добычи и комплексного использования торфа для нужд химической промышленности, энергетики, сельского хозяйства, строительной индустрии и т. д.

В ходе обсуждения докладов было отмечено, что Западная Сибирь является самым крупным торфяным районом СССР. Здесь на пространстве 40 млн. га сосредоточены торфяные месторождения с запасом 90 млрд. т торфа, что составляет 60% от общесоюзных его запасов.

Наличие крупных массивов и их благоприятное размещение позволяют организовать добычу только на первоочередных участках более 25 млн. т торфа в год.

Организация комплексного использования торфа позволит покрыть потребности промышленности и сельского хозяйства Новосибирского экономического района в ряде видов химического сырья, удобрений, обеспечить газификацию городов и получение значительного количества электроэнергии.

Совещание признало необходимым организовать в 1958—1965 гг. на базе Васюганского торфяного массива промышленную добычу торфа с комплексным использованием его для нужд промышленности, строительства, сельского хозяйства, а также для бытового потребления. При этом наиболее приемлемой для условий Новосибирской области признана разработанная ЭНИИом АН СССР схема энерготехнологического использования торфа с получением газа, химических продуктов и электроэнергии.

Первоочередная мощность Васюганского торфопредприятия определена в 4—6 млн. т фрезерного торфа в год. Переработка такого количества торфа обеспечит получение в год: стандартного газа — 400—500 млн. м<sup>3</sup>, химических продуктов — на 500—700 млн. руб., электроэнергии — до 0,5 млрд. квт-ч, торфяных удобрений и торфоподстилки — 300 тыс. т, торфоизоляционных плит — 3—5 млн. м<sup>2</sup> и т. д.

С целью быстрого освоения энерготехнологического метода использования торфа и получения данных для проектирования энергогазохимического комбината в Новосибирской области совещание решило:

1. Просить Совет Министров РСФСР обязать Свердловский совнархоз завершить в 1959 г. освоение опытной установки по энерготехнологическому использованию торфа на Свердловской ГЭС им. Калинина.

2. Просить Министерство электростанций СССР провести на установке ЭНИИа АН СССР в 1959 г. пробную переработку васюганского торфа.

3. Просить Президиум Сибирского отделения АН СССР значительно расширить и ускорить исследования по энерготехнологическому использованию топлива и решить вопрос о сооружении в 1959 г. в Новосибирске при СО АН СССР опытного полупромышленного стенда по энерготехнологическому использованию топлива, в первую очередь торфа. Просить Новосибирский совнархоз обеспечить сооружение стенда необходимыми ассигнованиями и оборудованием.

4. Рекомендовать Новосибирскому совнархозу совместно с СО АН СССР разработать и построить в 1959—1965 гг. опытную установку по термической обработке торфа с получением металлургического кокса, газа и химических продуктов.

5. Просить Министерство электростанций СССР осуществить проектирование сырь-

евой базы и энергогазохимического комбината в Новосибирской области, уточнив технико-экономические показатели.

Для быстрого решения химической части проблемы совещание решило:

1. Просить Комитет химии Совета Министров СССР поручить Новосибирскому филиалу НИИАП и ГИАП провести разработку схем получения аммиака, продуктов органического синтеза на базе газов термической переработки торфа.

2. Просить Президиум СО АН СССР, Министерство электростанций СССР и Торфяной институт МВО СССР включиться в исследования газообразных и жидких продуктов переработки торфа по методу ЭНИИа АН СССР и в разработку наиболее эффективных схем химического использования этих продуктов.

3. Просить Совет Министров БССР и Президиум АН БССР освоить в 1959 г. на опытном заводе производство монта-воска из торфа с выдачей показателей для проектирования.

Совещание рекомендовало Новосибирскому электротехническому институту продолжить исследовательские работы по скоростному обогащению торфа нефтяными отходами с одновременным получением газа и химических продуктов.

