

17-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

10

1958

НОВОСИБИРСКОЕ КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

П-167/2

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

И. В. Калечиц, Чжен Лу-бинь, Сюй Чен-дун. О гидрирующей, изомеризующей и расщепляющей активности некоторых катализаторов деструктивной гидрогенизации	3
В. Л. Зязев, о. А. Есин. Вязкость плотность систем $V_2O_5-Fe_2O_3$ V_2O_5-CuO $V_2O_5-CaO-Fe_2O_3$	13
В. Н. Козлов, Б. И. Смоленский. Извлечение уксусной кислоты из водной фазы неводной фазой методом непрерывной противоточной экстракции	21
Д. И. Курбатов. Полярографические свойства титана в фосфорнокислых растворах	35

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

К. Ф. Войтковский. Определение осадок многолетнемерзлых грунтов при оттаивании их в условиях естественного залегания	40
А. Ф. Зильберборд. О возможности применения льдозакладки при разработке угольных месторождений, залегающих в многолетнемерзлых горных породах	47
В. В. Сороко. Экспериментальное исследование применения вибрации в рабочих органах погрузочных машин периодического действия	54
Н. С. Осташевская. Сырье для	65
Г. П. Алаев. Выданных углей	78
М. С. Шарловский. Реходной	88
Н. Г. Коломиец, cilis Мауг	96
Т. П. Некрасова. (сообщение)	07
Л. В. Попов. Оп	17
Н. М. Савельев, ков на кор	24
И. Ф. Беликов. П искусствен	29
Е. В. Полякова. Прибайкальская лампа	4
Г. Л. Тарасов. Ц	3
П. Т. Приходько,	1

П-19750
1958
№ 10
Известия
Сибирского отд.
АН СССР
Др.
12/18 Каринский

П-19750

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

10

03781 п

И. В. КАЛЕЧИЦ, ЧЖЕН ЛУ-БИНЬ, СЮЯ ЧЕН-ДУН

О ГИДРИРУЮЩЕЙ, ИЗОМЕРИЗУЮЩЕЙ И РАСЩЕПЛЯЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЕСТРУКТИВНОЙ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ

Процессы деструктивной гидрогенизации топлив могут играть большую роль в увеличении выходов ценных моторных топлив при нефтепереработке, а также при получении их из нефтяного сырья. Эффективность процессов деструктивной гидрогенизации может быть повышена подбором катализаторов с определенным сочетанием гидрирующей, изомеризующей и расщепляющей активности. В современных технологических процессах гидрогенизации часто бывает целесообразно создавать высокие скорости гидрирования неуглеводородных соединений и бициклической ароматики при минимальном превращении моноциклической ароматики, или высокие скорости расщепления без гидрирования ароматики, или гидрирование ароматики, в шестичленные нафтенy без их изомеризации в пятичленные (получение циклогексана — сырья для производства адипиновой кислоты), или, наконец, усиленную изомеризацию при переработке парафинистого сырья и т. д.

Для подбора катализаторов деструктивной гидрогенизации крайне важно иметь сравнительные данные о их гидрирующей, изомеризующей и расщепляющей активностях. Между тем, несмотря на то, что многие из катализаторов известны уже очень давно, оценки их активности проводились большей частью на разных видах сырья и с применением различной аппаратуры. Поэтому имеющиеся в литературе данные либо несравнимы между собой, либо противоречивы (подробнее об этом см. в [1]).

При этом следует подчеркнуть, что оценка катализаторов в опытах с технологическим сырьем в большинстве случаев не дает возможности охарактеризовать изомеризующую активность, вследствие чего данных о ней почти нет. В промышленной практике об изомеризующей активности часто судят по косвенным признакам: отношению изобутана и бутана в бутановой фракции [2]. Естественно, что такая оценка неточна, так как она зависит от химической природы сырья.

В последние годы опубликованы работы, в которых более систематически сравниваются различные катализаторы [3—6].

А. В. Лозовой, А. Б. Воль-Эпштейн и С. А. Сенявин [5] сравнили активность трех промышленных катализаторов (проточная установка, 50—200 атм, 350°С) в опытах гидрирования фенола, нафталина, тетралина и крекинг-керосина и показали, что они по гидрирующей активности образуют ряд $WS_2 - NiS - Al_2O_3 > WS_2 > WS_2 - \text{террана}$. Эти же авторы [6] опубликовали данные об относительной активности различных катализаторов, полученные в опытах гидрирования бензола и нафталина в автоклавах. По бензолу гидрирующая активность убывает в ряду $MoO_3 > MoS_3 > MoS_2 > WS_3 > WS_2 > CoS$, по нафталину — в ряду $MoS_3 > WS_3 > MoS_2 > MoO_3 > CoS > V_2S_3 > WS_2 > V_2O_5 > Cr_2O_3 > WO_3 > Fe > SnO_2 > Fe_2O_3 > NiS$ [5]. Эти данные противоречат данным

п 19750

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. КИРОВОГО СССР

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, д-р геол.-мин. наук М. М. Одинцов, канд. геол.-мин. наук Г. Л. Поспелов, д-р геол.-мин. наук И. С. Рожков, акад. С. Л. Соболев (главный редактор), д-р биол. наук К. А. Соболевская, акад. А. А. Трофимук.

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская 20, к. 428.

М. Пира [7] о примерно равной гидрирующей активности вольфрамовых и молибденовых катализаторов.

И. В. Калечиц с сотрудниками [8—10] сравнивали гидрирующую, изомеризующую и расщепляющую активность катализаторов по составу гидрогенизаторов бензола. В автоклавных опытах были определены следующие ряды катализаторов: по гидрирующей активности — $WS_2 - NiS - Al_2O_3 > WS_2 > MoS_3 > WS_2 - \text{террана} > Ni - Al_2O_3$, по изомеризующей активности — $WS_2 - \text{террана} > WS_2 > MoS_3 > Ni \cdot Al_2O_3 > WS_2 - NiS - Al_2O_3$ и по расщепляющей активности — $Ni - Al_2O_3 > WS_2 - \text{террана} > MoS_3 > WS_2 > WS_2 - NiS - Al_2O_3$.

Так как эти данные получены в автоклавных опытах (в ходе которых, как известно [1, 11], не достигается удовлетворительного контакта гидрируемого вещества и катализатора), представлялось целесообразным уточнить их путем получения показателей опытов в прочной системе и, кроме того, пополнить число изученных катализаторов некоторыми другими, применяемыми в процессах гидроочистки и нефтепереработки.

В результате проведенных нами опытов дается количественная характеристика гидрирующей, изомеризующей и расщепляющей активности семи наиболее распространенных в промышленной практике катализаторов, интерпретируются некоторые вопросы механизма гидрогенизации бензола, а также приводится пример практического использования результатов сравнения активностей катализаторов: гидрирование бензола в циклогексан без существенной изомеризации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Опыты деструктивной гидрогенизации бензола проводились в проточной микроустановке (рис. 1.) с реактором емкостью 15 мл. Схема

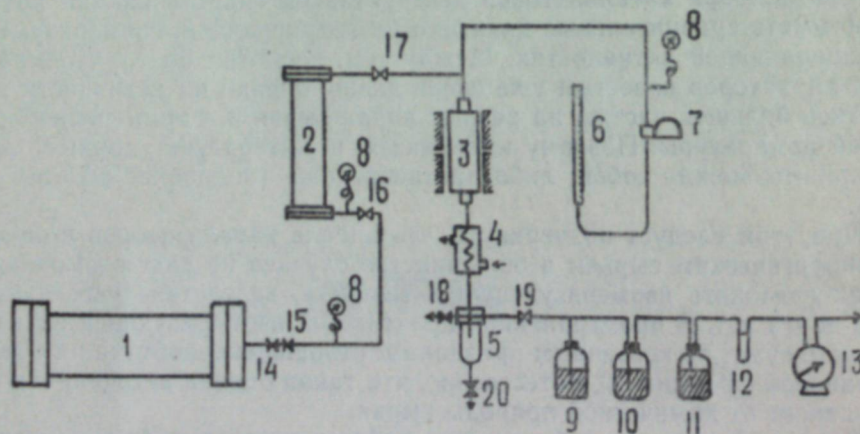


Рис. 1. Схема лабораторной проточной установки с реактором емкостью 15 мл.

1, 2 — буфера высокого давления, 3 — реактор, 4 — холодильник, 5 — отстойник, 6 — мерник для сырьев, 7 — жидкостный насос высокого давления, 8 — манометры, 9 — предохранительная склянка, 10 — барботер с кислотой, 11 — барботер со щелочью, 12 — реометр, 13 — газовые часы, 14, 15, 16 — вентили регулировки, 17 — вентиль, отсоединяющий буфера при загрузке, 18 — вентиль запасной, 19 — вентиль для выпуска газа, 20 — вентиль выпуска жидкости.

установки и методика проведения опытов описаны ранее [12]. Реактор термостатировался в солевой бане. Для опытов гидрирования циклогексана применялась аналогичная установка, в которой реактор нагревался электропечью. Чтобы избежать потерь легких продуктов при сливе гидрогенизатора, приемник соединялся с двумя ловушками, охлаждаемыми рассолом, и с адсорбером, наполненным активированным углем.

Бензол обычный очищался перекристаллизацией и характеризовался

следующими константами: температура начала кипения $78,8^\circ C$, $n_D^{20} = 1,5010 - 1,5011$. Циклогексан приготавливался гидрированием бензола, очищался от последнего хроматографическим методом и на колонке эффективностью 90 т. т. Его константы: т. кип. $80,7^\circ C$, $n_D^{20} = 1,4262 - 1,4263$.

Анализ состава гидрогенизаторов проводился по методике, сущность которой заключается в отделении продуктов расщепления отгонкой на колонке эффективностью 90 т. т. и рефрактометрическом анализе смеси бензола, циклогексана и метилциклопентана с использованием графиков, составленных по известным смесям чистых компонентов. В отдельных случаях бензол отделялся хроматографическим методом. Принятая методика позволила установить количество бензола, циклогексана, метилциклопентана и сумму жидких продуктов расщепления (гексаны, пентаны и циклопентан), обозначаемую далее $\Sigma_{C_6}^-$.

Катализаторы были получены готовыми в виде таблеток и хранились в атмосфере инертного газа. Перед загрузкой они дробились на гранулы размером 2—4 мм и разделялись на порции по 10 мл, каждая из которых хранилась в герметической ампуле.

Опыты проводились (кроме особо оговоренных ниже случаев) при температуре $420^\circ C$, рабочем давлении 200 атм, объемной скорости $3_{\text{час}}^{-1}$ и отношении объемов сырья и водорода 1 : 2000. Водород применялся электролитический. Для исследования отбирался гидрогенизатор тех часов пробега, когда наблюдалась стабильная активность катализатора, контролируемая по минимальной разнице показателей преломления почасовых проб гидрогенизатора.

В табл. 1 приводятся результаты опытов деструктивной гидрогенизации бензола, в табл. 2 — циклогексана.

Всего испытано 7 катализаторов, 3 из них были представлены несколькими образцами. Образцы катализаторов $WS_2 - NiS - Al_2O_3$ и $WS_2 - \text{террана}$ мало различаются между собой, но из трех образцов катализаторов WS_2 один (второй) обладал пониженной гидрирующей и изомеризующей активностью и, видимо, не являлся представительным; два других при небольшой разнице в гидрирующей активности значительно различались в изомеризующей. По-видимому, небольшие отклонения в методике приготовления катализаторов существенно сказываются на их активности, что лишний раз доказывает необходимость простой сравнительной методики оценки активности. В последующих опытах и в сравнении рассматривались лучшие образцы.

Сопоставление данных табл. 1 и 2 позволяет расположить испытанные катализаторы в следующие ряды:

а) по гидрирующей активности: $WS_2 - NiS - Al_2O_3 > Pt - F - Al_2O_3 > WS_2 > MoS_2 > MoS_2 - \text{актив. уголь} > Co - Mo - Al_2O_3 > WS_2 - \text{террана}$,

б) по изомеризующей активности: $WS_2 - \text{террана} > WS_2 > MoS_2 > Pt - F - Al_2O_3 > WS_2 - NiS - Al_2O_3 > Co - Mo - Al_2O_3 > MoS_2 - \text{актив. уголь}$,

в) по расщепляющей активности: $WS_2 - \text{террана} > Pt - F - Al_2O_3 > WS_2 > MoS_2 > WS_2 - NiS - Al_2O_3 > Co - Mo - Al_2O_3 > MoS_2 - \text{актив. уголь}$.

Эти ряды в основном совпадают с более ранними данными [5, 10], пополняя и уточняя их, особенно в отношении изомеризующей активности.

Можно отметить, что сильно гидрирующие катализаторы могут и не обладать большим изомеризующим эффектом, что противоречит

Деструктивная гидрогенизация бензола

Таблица 1

Катализатор	Выход жидких продуктов, вес. %	n_D^{20} гидрогенизата	Состав гидрогенизата, вес. %				Отношение количеств	
						ΣC_6^-	$\frac{\text{бензол} + \text{циклопентадие́н}}{\text{бензол}}$	$\frac{\text{бензол} + \text{циклопентадие́н}}{\Sigma C_6^-}$
MoS ₂ —актив. уголь	95,4	1,4461	33,4	6,6	следы	—	1,97	—
Co—Mo—Al ₂ O ₃	94,3	1,4600	53,6	4,4	47,8	—	0,87	1,53
MoS ₂	93,8	1,4257	15,8	33,2	46,2	3,2	5,33	1,36
Pt—F—Al ₂ O ₃	95,4	1,4107	0,4	42,2	14,9	11,2	249,0	0,21
WS ₂ —NiS—Al ₂ O ₃ —1	96,8	1,4225	0,4	8,0	17,9	2,5	249,0	0,24
WS ₂ —NiS—Al ₂ O ₃ —2	100,0	1,4213	0,2	80,1	60,3	1,8	4,9,0	3,31
WS ₂ —1	9,4	1,4200	13,9	20,0	35,5	5,8	6,20	1,54
WS ₂ —2	95,7	1,4349	31,0	29,5	50,2	4,0	2,23	—
WS ₂ —3	91,3	1,4134	11,1	0,3	3,2	8,0	8,0	1,89
WS ₂ —террана—1	90,3	1,4955	96,1	0,7	1,1	0,4	0,04	12,0
WS ₂ —террана—2	92,2	1,4921	93,3	5,1	—	0,5	0,07	0,31

Деструктивная гидрогенизация циклогексана

Таблица 2

Катализатор	Выход жидких продуктов, вес. %	n_D^{20} гидрогенизата	Состав гидрогенизата, вес. %				Продукты ацилирования C ₇ и выше	Отношение количеств	
						ΣC_6^-		$\frac{\text{бензол} + \text{циклопентадие́н}}{\text{бензол}}$	$\frac{\Sigma C_6^-}{\text{бензол}}$
MoS ₂ —актив. уголь	100,0	1,4261	—	—	1,5	следы	—	0,015	—
Co—Mo—Al ₂ O ₃	99,6	1,4257	—	—	3,3	1,6	—	0,034	0,032
MoS ₂	98,1	1,4169	—	—	50,7	0,3	—	1,095	0,036
Pt—F—Al ₂ O ₃	94,2	1,427	—	—	8,3	0,9	—	0,094	0,167
WS ₂ —NiS—Al ₂ O ₃ —1	95,5	1,4249	—	—	5,4	10,0	—	0,167	0,155
WS ₂ —1	100,0	1,4092	—	—	64,5	20,7	—	2,92	0,540
WS ₂ —террана	87,3	—	0,9	—	38,4	—	11,7	2,06	—

высказыванию Е. И. Прокопца и А. Н. Филаретова [13]. Наоборот, между изомеризующей и расщепляющей способностями катализаторов имеется определенная зависимость, и эти ряды, за исключением места Pt—F—Al₂O₃, совпадают.

В составе многих катализаторов имеются одни и те же компоненты. Иногда катализаторы различаются носителями. Сопоставление этих катализаторов позволяет высказать некоторые предположения о влиянии носителя на гидрирующую, изомеризующую и расщепляющую активности катализаторов. До сих пор этот вопрос, несмотря на всю его важность, не нашел достаточного освещения в научной литературе. Можно только упомянуть указания М. Пира [7] о том, что кислые носители (случай WS₂—террана) усиливают расщепляющую активность, а основные (случай WS₂—NiS—Al₂O₃)—гидрирующую. Об изомеризующей активности данных нет, да и механизм влияния кислых и основных носителей еще неясен.

Для обсуждения этого вопроса целесообразно сопоставить удельную активность катализаторов (т. е. активность, отнесенную к числу атомов металла на единице поверхности) с их физическими свойствами (табл. 3).

Таблица 3

Удельная активность различных катализаторов (средние данные)

состав катализатора	Катализатор				Степень превращения (вес. % на исход. сырье)		Выход ΣC_6^-		Удельная активность		
	вес 10 мл катализатора, г	вес актив. агента, г	уд. поверхность, м ² /г	число атомов металла ^a на поверхности. $\times 10^{19}$	бензола	циклогексана	при гидрогенизации бензола	при гидрогенизации циклогексана	гидрирующая	изомеризующая	расщепляющая
WS ₂	20,4	20,4	52	12,06	88,2	74,5	12,1	10,0	7,3	6,2	0,8—1,0
WS ₂ —NiS—Al ₂ O ₃	8,3	2,27	139	5,47	99,7	10,6	3,7	5,3	18,2	1,9	0,7—1,0
WS ₂ —террана	7,5	0,75	87	1,88	13,6	75,0	9,2	30,7	7,4	41,0	5—16,9
MoS ₂	11,0	11,0	46	5,84	85,2	53,2	9,2	3,5	14,6	9,1	0,6—1,6
MoS ₂ актив. уголь	4,0	0,60	190	2,27	68,2	1,5	4,6	0	30,0	0,7	0—2,2

^a Условно принимается во всех случаях мономолекулярный слой.

Данные табл. 3 в некоторых отношениях неточны (превращение бензола в случае WS₂—террана, выход продуктов расщепления для некоторых катализаторов), так как в отдельных случаях, при малых превращениях, большую ошибку вносит неточность определения выхода гидрогенизата. Тем не менее можно отметить важные закономерности.

Прежде всего, нанесение WS₂ и MoS₂ не только на основные, но и на нейтральные носители повышает гидрирующую активность. При сравнении катализаторов WS₂ и WS₂—NiS—Al₂O₃ А. В. Лозовой с сотрудниками [5, 6] объяснили более высокую гидрирующую активность последнего тем, что WS₂ очень тонко распределен на большой поверхности Al₂O₃ и доступность кристаллов WS₂ значительно больше. С другой стороны, кристаллы WS₂ в катализаторе WS₂—NiS—Al₂O₃ имеют значительно меньшие размеры, они как бы деформированы, их кристаллические параметры изменены, что и было подтверждено электронномикроскопическими исследованиями при увеличении в 14000 раз [5, 6]. И. В. Калечиц, К. А. Павлова и С. М. Самойлов [14], сравнивая физические и каталитические свойства свежего и частично дезактивированного образца WS₂, нашли, что дезактивация в наибольшей степени

сказывается на гидрирующей активности и в наименьшей на изомерирующей и сопровождается уменьшением поверхности за счет рекристаллизации WS_2 в более крупные гексагональные кристаллы; последнее было подтверждено рентгенографическими исследованиями.

Это позволяет развить высказанную М. Пиром [7] мысль о том, что активным началом катализатора WS_2 являются деформированные микрорешетки, возможно сохраняющие моноклинную структуру $(NH_4)_2WS_4$, из которого готовится WS_2 . Вероятно, упорядочение кристаллов WS_2 снижает гидрирующую активность, но мало сказывается на изомерирующей, так как для изомеризации гексагональная структура тоже выгодна.

Следуя всем изложенным выше взглядам, можно по данным табл. 3 распространить их и на случай катализатора MoS_2 — активированный уголь: тонкое диспергирование MoS_2 на поверхности активированного угля (еще большей, чем поверхность носителя в WS_2 — NiS — Al_2O_3) резко повышает его удельную гидрирующую активность. Далее можно отметить, в соответствии с развитыми представлениями, что тонкое диспергирование WS_2 или MoS_2 , препятствуя образованию крупнокристаллической, гексагональной структуры, уменьшает удельную изомерирующую активность.

Что касается катализатора WS_2 — террана, то в данном случае носитель сам участвует в реакции изомеризации. Нужно учесть, что террана является кислым алюмосиликатом, кислотность которого несомненно повышена обработкой плавиковой кислотой [16]. Вследствие высокой кислотности в случае катализатора WS_2 — террана происходит значительное увеличение удельной активности изомеризации. Удельная гидрирующая активность не изменяется.

Относительно расщепляющей активности из-за неточности данных (вследствие малой глубины расщепления в принятых условиях) определенные выводы сделать трудно. Можно отметить только несомненно резкое возрастание расщепляющей активности в случае катализатора WS_2 — террана, так же легко объясняемое, как и повышенная изомерирующая активность этого катализатора, кислым характером носителя на основе положений карбониево-ионной теории [4].

Таким образом, сопоставляя данные, опубликованные в литературе и полученные в описанных выше сравнительных опытах, можно предварительно наметить следующие возможные пути разработки катализаторов на основе сульфидов вольфрама и молибдена с определенным соотношением гидрирующей, изомерирующей и расщепляющей активностей:

а) для усиления гидрирующей активности и подавления изомерирующей и расщепляющей выгодно максимально тонкое распределение сульфидов молибдена или вольфрама на носителях, лишенных кислых свойств и обладающих возможно большей удельной поверхностью;

б) для получения катализаторов с большими гидрирующей и изомерирующей активностями, но слабо расщепляющих применение носителей невыгодно;

в) для усиления расщепляющей активности катализаторов выгодно повышать кислотность носителя.

В настоящее время нами проводится экспериментальная проверка этих предположений.

Глубокое сходство кристаллических структур WS_2 и MoS_2 различающихся не формой, а только в незначительной степени параметрами кристаллических решеток [16] и сходство их каталитической активности [7] позволяют с большой степенью достоверности распространять выводы, сделанные отдельно для MoS_2 или WS_2 , на оба катализатора.

Сравнивая данные табл. 1 и 2, можно отметить еще одну интересную закономерность: во всех случаях глубина изомеризации циклогексана больше, если гидрировался бензол, и меньше, если гидрировался сам циклогексан.

Эта разница наиболее существенна для катализатора $Pt - F - Al_2O_3$. Между тем известно, что при низких давлениях, в условиях так называемого платформинга, этот катализатор дает значительное превращение циклогексана в метилциклопентан. Сравнение данных для одного и того же образца катализатора приведено в табл. 4.

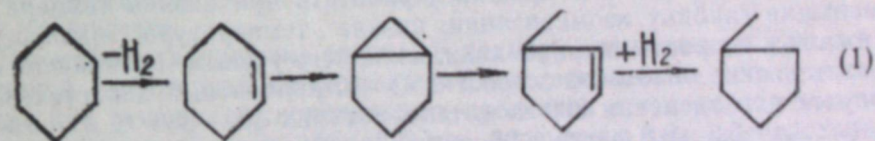
Таблица 4

Влияние давления на превращения циклогексана в присутствии катализатора $Pt - F - Al_2O_3$.

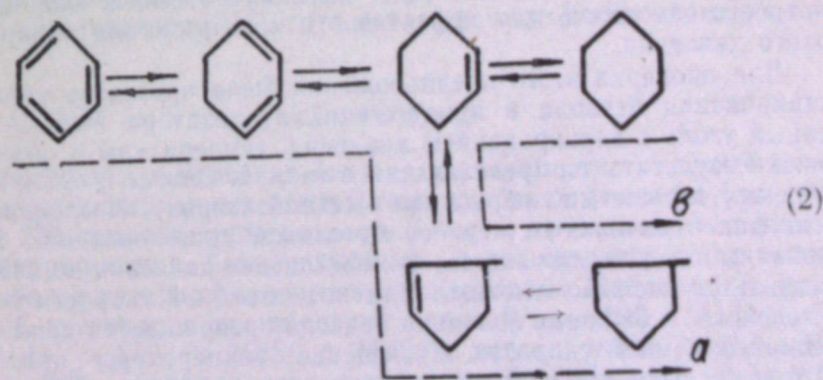
Давление, атм	Температура, °C	Объемная скорость, час ⁻¹	Выход жидких продуктов, %	Состав гидрогенизата				Отношение количеств $\frac{\square + \Sigma C_5}{\square}$
							ΣC_6	
20	450	3,0	88,2	72,1	5,7	19,3	1,4	3,63
20	480	4,0	92,7	57,6	15,0	25,4	0,0	1,69
200	420	3,0	94,2	0,0	91,4	8,3	0,3	0,094
200*	420	3,0	100,0	0,3	81,8	16,6	1,3	0,22

* Опыт со смесью 31,6 % бензола + 68,4 % циклогексана.

Все эти особенности изменения изомерирующей активности в зависимости от исходного сырья и давления можно объяснить на основе представления об изомеризации циклогексана как реакции дегидрирования [17].



Изомеризация циклогексана должна включать стадии абсорбции на поверхности катализатора, дегидрирования, изомеризации и, наконец, гидрирования. При гидрировании бензола или дегидрировании циклогексана изомеризации подвергается мимолетно образующийся циклогексен:



Образование больших количеств метилциклопентана при гидрировании бензола (по сравнению с гидрированием циклогексана) при высоких давлениях объясняется тормозящим влиянием давления на стадию дегидрирования циклогексана, вследствие чего путь *в* затруднен, а путь *а*, наоборот, облегчается высоким давлением. При низких давлениях путь *в* становится более возможным.

Предлагаемая схема взаимосвязи реакций гидрирования и изомеризации имеет также косвенные доказательства, например в известных данных М. Г. Гонинберга [17] по торможению изомеризации метилциклопентана в присутствии $AlCl_3$ высокими давлениями водорода. Тем не менее она не может считаться доказанной, хотя изучение этих вопросов весьма перспективно и позволит, вероятно, осветить многие неясные вопросы механизма превращений углеводородов на поверхности катализаторов, обладающих комплексным каталитическим действием. В настоящее время нами также начато более подробное экспериментальное изучение приложимости данной предположительно выдвинутой гипотезы.

В заключение следует отдельно остановиться на впервые отмечаемом нами факте исключительно высокой селективности катализаторов MoS_2 — активированный уголь и $Co-Mo-Al_2O_3$. Оба они, обладая средней гидрирующей активностью, почти лишены изомеризующей, что объяснено выше диспергированием гидрирующего агента на большой поверхности носителя.

Этот факт не может не представить промышленного интереса. Известно, что наиболее подходящим источником циклогексана — сырья для производства адипиновой кислоты — может служить дешевый коксохимический бензол. Однако присутствие в последнем тиофена делает невозможным применение высокоактивных низкотемпературных катализаторов (например, никеля Ренея), которые дезактивируются серой. Для решения этой проблемы А. Д. Сулимов и В. И. Каржев с сотрудниками [18] применили серостойкий промышленный катализатор, но последний все же обладает небольшой изомеризующей активностью, поэтому исследователям пришлось работать при низких температурах. Уменьшая глубину изомеризации, низкие температуры одновременно снижали и скорость гидрирования, из-за чего ученым [18] пришлось применить низкие объемные скорости. 93—97-процентный циклогексан был получен при давлении 200 атм, температурах 300—380°С и объемных скоростях 0,5—0,8 час⁻¹, 95-процентный циклогексан — при 300 атм, 320—360°С и 0,7—0,9 час⁻¹ [18].

Полученные нами данные по гидрированию бензола над катализатором MoS_2 — активированный уголь позволяли предположить, что с этим катализатором можно успешно работать при более высоких температурах и, соответственно, более высоких объемных скоростях. А последнее очень важно для эффективного использования аппаратуры высокого давления.