Учитывая высокую эффективность торфоаммиачных и торфоминеральных удобрений, особенно для имеющихся в Новосибирской области малогумусных оподзоленных и солончаковых почв, совещание признало необходимым:

1. Приступить с 1959 г. в Новосибирской области к организации промышленной и колхозно-совхозной заготовки торфа для приготовления преимущественно концентрированных торфяных удобрений. Просить Министерство сельского хозяйства РСФСР оказать в этом отношении методическую помощь.

2. Просить ВНИИТП и Гипроторф в 1959—1965 гг. разработать и внедрить технологические схемы и средства механизации промышленной добычи торфа, приготовления концентрированных торфяных удобрений и эффективные средства доставки их на поля.

3. Институту «Гипроторфразведка» Главторффонда РСФСР провести разведку мелких торфяных месторождений и составление проектов добычи торфа для сельского хозяйства на удобрение и подстилку.

Главторффонду РСФСР рекомендовано продолжить в 1959—1960 гг. работы по выявлению и всестороннему изучению торфяных залежей, особенно самых перспективных.

Совещание решило просить Новосибирский обком КПСС, облисполком и совнархоз создать Областной координационный Совет по добыче и комплексному использованию торфа. Координационному Совету рекомендовано определить очередность мероприятий, предусмотренных настоящими решениями, имея в виду проведение проектно-исследовательских работ в 1959—1960 гг. и начало строительства сырьевой базы с 1961 г.

С. И. Шабанов

## О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
		3	4
9	5 снизу	$= n\gamma' + \frac{\gamma''}{a^2} - \frac{\gamma'\gamma''}{c^2};$	$= n\gamma' + \frac{\gamma''}{a^2} - \frac{\gamma'\gamma''}{c^2};$
12	4 сверху	$\left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''}{a_3} \right) - \frac{c(a^2 + u_0)(c^2 + v) - a^2 b^2}{2u_0[(c^2 + u_0)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]}$	$\left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''}{a_3} \right) - \frac{c^2(a^2 + b^2 + v) - a^2 b^2}{2u_0[(c^2 + u_0)(c^2 + v) - (a^2 - c^2)(b^2 - c^2)]}$
13	15 »	$+ a_3 a_1 \left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''}{a_3} \right) -$	$+ a_1 a_2 \left( \frac{\gamma^2}{a_1} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''}{a_3} \right) -$
13	18 »	$- \mu a_1 a_2 a_3 \cdot \left( \frac{\gamma^2}{a_1^2} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''}{a_3} \right) = k',$	$- \mu a_1 a_2 a_3 \left( \frac{\gamma^2}{a_1^2} + \frac{\gamma'}{a_2} + \frac{\gamma''}{a_3} \right) = k',$
14	22 сверху	в любое выражение	любое выражение
20	21 »	B непосредственно	B <sub>K</sub> непосредственно
52	8 »	на угол и переместится	на угол φ и переместится
64	6 сверху	$\left( \frac{R_1^2 - r^2}{2n \frac{R_1}{r}} - r^2 \right)$	$\left( \frac{R_1^2 - r^2}{21n \frac{R_1}{r}} - r^2 \right)$
67	3 снизу	$\Lambda = \frac{-T_2^{\lambda_2}(\omega g - \frac{1}{3}T_1 C_2)}{T_2^{\lambda_2}(\omega g + T_1 C_1 - \frac{1}{3}T_2 C_2)}$	$\Lambda = \frac{-T_2^{\lambda_2}(\omega g - \frac{1}{3}T_2 C_2)}{T_1^{\lambda_1}(\omega g + T_1 C_1 - \frac{1}{3}T_2 C_2)}$

Технический редактор А. Ф. Мазурова. Художественный редактор А. А. Федяхметов.

МН 00221. Подписано к печати 14 июля 1959 г. Тираж 1200. Заказ № 7324. Формат бумаги 70×108/16=4,25 бум. л., 11,64 печ. л., + 3 вклейки, 13,0 изд. л.

Издательство Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, Советская 20. Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать еще не опубликованные результаты исследований по актуальным научным проблемам, полученные за последние два-три года.

2. Объем каждой статьи не должен превышать 1 авторского листа, включая библиографию и иллюстративный материал.