Для проверки этого предположения была проведена серия опытов гидрирования бензола в присутствии катализатора MoS_2 — активированный уголь с варьированием давления, температуры и объемной скорости. Результаты их представлены в табл. 5. Опыты 1—22 и 23—24 выполнены с разными образцами катализаторов. Последний образец несколько отличался от первого методикой приготовления. По приведенным данным можно видеть, что повышение давления до 240—260 атм сказывается очень интенсивно. Влияние объемной скорости относительно невелико, и большая половина бензола превращается даже при очень высокой объемной скорости. Повышение температуры при давлении 200 атм сказывается положительно, а при давлении 240 атм степени

Таблица 5

Гидрирование бензола над катализатором
 MoS_2 — активированный уголь

№ опыта	Условия опыта			Выход жидкого продукта, %	Глубина превращения, %	Состав гидрогенизата, %				ΣC_6	n_D^{20} гидрогенизата
	давление, атм	температура, °С	объемная скорость, час ⁻¹								
1	240	420	2,96	96,4	88,0	12,0	83,5	4,5	—	—	1,4329
2	240	420	1,49	95,8	96,7	3,3	91,8	4,9	—	—	1,4476
3	240	420	1,84	100,0	97,2	2,8	92,6	4,6	—	—	1,4275
4	240	400	4,15	100,0	83,4	16,6	79,4	4,0	—	—	1,4312
5	240	420	5,73	—	75,5	24,5	70,4	5,1	—	—	1,4398
7	240	435	2,97	100,0	91,4	8,6	84,7	5,7	1,0	—	1,4303
8	240	450	2,86	100,0	91,9	8,1	85,9	5,7	0,3	—	1,4290
9	240	420	2,82	—	94,6	5,4	89,1	5,5	—	—	1,4290
10	260	420	5,95	—	82,9	17,1	77,2	5,5	0,2	—	1,4350
11	240	401	2,84	96,0	96,2	3,8	92,9	3,3	—	—	1,4280
12	240	380	2,85	100,0	94,6	5,4	93,2	1,4	—	—	1,4300
14	200	420	2,83	97,9	69,0	31,0	67,4	1,6	—	—	1,4445
15	200	420	1,45	96,3	76,5	23,5	74,2	2,3	—	—	1,4402
16	200	420	0,94	95,4	84,2	15,8	81,1	3,1	—	—	1,4337
17	200	420	4,39	95,6	56,2	43,8	54,5	1,7	—	—	1,4530
18	200	420	5,77	100,0	48,4	51,6	46,4	2,0	—	—	1,4590
19	200	420	2,86	—	72,0	28,0	69,6	2,4	—	—	1,4421
20	200	435	2,79	98,5	79,8	20,2	75,3	4,5	—	—	1,4357
21	200	450	2,71	94,0	84,2	15,8	81,9	2,3	—	—	1,4437
22	200	401	2,96	97,8	62,5	37,5	66,4	1,1	—	—	1,4457
23	240	421	2,80	100,0	88,9	11,1	87,4	1,4	0,1	—	1,4331
24	240	420	1,39	100,0	96,2	3,8	94,6	1,6	—	—	1,4290

превращения настолько велики, что можно работать в широком интервале температур 380—420°С. Сравнение показателей параллельных опытов 1 и 9, 14 и 19, проведенных в начале и конце длительных серий опытов, показывает, что катализатор весьма стабилен и его активность даже улучшается.

Проводить дальнейшие опыты по подбору оптимальных условий селективной гидрогенизации бензола в циклогексан было нецелесообразно, так как решение технологических процессов с использованием микроустановки все равно не может быть перенесено на промышленные условия. Однако проведенные опыты убедительно показывают перспективность применения катализатора MoS_2 — активированный уголь для селективного гидрирования бензола в циклогексан. Результаты опытов 2, 11, 12, 24 доказывают, что можно получить 93—95-процентный циклогексан при объемных скоростях 1,4—3,0 час⁻¹, т. е. более высоких, чем с другим катализатором [18], хотя давление было несколько даже более низкое.

Выводы

1. В опытах гидрирования бензола и циклогексана в проточной микроустановке в выбранных стандартных условиях (температура 420°С, давление 200 атм, объемная скорость 3 час⁻¹) отдельно охарактеризованы гидрирующая, изомеризующая и расщепляющая активности семи наиболее распространенных катализаторов. Найдено, что по гидрирующей активности они образуют ряд $WS_2 - NiS - Al_2O_3 > Pt - F - Al_2O_3 > WS_2 > MoS_2 > MoS_2 - \text{актив. уголь} > Co - Mo - Al_2O_3 > WS_2 - \text{террана}$, по изомеризующей активности — ряд $WS_2 -$

— террана $> WS_2 > MoS_2 > Pt - F - Al_2O_3 > WS_2 - NiS - Al_2O_3 > Co - Mo - Al_2O_3 > MoS_2$ — актив. уголь и по расщепляющей активности — ряд WS_2 — террана $> Pt - F - Al_2O_3 > WS_2 > MoS_2 > WS_2 - NiS - Al_2O_3 > Co - Mo - Al_2O_3 > MoS_2$ — актив. уголь.

2. С учетом данных, опубликованных другими авторами, развиты, в порядке обсуждения, представления о роли носителей в усилении или ослаблении гидрирующей, изомеризующей и расщепляющей активностей активных агентов катализаторов (WS_2 и MoS_2), а также представления о взаимосвязи реакций гидрирования и изомеризации.

3. Отмечена высокая селективность катализаторов MoS_2 — активированный уголь и $Co - Mo - Al_2O_3$, обладающих при достаточно высокой гидрирующей активности ничтожной изомеризующей активностью, и показано, что эту особенность можно использовать для селективного гидрирования коксохимического бензола в ценное химическое сырье — циклогексан. 93—95-процентный циклогексан может быть получен над катализатором MoS_2 — активированный уголь с объемными скоростями 1,4—3,0 час⁻¹ при давлении 240 атм и температурах 380—420° С.

Восточно-Сибирский филиал
Академии наук СССР,
Институт нефти Академии наук КНР

Поступила в редакцию
16/VI 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Чжен-Лу-бинь. Тр. Ин-та нефти АН КНР, вып. 2, 1957 (на китайском яз.).
2. M. Pier, Gasförmige Kohlenwasserstoffe bei der Olhydrierung. Brennstoff-Chemie, Bd. 32, Heft 9/10, 1951.
3. W. Oettingen, Neuere Ergebnisse bei der Hydrierung von Erdölen. Erdöl und Kohle, № 6, 1953. Peti. Refiner, 34, № 6, 1955.
4. E. E. Donath. Advances in catalysis, 8, 1956.
5. А. В. Лозовой, А. Б. Воль-Эпштейн, С. А. Сенявин, О сравнительной активности технических катализаторов парофазной гидрогенизации топлива. Тр. ИГИ АН СССР, 6, 1955.
6. А. В. Лозовой, С. А. Сенявин, А. Б. Воль-Эпштейн, Об активности некоторых гидрогенизационных катализаторов. ЖПХ, 28, 1955.
7. M. Pier. Zeitsch. für Elektrochemie, 53, 1949.
8. И. В. Калечиц, К. А. Страхова, Ю. М. Скворцов, О составе продуктов деструктивной гидрогенизации бензола в присутствии высокотемпературных катализаторов. Тр. ВСФАН СССР, 3, 1955.
9. И. В. Калечиц, Л. М. Каткова, В. Н. Блинов, К вопросу о механизме гидрирования бензола над никелевым катализатором. Тр. ВСФАН СССР, 3, 1955.
10. И. В. Калечиц, К. А. Павлова, О составе продуктов деструктивной гидрогенизации бензола над сернистым вольфрам-никель-алюминиевым катализатором. Тр. ВСФАН СССР, 4, 1956.
11. Н. Е. Вишневский, Д. М. Майоров, К вопросу о методике проведения автоклавных опытов по гидрогенизации углеводородов. ЖПХ, 28, 1955.
12. Чжен Лу-бинь, Лян Цзюань, Тр. Ин-та нефти АН КНР, 2, 1957 (на китайском яз.).
13. Е. И. Прокопец, А. Н. Филаретов, Изомеризация циклогексана и метилциклопентана при высокотемпературной гидрогенизации. ЖПХ, 11, 1938.
14. И. В. Калечиц, К. А. Павлова, С. М. Самойлов, Об изменении характера каталитического действия и физических свойств катализатора с падением его активности. Тр. ВСФАН СССР, 4, 1956.
15. А. Я. Вавул, Е. И. Сильченко, Катализаторы гидрогенизации, Тр. ВНИГИ, 3, 1951.
16. R. H. Griffith. Advances in catalysis, 3, 1948.
17. М. Г. Гонинберг, Применение высокого давления для исследования механизма химических реакций. Вопросы химической кинетики, катализа и реакционной способности. Изд. АН СССР, 1955.
18. А. Д. Сулимов, В. И. Каржев, Т. В. Жоховская, В. М. Олевский, Е. Г. Вендельштейн, Е. И. Сильченко, К. В. Шаболина, А. А. Войтехов, Получение сырья для производства синтетических волокон на базе продуктов нефтеперерабатывающей промышленности. ХТТ, № 1, 1956.

В. Л. ЗЯЗЕВ, О. А. ЕСИН

ВЯЗКОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ СИСТЕМ

$V_2O_5 - Fe_2O_3$, $V_2O_5 - CuO$ и $V_2O_5 - CaO - Fe_2O_3$

Знание вязкости (η) расплавленных шлаков и плотности (ρ) расплавов в зависимости от их состава и температуры не только необходимо для практики, но интересно и теоретически, так как позволяет судить о существовании определенных упорядочений атомов в жидкости.

В данной статье мы приводим результаты измерений вязкости и плотности системы $V_2O_5 - Fe_2O_3$ и $V_2O_5 - CuO$ и ряда сплавов $V_2O_5 - CaO - Fe_2O_3$ в сопоставлении с результатами, полученными при изучении их удельной электропроводности (κ).

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Достаточная жидкотекучесть расплавов $V_2O_5 - Fe_2O_3$ и $V_2O_5 - CuO$ позволила применить для изучения температурной зависимости их кинетической вязкости (ν) метод Е. Г. Швидковского [1].

Корундизовский тигель № 6, опущенный в легкую стальную корзинку, закрепленную в ведущем стержне подвесной системы, помещался в закрытую селитровую печь и совершал крутильно-колебательные движения. Стальная нить подвеса, экранированная диском-радиатором, оставалась холодной, обеспечивая устойчивые колебания в изученном температурном интервале с периодом, не превышающим 3 сек. Отсчет углов закручивания производился по показаниям на шкале алюминиевой стрелки, укрепленной на подвесе. Декременты вычислялись для каждой температуры по пяти сериям колебаний, начиная с третьего. Температура во время опытов менялась со скоростью 60—80°/час и измерялась платино-платиновородиевой термпарой, помещенной непосредственно под дном тигля. В работе использовались окислы марки ЧДА, навески из которых тщательно перемешивались. Значения декрементов, полученные при нагревании и охлаждении, оказались, как правило, близкими.

Принятая методика позволила получить разброс данных по кинематической вязкости, не превышающий 5—7%.

Плотность расплавленных шлаков (ρ) измерялась методом касания в корундизовых тиглях, объем которых был предварительно отградуирован. Для этой цели служили платиновые электроды, замыкающие цепь в момент касания поверхности жидкости.

Измерения уровня расплава производились через каждые 100° как при нагревании, так и при охлаждении. При расчетах плотности учитывались температурные изменения корундизовых тиглей и платиновых электродов.

Полученные данные имели удовлетворительную воспроизводимость.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Система $V_2O_5 - Fe_2O_3$

Была изучена вязкость и плотность пяти расплавов с содержанием Fe_2O_3 от 11,4 до 34%. При предварительном сплавлении V_2O_5 и Fe_2O_3 наблюдалось выделение пузырьков газа, указывающих на диссоциацию окислов. Было установлено, что в шлаках, содержащих до 15% Fe_2O_3 , преимущественно диссоциирует V_2O_5 , в последующих — Fe_2O_3 .

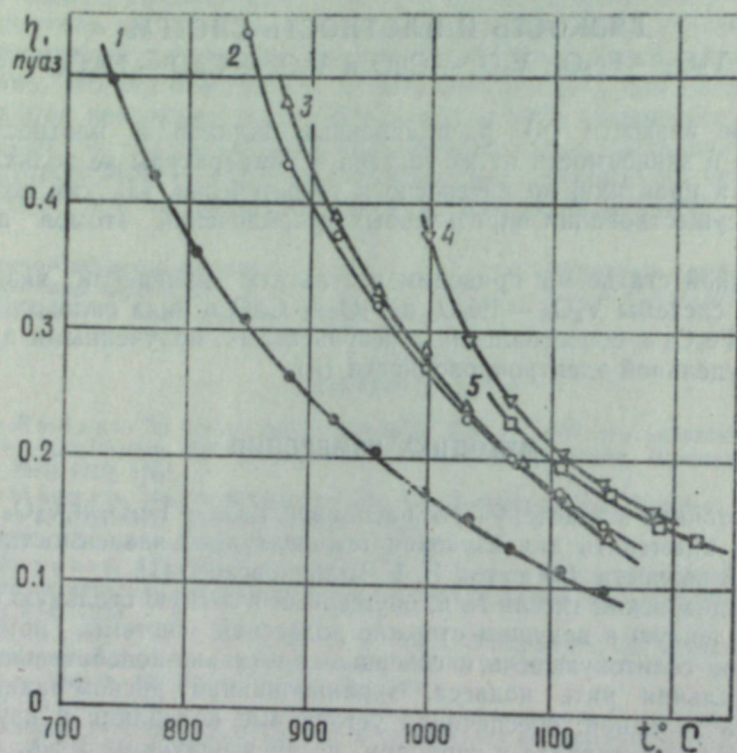


Рис. 1. Температурная зависимость вязкости системы $V_2O_5 - Fe_2O_3$. Кривые соответствуют следующим концентрациям Fe_2O_3 : 1—11,4%, 2—20%, 3—23,6%, 4—29,2%, 5—34,0%.

На рис. 1 помещены политермы динамической вязкости ($\eta = \nu \cdot \rho$) шлаков $V_2O_5 - Fe_2O_3$ с различными концентрациями Fe_2O_3 . Все кривые показывают спад вязкости с ростом температуры, хотя наклон их, обусловленный энергией активации E_η , неодинаков. Из данных для ν -вязкости, полученных непосредственными измерениями, вытекает несколько меньшая энергия активации E_ν . Различие между E_η и E_ν невелико, так как плотности расплавов обычно мало меняются с температурой.

Рис. 2 дает изотермы плотности сплавов $V_2O_5 - Fe_2O_3$ при 900, 1000, 1100, 1200° С. Рост содержания Fe_2O_3 от 0% до 23,8% приводит к значительному увеличению плотности (от 2,13 до 2,91 г/см³ при 1000° С). При 20,0% Fe_2O_3 на всех кривых виден перегиб, при 23,5% — максимум, а при 29,2% — минимум ρ .

Диаграмма состояния для системы $V_2O_5 - Fe_2O_3$ отсутствует, но, согласно весьма приближенным данным Люкаса и соавторов [2], при 30% Fe_2O_3 имеется соединение $2V_2O_5 \cdot Fe_2O_3$. Возможно, что с его существованием в расплавах [3] связан минимум плотности при 29,2% Fe_2O_3 . Некоторое упорядочение атомов жидкости можно, видимо, ожидать при

20,0% и 23,5% Fe_2O_3 , так как здесь также отмечены особые точки на изотермах ρ .

На рис. 3 представлена кривая энергии активации вязкого течения (E_η) в сопоставлении с изотермами вязкости шлаков $V_2O_5 - Fe_2O_3$ при 1000, 1100 и 1200° С. Изотермы, наряду с тенденцией роста вязкости с уменьшением содержания V_2O_5 , показывает четкий максимум η при 29,2% Fe_2O_3 и слабо выраженный (кривая 4) — при 20% Fe_2O_3 , а также перегиб при 23,6% Fe_2O_3 . Кривая 1 при 29,2% Fe_2O_3 тоже имеет максимум, а при 20 и 23,6% Fe_2O_3 — перегибы.

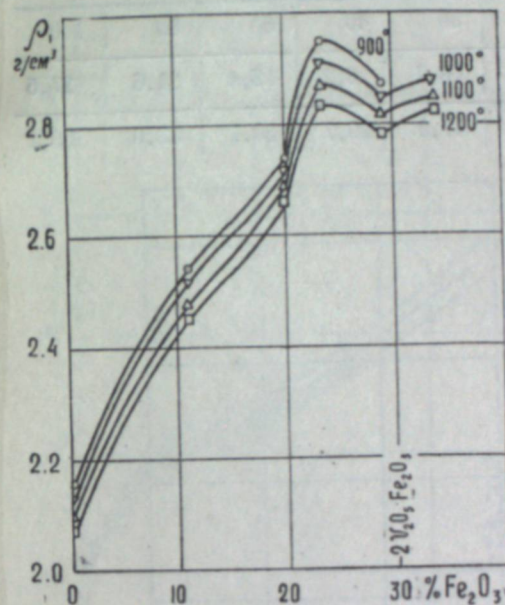


Рис. 2. Изотермы плотности системы $V_2O_5 - Fe_2O_3$ при 900, 1000, 1100 и 1200° С.

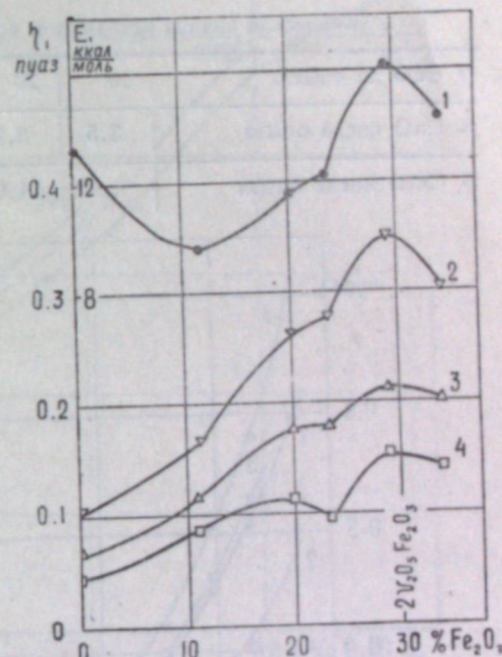


Рис. 3. Кривая энергии активации вязкого течения (1) и изотермы вязкости системы $V_2O_5 - Fe_2O_3$ при 1000° (2), 1100° (3) и 1200° (4).

Таким образом, наличие особых точек на кривой E_η и на изотермах вязкости и плотности позволяет предполагать существование в подобных расплавах известной упорядоченности атомов, близкой по составу к соединению $2V_2O_5 \cdot Fe_2O_3$.

В табл. 1 для иллюстрации сопоставлены данные по вязкости и электропроводности (κ) шлаков $V_2O_5 - Fe_2O_3$ при 1000° С. Она показывает, что расплавы $V_2O_5 - Fe_2O_3$, являясь полупроводниками, обладают сравнительно невысокой вязкостью и большой проводимостью, особенно при 20,0% Fe_2O_3 и выше.

Таблица 1

Величины вязкости и электропроводности системы $V_2O_5 - Fe_2O_3$ при 1000° С

% Fe_2O_3	0,0	11,4	20,0	23,8	29,2	34,0
η , пуаз	0,102	0,167	0,263	0,278	0,350	0,300
κ , $ОМ^{-1} \cdot см^{-1}$	1,1	1,8	5,8	7,9	10,7	12,8

Система $V_2O_5 - CuO$

Исследовалась температурная зависимость вязкости и плотности CuO и шести ее сплавов с V_2O_5 с начальным содержанием от 10 до 80% CuO . Газовыделение при сплавлении окислов протекало в этом случае еще более интенсивно, чем в системе $V_2O_5 - Fe_2O_3$. Химический анализ конечных проб, взятых при наивысших температурах опытов, показал, что здесь имела место значительная диссоциация CuO (табл. 2).

Таблица 2
Химический анализ исходных и конечных проб системы $V_2O_5 - CuO$

% CuO до опыта	10	20	30	40	60	80	100
% CuO после опыта	3,5	6,7	18,2	8,2	16,4	21,6	27,5
% Cu_2O после опыта	5,9	14,0	17,5	29,7	30,1	53,0	65,2

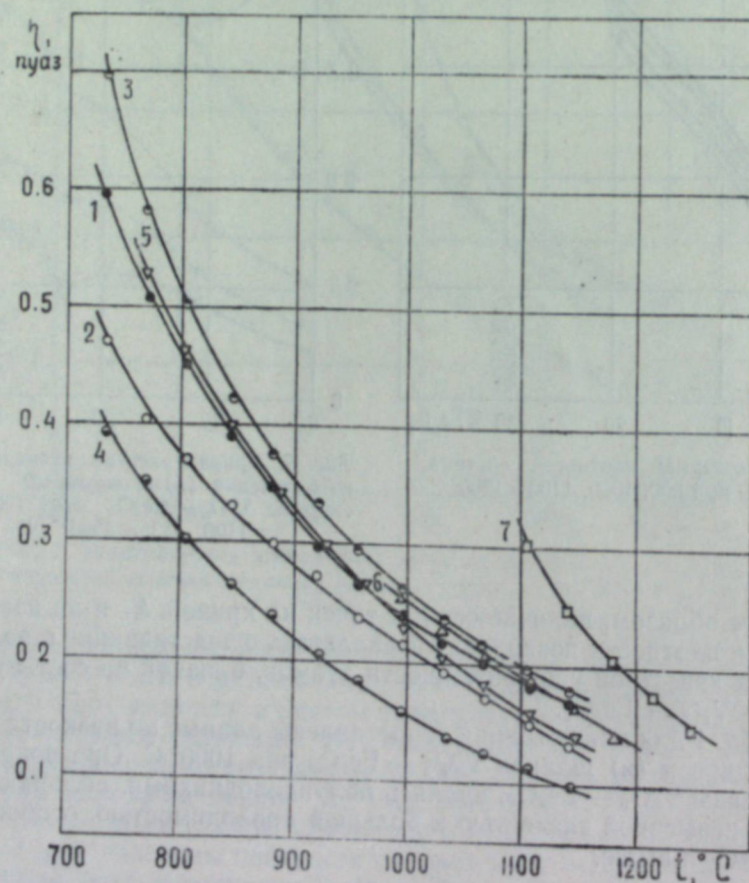


Рис. 4. Политермы вязкости псевдобинарной системы $V_2O_5 - CuO$. Кривые соответствуют следующим исходным содержаниям CuO : 1 — 10%, 2 — 20%, 3 — 30%, 4 — 40%, 5 — 60%, 6 — 80%, 7 — 100%.

Таким образом, фактически исследовалась тройная система $V_2O_5 - CuO - Cu_2O$ с преобладающим содержанием Cu_2O при высоких температурах и малом содержании V_2O_5 .

На рис. 4 помещены изотермы η -вязкости сплавов V_2O_5 с CuO при различном исходном количестве CuO . Во всех случаях наблюдается

уменьшение вязкости с ростом температуры. Полученные данные удовлетворительно описываются простой экспоненциальной зависимостью.

Энергия активации E , обычно несколько больше соответственных значений для E_v , так как температурный коэффициент плотности расплавов имеет тот же знак, что и у кинематической вязкости.

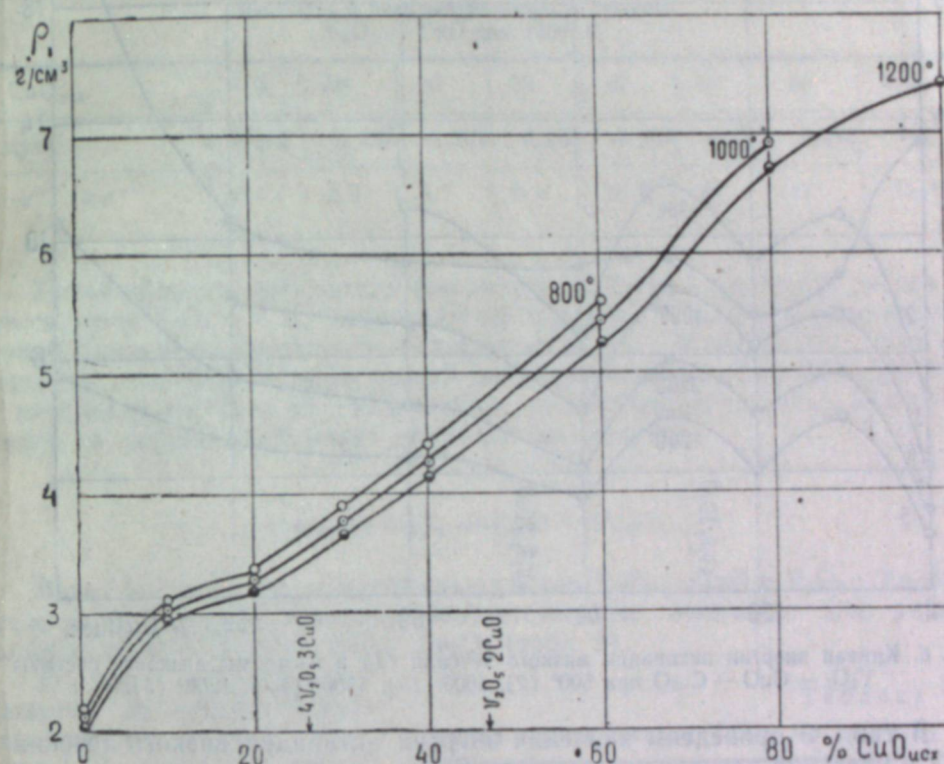


Рис. 5. Изотермы плотности системы $V_2O_5 - CuO$.

На рис. 5 для иллюстрации приведен ряд изотерм плотности расплавов $V_2O_5 - CuO$ при 800, 1000, 1200°C. На оси абсцисс помечены точки, соответствующие составам химических соединений $4V_2O_5 \cdot 3CuO$ и $V_2O_5 \cdot 2CuO$, указанные Г. Люксом и соавторами [2].

Наряду с общим ростом плотности при увеличении исходного содержания CuO здесь наблюдается при 20% CuO перегиб. Отвечающий ему состав близок к первому из соединений. Можно предполагать, что в результате диссоциации CuO структурное упорядочение атомов расплава, соответствующее соединению $4V_2O_5 \cdot 3CuO$, выявляется при меньшем и исходном содержании CuO .

На рис. 6 представлена кривая энергии активации и изотермы вязкости квазибинарной системы $V_2O_5 - CuO$ при различных температурах. Все изотермы имеют минимумы при 20 и 40% $CuO_{исх.}$

При дальнейшем повышении содержания окиси меди наблюдается сильное увеличение вязкости от 0,08 пуазы для 40% $CuO_{исх.}$ до 0,18 пуазы для 100% $CuO_{исх.}$ при 1200°C. Кривая энергии активации также имеет четкий (при 20% $CuO_{исх.}$) и слабо выраженный (при 40% $CuO_{исх.}$) минимумы и значительный подъем при дальнейшем увеличении концентрации окиси меди. Таким образом, вблизи соединений $4V_2O_5 \cdot 3CuO$ (при 20% $CuO_{исх.}$) и $V_2O_5 \cdot 2CuO$ (при 40% $CuO_{исх.}$) на изотермах вязкости и кривой энергии активации вновь отмечены особые точки.

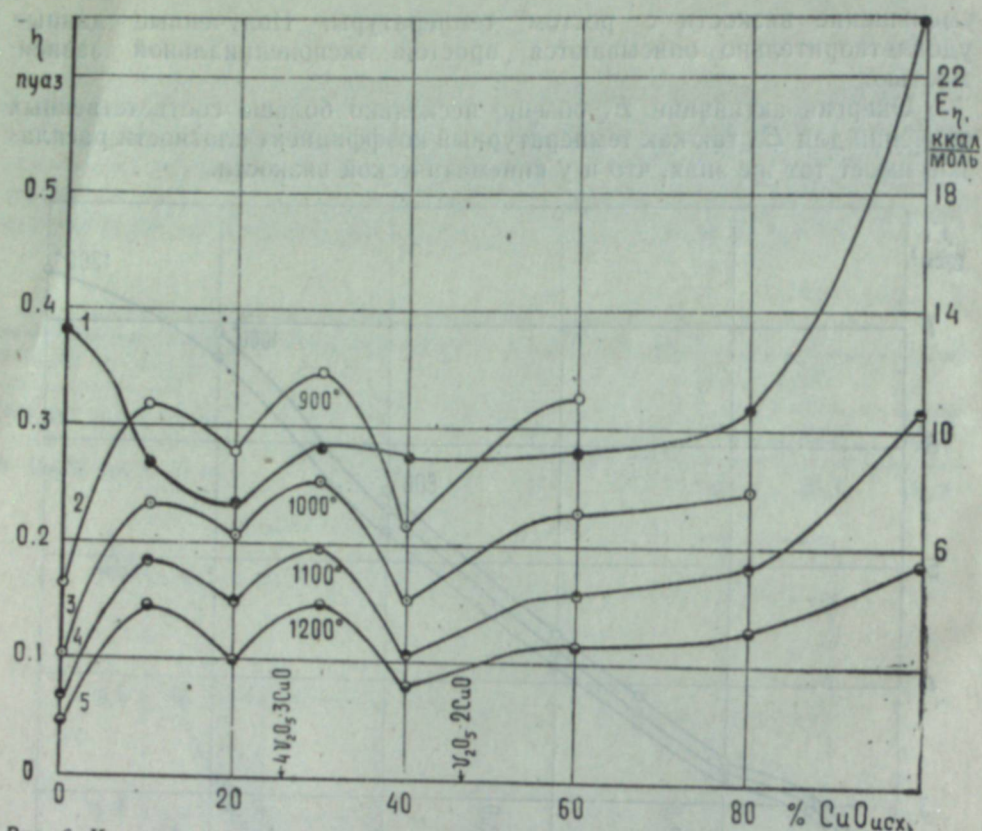


Рис. 6. Кривая энергии активации вязкого течения (1) и изотермы вязкости системы $V_2O_5-CuO-Cu_2O$ при 900° (2), 1000° (3), 1100° (4) и 1200° (5).