3. На публикацию материалов, представляемых в редакцию, требуется письменное разрешение руководства организации, на средства которой проводились работы, и соответствующая документация, удостоверяющая возможность печатания их в журнале.

4. Рукописи статей и иллюстративный материал к ним представляются в двух экземплярах. Рукопись должна быть четко перепечатана на машинке, через два интервала, на одной стороне листа, тщательно вычитана и подписана автором.

5. Корректурa дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректурa не высылается.

6. Формулы, латинские, греческие и т.п. выражения следует давать только в случаях необходимости, вписывая их на машинке или от руки (темными чернилами или тушью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении каждого знака.

Во избежание недоразумений нужно делать ясное различие между заглавными и строчными буквами в формулах, имеющими одинаковое начертание ( $V$  и  $v$ ,  $O$  и  $o$ ,  $W$  и  $w$ ,  $K$  и  $k$ ,  $P$  и  $p$ ,  $C$  и  $c$ ), подчеркивая заглавные буквы двумя черточками снизу ( $\underline{\underline{S}}$ ), а строчные — сверху ( $\overset{s}{}$ ).

7. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть сделаны с хорошего негатива, контрастной печатью. Штриховые же должны быть выполнены ровно наложенной тушью на кальке, допускается также плотная белая бумага.

Не рекомендуется рисунки и чертежи загромождать надписями, лучше детали рисунка занумеровать и дать расшифровку номеров в подрисовочной подписи.

Все иллюстрации к статье должны иметь сквозную нумерацию. Номера эти представляются простым карандашом на каждом рисунке или чертеже, а также в рукописи на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (включать иллюстрации в текст рукописи нельзя). Кроме того, на обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. В рукопись должна быть вложена опись иллюстраций (в 2 экземплярах) согласно их порядковой нумерации.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статей.

8. Библиографические списки: а) литература в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические данные приводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического перечня отделяются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, выпуск, издание, страницы, ставятся после сокращенного слова, например: т. III, вып. 7, изд. 2; г) в тексте ссылка на литературу, перечисленную в библиографическом списке, помещенном в конце статьи, делается по такой форме: «Павлов [10, 11] указывает...».

Числа 10, 11, взятые в квадратные скобки, показывают порядковые номера трудов в библиографическом списке.

### Схема перечня библиографических данных

Для книг: фамилия и инициалы автора, название книги, название издательства (Медгиз, Техиздат), место издания, год издания (слово «год» не ставится, например: 1956).

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала (альманаха, газеты), том или выпуск (т. III, вып. 7), номер, год.

Говоря о месте издания, слова «Москва» и «Ленинград» можно заменять начальными буквами.

Статьи направлять по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 428 — редакции журнала.

№	Положение	Единица измерения	Среднее значение
71	4 сверху	$\Delta N_i^2$	
73	Табл. 2, в головке	$C_p$ , кал/мол град	
73	Табл. 2, в головке	$C_T$ , кал/мол град	
74	20 снизу	$C_p^{73} = 62,91$	
77	6 сверху	$\Delta Z_{98}^{27}$	
80	Табл. 1, в головке (2 раза)	$CaO, 2$	
91	Табл. 2, в головке	$(C M^{-1})$	
103	8—7 снизу	пшеница, зернообовые	
109	Табл. 4, в головке	в тыс. на 1 поппы/ %	
109	Табл. 4, графа 4, 2 строка снизу		3,33
109	Табл. 4, графа 5, 2 строка снизу		4/43
114	Табл. 3, графа 6, 3 строка сверху		40,0

№	Положение	Единица измерения	Среднее значение
		$\Delta N_i^2$	
		$C_p$ , кал/моль град	
		$C_T$ , кал/моль град	
		$C_p^{73} = 62,91$	
		$\Delta Z_{298}^{27}$	
		$CaO$ св, 2	
		$\Delta v (C M^{-1})$	
		пшеница, зернообовые	
		в тыс. на 1 г поппы/ %	
			3,33
			4/44
			420,0

Цена 7 руб.