В табл. 3 приведены значения энергии активации вязкого течения (E_η) и удельной электропроводности (E_x)

Таблица 3

Сравнительные значения энергии активации вязкого течения и электропроводности сплавов V_2O_5-CuO

% $CuO_{исх.}$	0,0	10	20	30	40	60	80	100
E_η , ккал/мол	13,2	8,7	7,5	9,4	9,0	9,2	10,6	23,8
E_x , ккал/мол	12,3	15,3	7,5	6,1	7,3	10,6	21,3	—
$n = E_\eta/E_x$	1,07	0,57	1,00	1,54	1,23	0,87	0,50	—

Значения E_η и E_x несильно различаются. Их отношение, т. е. величина $n = E_\eta/E_x$ для одних сплавов больше единицы, как и у ионных проводников [4], для других меньше. Такие колебания n подчеркивают полупроводниковый характер этих расплавов. Возможно, что они обусловлены частичной диссоциацией V_2O_5 и особенно CuO , так как при этом происходят изменения энергии связи между атомами. Искать причину низких значений n при 10 и 80% $CuO_{исх.}$ в диссоциации соединений [5] соответственного состава здесь вряд ли целесообразно, так как они отсутствуют [2].

Расплавы V_2O_5-CuO при 1000°С имеют относительно низкую и

мало меняющуюся вязкость и высокую электропроводность (табл. 4). Последнее обусловлено их полупроводниковой природой и диссоциацией CuO [6].

Таблица 4

Вязкость и электропроводность сплавов V_2O_5-CuO при 1000°С

% $CuO_{исх.}$	0,0	10	20	30	40	60	80	100
η , пуаз	0,102	0,233	0,207	0,256	0,150	0,228	0,248	—
χ , $ом^{-1} \cdot см^{-1}$	1,1	2,3	3,7	5,8	12,5	48	32	12,8

Таким образом, результаты измерений вязкости и плотности расплавов системы V_2O_5-CuO указывают на наличие в них упорядочений атомов, близких по структуре к соединениям $4V_2O_5 \cdot 3CuO$ и $V_2O_5 \cdot 2CuO$. Вероятно, отмеченный нами резкий рост проводимости при 500—600°С в интервале составов 20—40% $CuO_{исх.}$ можно также увязать с присутствием (в твердом состоянии) указанных соединений.

Система $V_2O_5-CaO-Fe_2O_3$

Вслед за вязкостью и плотностью систем V_2O_5-CaO и $V_2O_5-Fe_2O_3$ представляло интерес измерить соответственные величины для ряда тройных шлаков $V_2O_5-CaO-Fe_2O_3$ (табл. 5).

На рис. 7 нанесены поллитермы их динамической вязкости. Все кривые (1 — шлак 1, 2 — шлак 2, 3 — шлак 3) указывают на падение η с ростом температуры. Значения энергии активации вязкого течения здесь равны 14,7; 12,1 и 17,5 ккал/мол соответственно, в то время как для шлаков системы V_2O_5-CaO (при том же содержании CaO) они составляют 14,7; 16,8 и 18,6 ккал/мол. Последние очень близки к E_η шлаков 1 и 3, но меньше значения для шлака 2. Другими словами, добавка Fe_2O_3 отразилась на энергии активации лишь в шлаке 2.

Таблица 5

Состав шлаков системы $V_2O_5-CaO-Fe_2O_3$

№ шлака	% V_2O_5	% CaO	% Fe_2O_3
1	62,9	28,4	8,6
2	56,2	35,5	8,0
3	50,5	39,0	10,0

Изотермы плотности, приведенные на рис. 8, иллюстрируют значительный рост ρ с повышением содержания CaO . Сравнение с данными для системы V_2O_5-CaO показывает, что замена части V_2O_5 на Fe_2O_3 существенно увеличивает плотность расплавов. Так, при 39% CaO величина ρ равна 3,05 г/см³ для шлака системы V_2O_5-CaO и 3,92 г/см³ для шлака 3.

Аналогичную картину роста вязкости вместе с повышением содержания CaO можно видеть на изотермах для расплавов $V_2O_5-CaO-Fe_2O_3$. Особенно значителен он оказался при 1200°С, от 0,28 пуаз в шлаке 1 до 0,54 пуаз в шлаке 3. В системе V_2O_5-CaO эти величины равны 0,16 и 0,23 пуаз, т. е. здесь наблюдается также сильный прирост вязкости при почти в два раза меньших ее значениях.

Выводы

1. Измерены вязкость и плотность квазибинарных систем V_2O_5 — Fe_2O_3 , V_2O_5 — CuO и ряда шлаков V_2O_5 — CaO — Fe_2O_3 при различных составах и температурах.

2. Установлено, что величина энергии активации вязкого течения системы V_2O_5 — CuO не сильно отличается от энергии активации электропроводности.

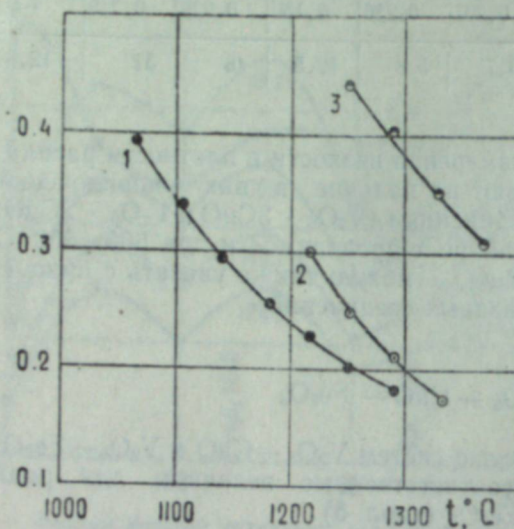


Рис. 7. Вязкость как функция температуры в системе V_2O_5 — CaO — Fe_2O_3 .
Кривые: 1 — шлак 1, 2 — шлак 2, 3 — шлак 3.

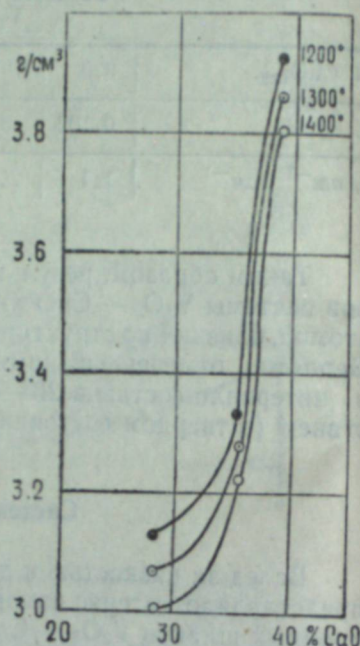


Рис. 8. Изотермы плотности при 1200, 1300 и 1400°С для системы V_2O_5 — CaO — Fe_2O_3 .

3. По особым точкам изотерм вязкости и плотности, а также кривых энергии активации сделано заключение о присутствии в расплавах упорядочений атомов, близких по структуре соединениям $2V_2O_5 \cdot Fe_2O_3$, $4V_2O_5 \cdot 3CuO$ и $V_2O_5 \cdot 2CuO$.

4. Найдено, что замена 8—10% V_2O_5 на Fe_2O_3 в шлаках V_2O_5 — CaO — Fe_2O_3 значительно увеличивает их вязкость и плотность и мало меняет энергию активации вязкого течения.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22/X 1957

ЛИТЕРАТУРА

- Е. Г. Швидковский, Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов. Гос. изд. техн.-теор. лит., М., 1955.
- G. Lucas, M. Weddle, A. Preece, The Liquidus of Metal oxide V_2O_5 Systems J. Iron Steel Inst., vol. 179, 1955.
- В. Я. Аносов, С. А. Погосин, Основные начала физико-химического анализа, М.—Л., 1947.
- К. С. Евстрольев, О вязкости и электропроводности расплавленных солей и стекол. Изв. АН СССР, сер. физич., № 3, 1937.
- А. С. Хейман, Л. И. Рыбакова, Молекулярное состояние и электропроводность силикатных расплавов. Изв. АН СССР, ОТН, № 11, 1949.
- А. Ф. Иоффе, Полупроводники в современной физике. Изд. АН СССР, М.—Л., 1954.

В. Н. КОЗЛОВ, Б. И. СМОЛЕНСКИЙ

ИЗВЛЕЧЕНИЕ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ВОДНОЙ ФАЗЫ НЕВОДНОЙ ФАЗОЙ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОТИВОТОЧНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

При исследовании процесса непрерывной противоточной экстракции уксусной кислоты из водной фазы неводной фазой в экстракторах, разделенных перегородками на секции, мы исходили из того, что экстрагент при входе в экстрактор не содержит уксусной кислоты. (В. Н. Козлов, Б. И. Смоленский. Процесс непрерывной противоточной экстракции растворенного вещества из водной фазы органическими растворителями. Тр. Ин-та химии и металлургии. УФАН СССР, вып. 2, 1957). Однако в промышленных условиях при извлечении уксусной кислоты из обесспиртованной и в особенности из необесмоленной кислой воды методом непрерывной противоточной экстракции органическими растворителями (диэтиловым эфиром и этилацетатом) экстрагент, поступающий в экстрактор, всегда содержит некоторое количество уксусной кислоты.

Практика показывает, что чем больше время нахождения органического растворителя в процессе работы, тем выше в нем содержание уксусной кислоты.

В начале процесса в систему вводится свежий растворитель, не содержащий уксусной кислоты. Затем кислотность его постепенно возрастает и может достигать до 1,61%. Такое нарастание кислотности растворителя обуславливается обогащением его метилформиатом, метилацетатом, маслянистыми веществами и другими примесями, переходящими в экстракт из кислой воды вместе с уксусной кислотой. Одна часть этих примесей в неизменном виде или в виде продуктов взаимодействия их между собой при процессе отгонки экстрагента из экстракта и из эфировой воды переходит в кислоту-сырец и в отбросную воду, а другая часть отгоняется с экстрагентом и снова поступает в экстрактор, нарушая в нем процесс экстракции и увеличивая потери уксусной кислоты с отработанной водой.

Как же влияет кислотность экстрагента на

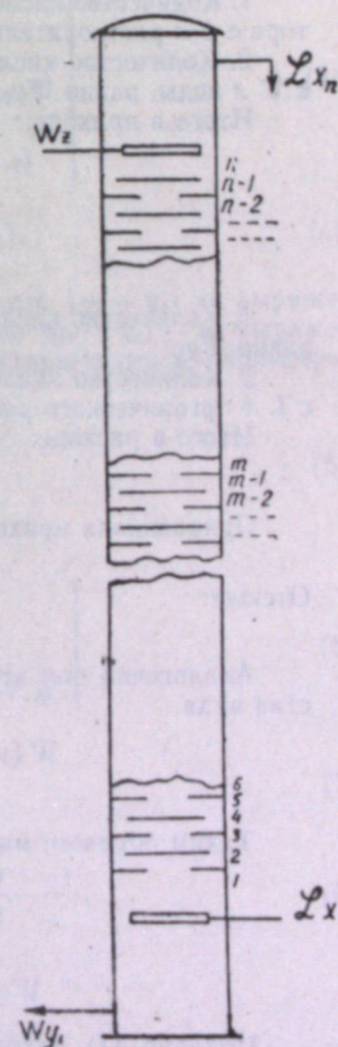


Рис. 1. Экстрактор для извлечения уксусной кислоты из водной фазы неводной фазой, удельный вес которой $\gamma < 1$.

полноту извлечения уксусной кислоты и закономерности распределения ее в водной фазе в различных секциях по высоте экстрактора?

Допустим, что в экстрактор (рис. 1) поступают вода (W литров) и органический растворитель (L литров), содержащие уксусную кислоту. На 1 л их приходится соответственно кислоты z и x_0 граммов. Обозначим содержание уксусной кислоты в секциях 1, 2, 3, ..., n (соответственно): в воде — $y_1, y_2, \dots, y_n$ в органическом растворителе — $x_1, x_2, \dots, x_n$. Счет секций ведем снизу.

Предполагается, что в каждой секции наступает равновесие уксусной кислоты между неводной и водной фазами. Материальный баланс по кислоте в каждой секции представится в следующем виде:

Приход кислоты:

1. Количество кислоты (в г), поступающей в первую секцию экстрактора с L л растворителя, равно Lx_0 .

2. Количество кислоты (в г), стекающей из второй секции в первую с W л воды, равно Wy_2 .

Итого в приходе:

$$Lx_0 + Wy_2 \text{ г кислоты.}$$

Расход кислоты:

1. Количество кислоты (в г), отходящей из экстрактора с W л воды, равно Wy_1 .

2. Количество кислоты (в г), уносимой из первой секции во вторую с L л органического растворителя, равно Lx_1 .

Итого в расходе:

$$Wy_1 + Lx_1 \text{ г кислоты.}$$

Приравняв приход расходу, получим:

$$Lx_0 + Wy_2 = Wy_1 + Lx_1.$$

Отсюда:

$$W(y_2 - y_1) = L(x_1 - x_0).$$

Аналогично для второй секции, третьей и т. д. будем иметь равенства вида

$$W(y_m - y_{m-1}) = L(x_{m-1} - x_{m-2})$$

$$m = 3, 4, \dots, n.$$

Таким образом, мы получаем ряд равенств:

$$\left. \begin{aligned} W(y_2 - y_1) &= L(x_1 - x_0), \\ W(y_3 - y_2) &= L(x_2 - x_1), \\ &\dots \\ W(y_n - y_{n-1}) &= L(x_{n-1} - x_{n-2}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Подобно (1) находим равенство, содержащее разность концентраций уксусной кислоты в питающей жидкости и концентрации ее в водной фазе в последней секции:

$$W(z - y_n) = L(x_n - x_{n-1}) \quad (2)$$

Используем коэффициент распределения

$$k = \frac{x}{y}$$

где: x — концентрация уксусной кислоты в неводной фазе в г/л;
 y — то же в водной фазе.

Подставим его в равенства (1), (2):

$$x_1 = ky_1$$

$$x_2 = ky_2$$

$$x_n = ky_n.$$

После этих подстановок равенства (1), (2) можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} y_2 - y_1 &= \frac{Lky_1}{W} - \frac{Lx_0}{W}, \\ y_3 - y_2 &= \frac{Lk}{W} (y_2 - y_1), \\ &\dots \\ y_n - y_{n-1} &= \frac{Lk}{W} (y_{n-1} - y_{n-2}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$z - y_n = \frac{Lk}{W} (y_n - y_{n-1}). \quad (4)$$

Заменяя во втором из равенств (3) разность $(y_2 - y_1)$ ее выражением из первого равенства, в третьем равенстве $(y_3 - y_2)$ — ее выражением из второго равенства и т. д. и вводя характеристические параметры

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{Lk}{W}, \\ R &= \frac{Lx_0}{W}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

получим:

$$\left. \begin{aligned} y_2 - y_1 &= py_1 - R, \\ y_3 - y_2 &= p^2 y_1 - pR, \\ &\dots \\ y_n - y_{n-1} &= p^{n-1} y_1 - p^{n-2} R. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Будем пока предполагать, что в (6)

$$py_1 - R \neq 0. \quad (7)$$

Складываем равенства (6):

$$y_n - y_1 = \frac{y_1(p^n - p) - R(p^{n-1} - 1)}{p - 1}. \quad (8)$$

Имеется в виду случай, когда в (8) $p \neq 1$.

Из (8) находим:

$$y_n = \frac{y_1(p^n - 1) - R(p^{n-1} - 1)}{p - 1}. \quad (9)$$

Равенство (4) после замены $(y_n - y_{n-1})$ выражением из (6) представится в следующем виде:

$$z - y_n = p^n \cdot y_1 - p^{n-1} \cdot R. \quad (10)$$

Подставляя в равенство (10) выражение y_n из равенства (9), получаем

$$z = \frac{y_1(p^{n+1} - 1) - R(p^n - 1)}{p - 1}. \quad (11)$$

Из (11) находим:

$$p^n = \frac{z(p - 1) + y_1 - R}{py_1 - R} \quad (12)$$

где, согласно условию (7)

$$py_1 - R \neq 0.$$

Далее мы будем рассматривать преимущественно тот случай, когда в (11)

$$p > 1.$$

Чтобы равенство (12) могло существовать, числитель и знаменатель правой части должны быть или положительными или отрицательными. Для определенности будем предполагать, что в (12)

$$py_1 - R > 0 \quad (13)$$

или что концентрация уксусной кислоты в водной фазе при выходе из экстрактора

$$y_1 > \frac{x_0}{k}. \quad (14)$$

Существование неравенства (13) влечет существование другого неравенства

$$z(p - 1) + y_1 - R > 0. \quad (15)$$

Из равенства (6), имея в виду неравенство (13), следует, что

$$y_1 < y_2 < y_3 \dots < y_n. \quad (16)$$

Из равенства (10), имея в виду неравенство (13), находим, что

$$z > y_n. \quad (17)$$

Концентрация уксусной кислоты в первой секции всегда меньше концентрации в последней секции. Так как $y_1 < y_n$, то из неравенства (17) находим:

$$z > y_1. \quad (18)$$

Пользуясь неравенством (14), неравенство (18) заменяем:

$$z > \frac{x_0}{k}. \quad (19)$$

Из равенства (12) находится число секций экстрактора:

$$n = \frac{\lg [z(p - 1) + y_1 - R] - \lg (py_1 - R)}{\lg p}. \quad (20)$$

Концентрация уксусной кислоты в отходящей из экстрактора отработавшей воде определится из равенства (11):

$$y_1 = \frac{z(p - 1) + R(p^n - 1)}{p^{n+1} - 1}. \quad (21)$$

Преобразуем правую часть равенства (21). Из равенства (5) находим:

$$R = Ap, \quad A = \frac{x_0}{k}. \quad (22)$$

Подставляя в правую часть равенства (21)

$$R = Ap,$$

получаем

$$y_1 = \frac{z(p - 1) + A(p^{n+1} - p)}{p^{n+1} - 1} = f(p). \quad (23)$$

Из равенства (23) получаем:

$$\frac{dy_1}{dp} = - \frac{[np^{n+1} - (n+1)p^n + 1](z - A)}{(p^{n+1} - 1)^2}. \quad (24)$$

Рассмотрим непрерывную функцию аргумента p для значений $p \geq 1$

$$u = np^{n+1} - (n+1)p^n + 1 \quad (25)$$

при произвольном числе $n > 0$.

Из равенства (26):

$$\frac{du}{dp} = n(n+1)(p-1)p^{n-1} > 0 \quad (26)$$

при $n > 0$ и $p > 1$ следует:

u — возрастающая функция при $n > 0$ и $p > 1$. При $p = 1$ $u = 0$; следовательно, если $p > 1$, то $u > 0$.

Таким образом, при произвольном $p > 1$ и произвольном $n > 0$ будет существовать неравенство

$$np^{n+1} - (n+1)p^n + 1 > 0. \quad (27)$$

Так как в равенстве (24) $z > A$ на основании неравенства (19) и по доказанному

$$np^{n+1} - (n+1)p^n + 1 > 0,$$

то

$$\frac{dy_1}{dp} < 0. \quad (28)$$

Неравенство (28) остается в силе и тогда, когда $n > 0$ и p находится в интервале

$$0 < p < 1. \quad (29)$$

Доказательство аналогичное.

Таким образом, y_1 (21) — монотонно убывающая функция аргумента p при произвольном числе $n > 0$, когда аргумент удовлетворяет одному из неравенств:

$$0 < p < 1, \quad p > 1.$$

За значение y_1 (21) при $p = 1$ мы принимаем

$$y_m = \lim_{p \rightarrow 1} y_1 = \frac{z + Rn}{n+1} \quad (30)$$

где m — любая секция в экстракторе в промежутке между 1-й и n -й, т. е. нижней и верхней.

Из равенства (21) находим:

$$\lim_{p \rightarrow +\infty} y_1 = A = \frac{x_0}{k} \quad (31)$$

График функции y_1 (21) представлен на рис. 2.

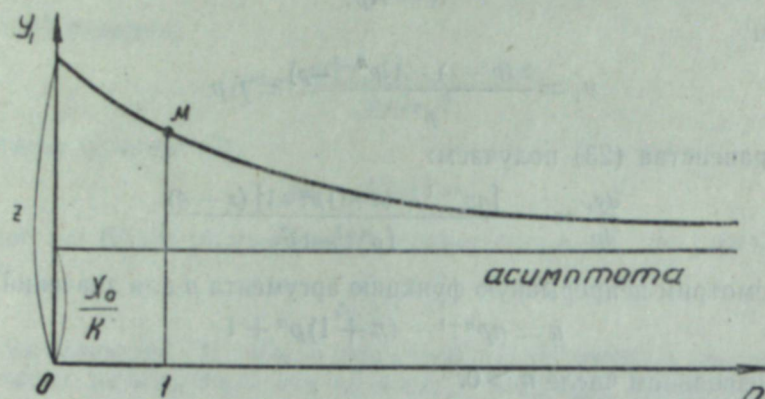


Рис. 2. Изменение концентрации кислоты в отходящей из экстрактора водной фазе в зависимости от величины параметра p .

Рассмотрим y_1 (21) как функцию непрерывного аргумента $n \geq 0$. Дифференцируем равенство (21):

$$\frac{dy_1}{dn} = \frac{(p-1)(R-pz)p^n \cdot \ln p}{(p^{n+1}-1)^2} \quad (32)$$

Отсюда

$$\frac{d^2y_1}{dn^2} = -\frac{(p-1)(R-pz)p^n(p^{n+1}+1)\ln^2 p}{(p^{n+1}-1)^3} \quad (33)$$

Из неравенства $py_1 - R > 0$ (13), пользуясь неравенством $z > y_1$ (18), получаем новое неравенство: $pz - R = 0$. Отсюда:

$$R - pz < 0. \quad (34)$$

Из равенств (32), (33) при $p > 1$, имея в виду неравенство (34), находим:

$$\frac{dy_1}{dn} < 0, \quad \frac{d^2y_1}{dn^2} > 0. \quad (35)$$

Далее, из равенства (21) находим:

$$(y_1)_{n=0} = z, \quad \lim_{n \rightarrow +\infty} y_1 = \frac{x_0}{k} \text{ при } p > 1 \quad (36)$$

$$\left. \begin{aligned} \lim_{n \rightarrow +\infty} y_1 &= z(1-p) + R \text{ при } 0 < p < 1 \\ y_1 &> z(1-p) + R \text{ при } 0 < p < 1. \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

Графики функций y_1 (21) при $p > 1$ и $0 < p < 1$ представлены на рис. 3 и 4.

Неравенство (37)

$$y_1 > z(1-p) + R$$

можно рассматривать как результат усиления неравенства

$$y_1 > \frac{x_0}{k},$$

так как $z(1-p) + R < \frac{x_0}{k}$, что легко проверить.

Из неравенств (35) следует, что y_1 — монотонно убывающая функция, и график y_1 (21) вогнут вверх.

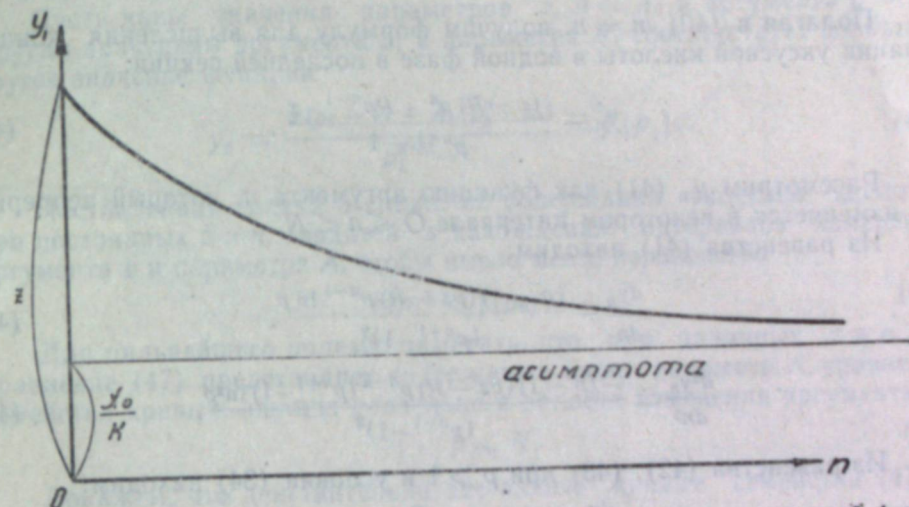


Рис. 3. Изменение концентрации кислоты в отходящей из экстрактора водной фазе в зависимости от числа секций n в экстракторе при $p > 1$.

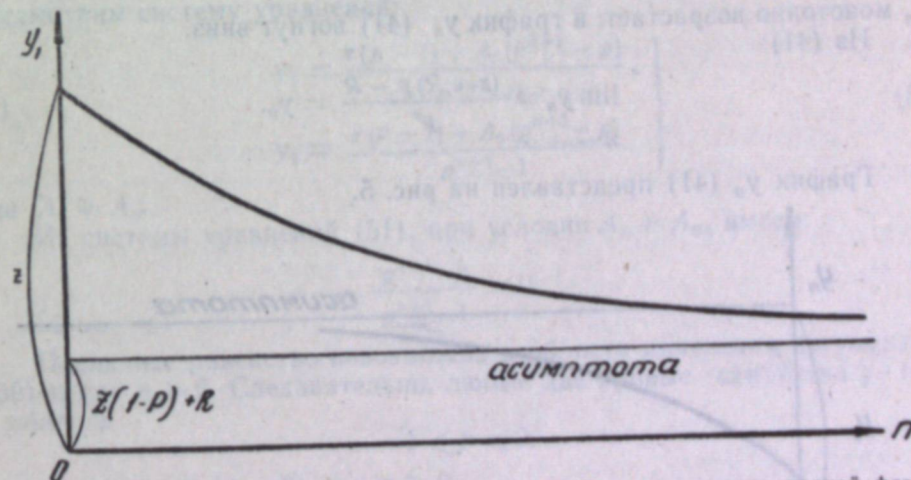


Рис. 4. Изменение концентрации кислоты в отходящей из экстрактора водной фазе в зависимости от числа секций n в экстракторе при $p < 1$.

Выведем теперь формулу для вычисления концентрации в любой секции экстрактора.

Исходя из материального баланса в каждой из m секций экстрактора ($m \leq n$), имеем по аналогии с равенствами (6):

$$\left. \begin{aligned} y_2 - y_1 &= py_1 - R, \\ y_3 - y_2 &= p^2 \cdot y_1 - p \cdot R \\ &\dots \dots \dots \\ y_m - y_{m-1} &= p^{m-1} \cdot y_1 - p^{m-2} \cdot R. \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Складывая равенства (38), находим:

$$y_m - y_1 = \frac{y_1(p^m - p) - R(p^{m-1} - 1)}{p - 1}. \quad (39)$$

Заменяя в (39) y_1 выражением из (21), имеем:

$$y_m = \frac{z(p^m - 1) + R(p^n - p^{m-1})}{p^{n+1} - 1}. \quad (40)$$

Полагая в (40) $m = n$, получим формулу для вычисления концентрации уксусной кислоты в водной фазе в последней секции:

$$y_n = \frac{(z + R)p^n - Rp^{n-1} - z}{p^{n+1} - 1}. \quad (41)$$

Рассмотрим y_n (41) как функцию аргумента n , который непрерывно изменяется в некотором интервале $0 \leq n < N$.

Из равенства (41) находим:

$$\frac{dy_n}{dn} = \frac{(p-1)(pz - R)p^{n-1} \ln p}{(p^{n+1} - 1)^2}. \quad (42)$$

$$\frac{d^2 y_n}{dn^2} = \frac{-(p-1)(pz - R)p^{n-1}(p^{n+1} + 1) \ln^2 p}{(p^{n+1} - 1)^3}. \quad (43)$$

Из равенства (42), (43) при $p > 1$ и условии (34) находим:

$$\frac{dy_n}{dn} > 0, \quad \frac{d^2 y_n}{dn^2} < 0. \quad (44)$$

y_n монотонно возрастает, и график y_n (41) вогнут вниз.

Из (41)

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} y_n = \frac{(z + R)p - R}{p^2} = y_0. \quad (45)$$

График y_n (41) представлен на рис. 5.

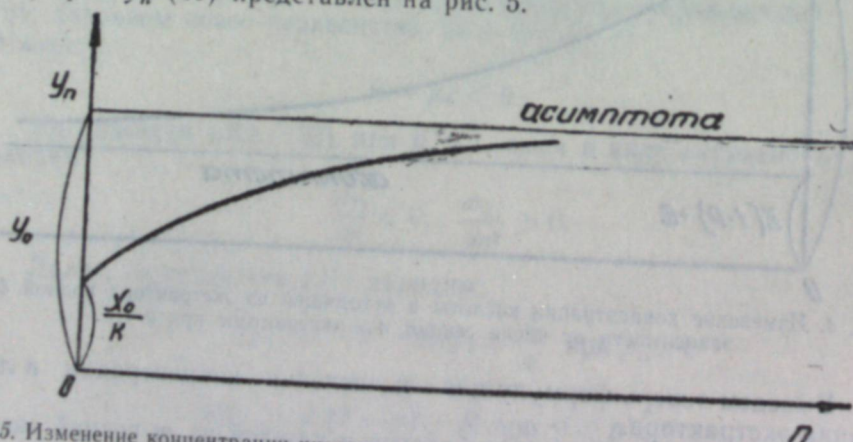


Рис. 5. Изменение концентрации кислоты в водной фазе в последней секции экстрактора в зависимости от числа секций в экстракторе при $p > 1$.

Концентрация в последней секции удовлетворяет двойному неравенству: при $n > 0$

$$\frac{x_0}{k} < y_n < \frac{(z + R)p - R}{p^2}. \quad (46)$$

Выведенной выше формулой (23)

$$y_1 = \frac{z(p-1) + A(p^{n+1} - p)}{p^{n+1} - 1} = f(p), \quad (47)$$

где $A = \frac{x_0}{k}$, $p > 1$ и n — целое положительное число, можно воспользоваться для решения вопроса о снижении содержания уксусной кислоты в отходящей водной фазе из первой секции.

Пусть даны значения параметров z , $A = A_0$ и аргумента $p = p_0$. Другим значениям аргумента p_1 и параметра A_1 соответствует вообще и другое значение функции

$$y_2 = \frac{z(p_1 - 1) + A_1(p_1^{n+1} - p_1)}{p_1^{n+1} - 1} = f(p_1). \quad (48)$$

Поставленная задача о снижении содержания уксусной кислоты, при постоянных z и n , сводится к нахождению интервалов изменения аргумента p и параметра A , чтобы имело место неравенство

$$f(p_1) < f(p_0). \quad (49)$$

Для дальнейшего полезно заметить, что при заданных z и $n > 0$ уравнение (47) представляет содержащее один параметр A уравнение семейства кривых, идущих раздельно в области изменения аргумента

$$1 < p \leq N. \quad (50)$$

Докажем, что действительно две любые кривые семейства (47) в рассматриваемой области не пересекаются.

Для того, чтобы найти пересечение двух кривых семейства (47), рассмотрим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{z(p-1) + A_1(p^{n+1} - p)}{p^{n+1} - 1}, \\ y_1 &= \frac{z(p-1) + A_0(p^{n+1} - p)}{p^{n+1} - 1} \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

где $A_1 \neq A_0$.

Из системы уравнений (51), при условии $A_1 \neq A_0$, имеем:

$$\frac{p^{n+1} - p}{p^{n+1} - 1} = 0.$$

Последнее равенство невозможно в области изменения аргумента p (50) и при $n > 0$. Следовательно, любые две кривые семейства y_1 (47) в области

$$1 < p \leq N$$

не пересекаются (рис 6) при $n > 0$.

Выберем на каких-нибудь двух кривых семейства (47) две точки $a(p_0; y_{11})$, $b(p_0; y_{12})$ (рис. 6) и найдем разность ординат этих точек, пользуясь уравнением (47). Последнее представим в следующем виде:

$$y_1 = B(p) + A \cdot C(p), \quad (52)$$

где

$$B(p) = \frac{z(p-1)}{p^{n+1} - 1}, \quad (53)$$

$$C(p) = \frac{p^{n+1} - p}{p^{n+1} - 1} \quad (54)$$

$$n > 0.$$

Из уравнения (52) находим:

$$y_{12} - y_{11} = (A_2 - A_1) C(p_0), \quad (55)$$

где

$$A_2 \neq A_1, p > 1, C(p_0) > 0.$$

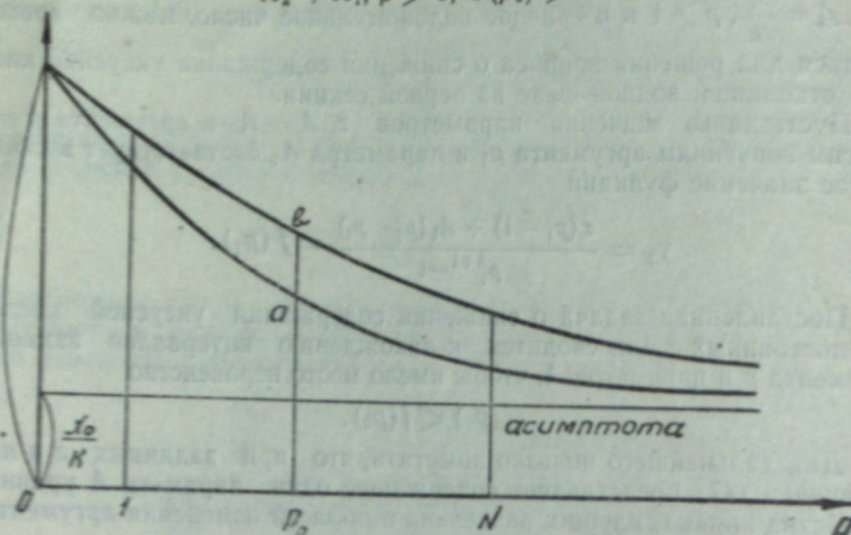


Рис. 6. Изменение концентрации уксусной кислоты в водной фазе в зависимости от величины параметров p и A .

Из равенства (55) имеем: если точка «b» выше точки «a», то

$$y_{12} > y_{11} \text{ и } A_2 > A_1; \quad (56)$$

если точка «b» ниже точки «a», то

$$y_{12} < y_{11} \text{ и } A_2 < A_1.$$

Из равенства (55) следуют и обратные положения:

если $A_2 > A_1$, то $y_{12} > y_{11}$;

если $A_2 < A_1$, то $y_{12} < y_{11}$.

Пусть $M(p_0; y_{10})$ — некоторая точка одной из кривых семейства y_1 (47), в уравнении которой параметр $A = A_0 > 0$; имеют место также следующие неравенства: $p_0 > 1$, $y_{10} > 0$, $n > 0$.

Уравнение рассматриваемой кривой пусть будет:

$$y_1 = B(p) + A_0 C(p). \quad (58)$$

Проведем через точку $M(p_0; y_{10})$ прямую, параллельную оси абсцисс:

$$y = y_{10}. \quad (59)$$

Для любой точки плоскости $m(p_m; y_{1m})$, где $p_m > 1$, $y_{1m} > 0$, находящейся ниже указанной прямой, будет справедливо неравенство:

$$y_{1m} > y_{10}. \quad (60)$$

Необходимо только указать соответственные интервалы для параметра

$$A = \frac{x_0}{k}.$$

Значение же параметра A получим из уравнения (52), как только будут известны координаты точки:

$$A_m = \frac{y_{1m} - B(p_m)}{C(p_m)}. \quad (61)$$

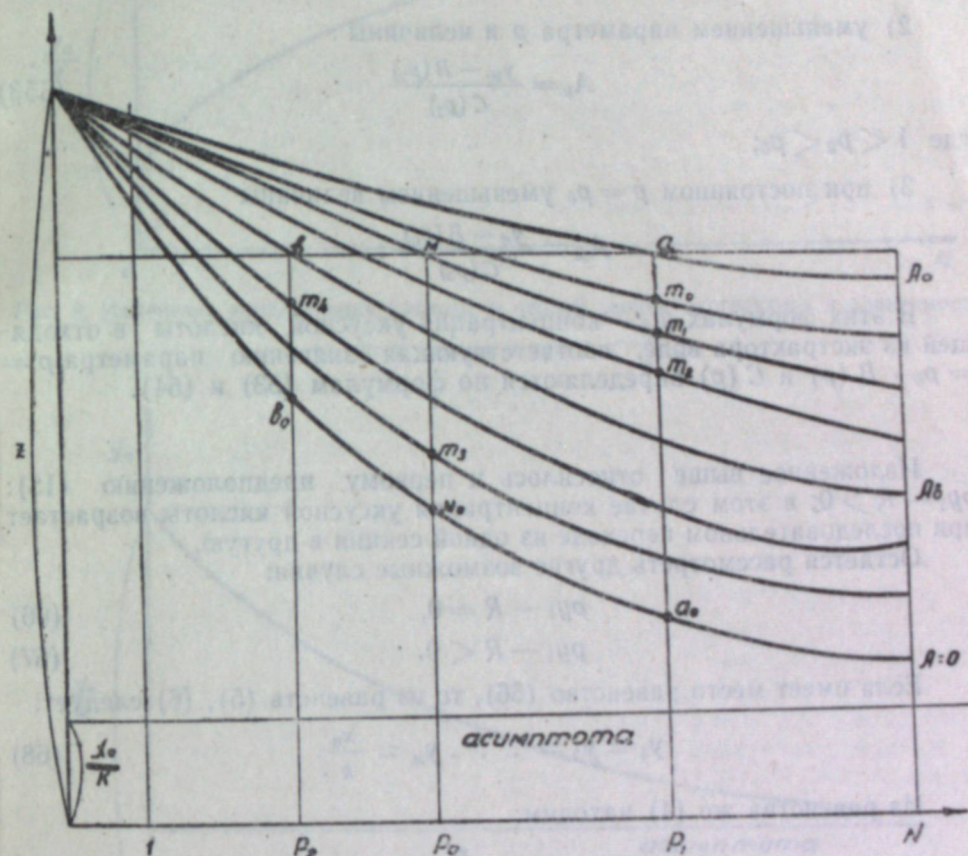


Рис. 7. Изменение концентрации кислоты в первой секции экстрактора в зависимости от величины параметров p и A .

Проведем через точки a и b (рис. 7) кривые семейства y_1 (52) и найдем соответственные значения параметра A по формуле (61), которые обозначим A_a , A_b .

$$A_a = \frac{y_{10} - B(p_1)}{C(p_1)}. \quad (62)$$

$$A_b = \frac{y_{10} - B(p_2)}{C(p_2)}. \quad (63)$$

Для кривой семейства y_1 (52), проходящей через точку $M(p_0; y_{10})$, значение параметра будет:

$$A_m = \frac{y_{10} - B(p_0)}{C(p_0)}. \quad (64)$$

Из рис. 7 видно, что снижение содержания уксусной кислоты в отходящей водной фазе из первой секции экстрактора может быть достигнуто:

- 1) увеличением параметра p и уменьшением величины

$$A_a = \frac{y_{10} - B(p_1)}{C(p_1)} \quad (65_2)$$

где

$$p_1 > p_0;$$

- 2) уменьшением параметра p и величины

$$A_b = \frac{y_{10} - B(p_2)}{C(p_2)} \quad (65_3)$$

где $1 < p_2 < p_0$;

- 3) при постоянном $p = p_0$ уменьшением величины

$$A_{\kappa} = \frac{y_n - B(p_0)}{C(p_0)}.$$

В этих формулах y_{10} — концентрация уксусной кислоты в отходящей из экстрактора воде, соответствующая значению параметра $p = p_0 \cdot B(p)$ и $C(p)$ определяются по формулам (53) и (54).

Изложенное выше относилось к первому предположению (13): $py_1 - R > 0$; в этом случае концентрация уксусной кислоты возрастает при последовательном переходе из одной секции в другую.

Остается рассмотреть другие возможные случаи:

$$py_1 - R = 0, \quad (66)$$

$$py_1 - R < 0. \quad (67)$$

Если имеет место равенство (66), то из равенств (5), (6) следует:

$$y_1 = y_2 = \dots = y_n = \frac{x_0}{k}. \quad (68)$$

Из равенства же (4) находим:

$$z = \frac{x_0}{k}. \quad (69)$$

Исследование случая $py_1 - R < 0$, когда, как это следует из равенств (6),

$$y_1 > y_2 > \dots > y_n$$

совершенно аналогично рассмотренному $py_1 - R > 0$, и по этой причине мы его не производим. Ограничимся представлением графиков $y_1 = f_1(n)$, $y_n = f(n)$, когда $py_1 - R < 0$ или $y_1 < \frac{x_0}{k}$ (рис. 8, 9).

Равенство (68) $y_1 = z$ имеет вполне определенный смысл. Из него следует, что с понижением коэффициента распределения уксусной кислоты между неводной и водной фазами отношение $\frac{x_0}{k}$ возрастает при постоянном x_0 ; возрастает, следовательно, и содержание уксусной кислоты в отходящей из экстрактора водной фазе:

$$y_1 = \frac{x_0}{k}.$$

При продолжительной работе экстрагента, даже если его кислотность постоянна, с уменьшением k может наступить такой момент, когда

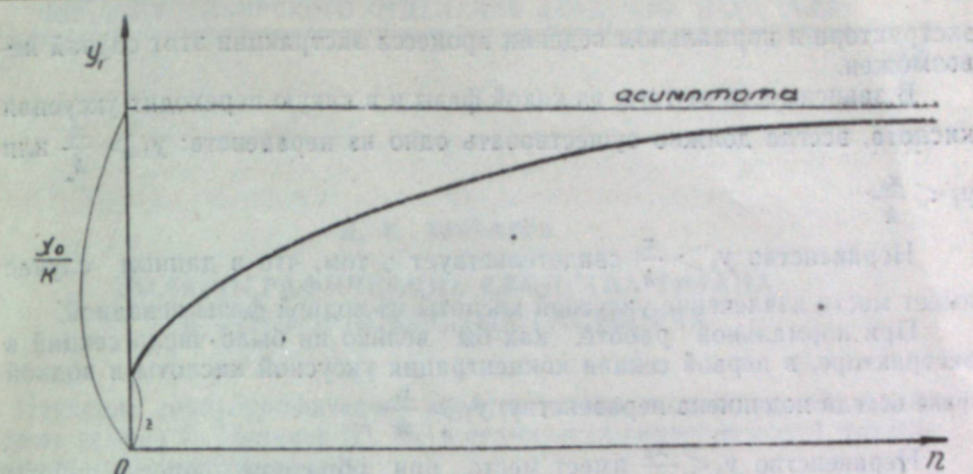


Рис. 8. Изменение концентрации кислоты в первой секции экстрактора в зависимости от числа секции n при $y_1 < \frac{x_0}{k}$.

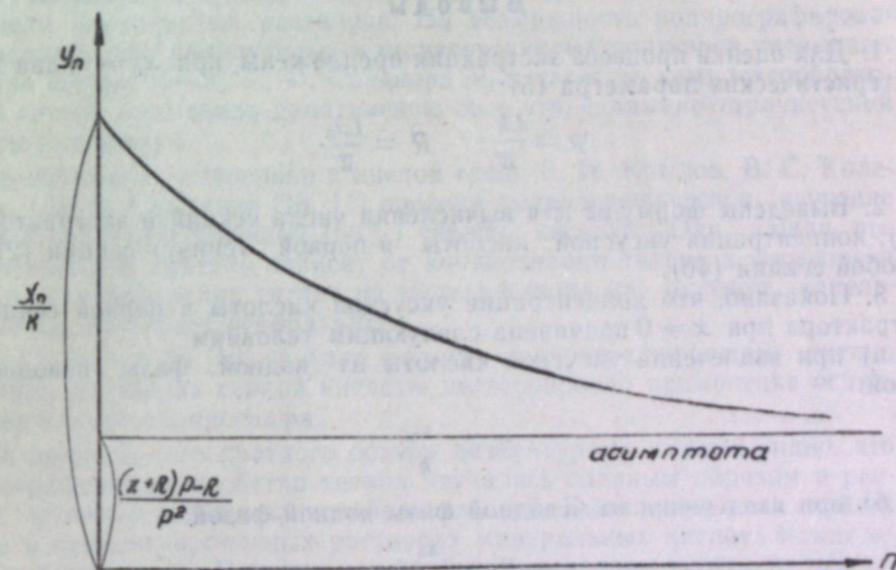


Рис. 9. Изменение концентрации кислоты в последней секции экстрактора в зависимости от числа секции n при $y_1 > \frac{x_0}{k}$.

отношение $\frac{x_0}{k}$ станет равным z — концентрации уксусной кислоты в питающей жидкости. Отношение $\frac{x_0}{k}$ повысится и при постоянном k , если в экстрагенте возрастет количество различных примесей (метилформиат, альдегиды, спирты и др.) и комплексных соединений уксусной кислоты со смолистыми веществами, содержащимися в экстрагенте. Как в том, так и в другом случае с определенного момента экстрагент не будет извлекать уксусную кислоту из одной фазы в другую, и концентрация ее во всех секциях водной фазы сделается одинаковой. В этот момент $z = \frac{x_0}{k}$.

В практических условиях при соответственном контроле за работой

экстрактора и нормальном ведении процесса экстракции этот случай не возможен.

В зависимости от того, из какой фазы и в какую переходит уксусная кислота, всегда должно существовать одно из неравенств: $y_1 > \frac{x_0}{k}$ или $y_1 < \frac{x_0}{k}$.

Неравенство $y_1 > \frac{x_0}{k}$ свидетельствует о том, что в данном случае имеет место извлечение уксусной кислоты из водной фазы неводной.

При нормальной работе, как бы велико ни было число секций в экстракторе, в первой секции концентрация уксусной кислоты в водной фазе всегда подчинена неравенству $y_1 > \frac{x_0}{k}$.

Неравенство $y_1 < \frac{x_0}{k}$ имеет место при обратном процессе работы экстрактора, когда уксусная кислота переходит из неводной фазы в водную фазу.

Выводы

1. Для оценки процесса экстракции предложены, при $x_0 \neq 0$, два характеристических параметра (5):

$$p = \frac{Lk}{W}, \quad R = \frac{Lx_0}{W}$$

2. Выведены формулы для вычисления числа секций в экстракторе (20), концентрации уксусной кислоты в первой (снизу) секции (21), в любой секции (40).

3. Показано, что концентрация уксусной кислоты в первой секции экстрактора при $x \neq 0$ подчинена следующим условиям:

а) при извлечении уксусной кислоты из водной фазы неводной фазой:

$$y_1 > \frac{x_0}{k};$$

б) при извлечении из неводной фазы водной фазой:

$$y_1 < \frac{x_0}{k};$$

в) при отсутствии извлечения:

$$y_1 = \frac{x_0}{k}.$$

4. Выведено неравенство (37) для концентрации уксусной кислоты в первой секции экстрактора при $0 < p < 1$:

$$y_1 < z(1 - p) + R.$$

5. Показано, что снижение содержания уксусной кислоты в отходящей из экстрактора водной фазе может быть достигнуто увеличением параметра p и уменьшением величины (65а) при $p > p_0$ и уменьшением параметра p и величины (65б) при $1 < p < p_0$.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28/V 1957

Д. И. КУРБАТОВ

ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНА В ФОСФОРНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ

Изучение полярнографических свойств титана в слабодиссоциирующей среде впервые провел С. Цельцер [1]. Но в его опытах гидролиз солей титана затруднял полярнографирование.

Р. Страбл [2], изучая полярнографию титана в слабодиссоциирующей среде, показал, что лучшие результаты получаются при связывании титана в комплекс с винной или лимонной кислотами. А. М. Занько, Б. А. Геллер и А. Д. Никитин [3, 4] также считают целесообразным применение для этой цели виннокислых растворов. На возможность полярнографирования титана из его виннокислых и щавелевокислых растворов указывали и другие авторы [5—8]. С. И. Синякова [9] в качестве комплексообразователя титана применила динатриевую соль этилендиаминотетрауксусной кислоты — трилон Б.

Во избежание гидролиза в кислой среде Е. И. Крылов, В. С. Колесов и В. А. Самарина [10, 11] провели полярнографическое изучение титана в концентрированной (66%) серной кислоте. Они нашли, что предельный ток линейно зависит от концентрации титана в растворе и процесс восстановления титана из этого раствора на ртутном капельном катоде протекает необратимо.

Я. П. Гохштейн [12] считает, что при полярнографировании титана в крепких растворах серной кислоты целесообразно применение осциллографического полярнографа.

Из приведенного краткого обзора литературных данных видно, что полярнографические свойства титана изучались главным образом в растворах органических комплексообразователей. Выявлению этих свойств титана в концентрированных растворах минеральных кислот почти не уделялось внимания. Поэтому нами и были проведены исследования полярнографических свойств титана в растворах фосфорной кислоты. Во избежание гидролиза мы применяли концентрированную фосфорную кислоту (пл. 1,75); возможность использования в качестве «фона» показана ранее.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для приготовления растворов использовалась спектрально чистая двуокись титана. Навеска двуокиси титана сплавлялась с пиросульфатом калия. Сплав после охлаждения растворялся в 15-процентной серной кислоте. Из полученного раствора аммиаком выделялась метатитановая кислота, осадок которой отфильтровывался через стеклянный фильтр и промывался слабым раствором аммиака до удаления ионов Ti^{2+} . Полученная метатитановая кислота растворялась в концентрированной фосфорной кислоте (ЧДА). Раствор переносился в мерную колбу и доводился до метки концентрированной фосфорной кислотой (пл. 1,75). Измерения производились на полярнографе СГМ-8 завода «Геоло-

горазведка». 1 мм шкалы гальванометра при чувствительности 1/10 соответствовал 0,03 μ а. Электролизером служила стеклянная пробирка высотой 90 мм, диаметром 30 мм; соединение с каломельным электродом осуществлялось через электролитический мостик с концентрированной фосфорной кислотой и промежуточный сосуд с насыщенным раствором хлористого калия. Перед измерениями через раствор пропускался водород.

Температура полярографических растворов поддерживалась постоянной, равной 25°.

В результате исследования установлена зависимость предельного тока и потенциала полуволны титана в фосфорнокислом растворе от концентрации титана (табл. 1), показан механизм процесса электрохимического восстановления титана в этих условиях.

Таблица 1

Зависимость величины предельного тока и потенциала полуволны титана в фосфорнокислом растворе от концентрации титана ($P = 0,756 \text{ мг}^{1/2} \text{ сек}^{-1/2}$ при $E = 0,2 \text{ в}$)

Концентрация титана в растворе		Значение предельного тока в мм шкалы гальванометра при чувствит. 1/5	$\frac{J_d}{C_{Ti}}$ мМ/л	Угловой коэффициент	$E_{1/2}$ вольт (НКЭ)
мМ/л	мг/мл				
0,5	0,023	7,0	14,0		0,160
1,0	0,047	13,0	13,0		
1,0	0,047	13,0	13,0	0,063	0,150
1,0	0,047	12,8	13,0		0,160
1,46	0,070	18,0	12,0		0,160
2,36	0,113	28,0	12,0	0,061	0,155
2,5	0,12	28,0	11,0	0,062	
3,3	0,158	33,4	12,0	0,062	
4,55	0,218	55,0	12,0		0,155
4,54	0,218	55,0	12,0	0,060	0,160
6,56	0,313	84,0	13,0	0,061	0,160
8,35	0,40	102	12,0		0,160
8,3	0,40	104	13,0	0,061	0,160
10,0	0,48	126	13,0	0,064	0,165
11,5	0,554	142	12,0	0,061	0,167
13,0	0,622	156	12,0		
14,2	0,68	180	13,0		
15,5	0,745	202	13,0		0,170
16,6	0,8	210	13,0	0,063	0,170
18,7	0,90	242	13,0	0,063	
18,7	0,90	240	13,0		0,170
19,0	0,90	240	13,0	0,063	
22,2	1,16	256	12,0	0,058	0,170
22,2	1,06	266	12,0	0,062	0,170
25,0	1,2	300	12,0	0,070	
27,8	1,33	334	12,0	0,075	0,170
31,2	1,50	382	12,3	0,073	0,170
35,6	1,71	408	12,0	0,075	0,180
41,7	2,0	504	12,0	0,075	0,180
45,5	2,18	600	13,0	0,076	0,180
Среднее значение				0,064	0,164

Данные табл. 1 показывают, что титан на ртутном капельном катоде восстанавливается. Предельный ток (высота волны) прямо пропорционален концентрации титана от 0,5 м до 45,5 мМ/л.

Прямолинейная зависимость предельного тока титана от его содержания в растворе, четко выраженная волна титана (рис. 1) и малое значение остаточного тока фосфорной кислоты дают возможность проводить количественные определения содержания титана в растворе методом полярографии.

Из табл. 1 также видно, что потенциал полуволны ($E_{1/2}$) с увеличением концентрации титана в растворе изменяется от 0,60 в при 0,5 мМ/л до 0,180 в при 45,5 мМ/л титана, что, видимо, обусловлено изменением коэффициентов активности ионов титана.

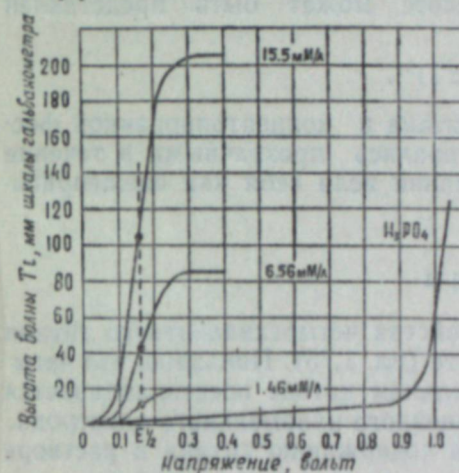


Рис. 1. Волны титана в фосфорной кислоте (пл. 1,75) при различной концентрации титана.

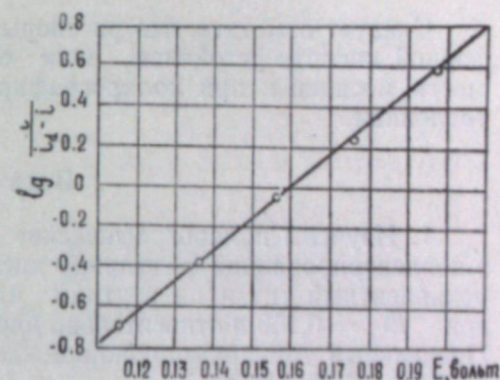


Рис. 2. Зависимость потенциала E от $\lg \frac{i}{i_d - i}$ для волны титана в фосфорной кислоте (пл. 1,75).

Анализ полярографических кривых титана в исследуемых растворах показывает, что прямые в координатах $\lg \frac{i}{i_d - i} - E$ (рис. 2) для растворов с содержанием титана от 0,5 до 25 мМ/л имеют угловой коэффициент, равный 0,062, который при дальнейшем увеличении концентрации титана возрастает и при 45,5 мМ/л достигает 0,076 (рис. 3).

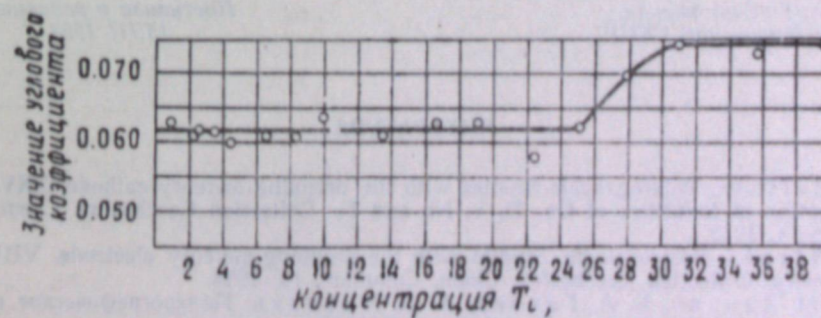


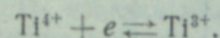
Рис. 3. Зависимость углового коэффициента прямых $\lg \frac{i}{i_d - i} - E$ от концентрации титана.

Совпадение значения коэффициента наклона прямой с величиной, вытекающей из уравнения:

$$E = E_{1/2} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{i}{i_d - i},$$

позволяет сделать вывод, что процесс катодного восстановления титана (до 25 мМ/л) из его фосфорнокислых растворов, содержащих концентрированную фосфорную кислоту, протекает обратимо с участием одного электрона. На обратимость процесса указывает также прямолинейная зависимость предельного тока от концентрации титана и незначительное изменение потенциала полуволны в широких интервалах концентраций.

Сказанное выше позволяет считать, что процесс катодного восстановления на ртутном капельном электроде четырехвалентного титана в концентрированной фосфорной кислоте может быть представлен уравнением

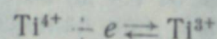


Следует отметить, что растворы титана в концентрированной фосфорной кислоте устойчивы. Они оставались прозрачными в течение шести месяцев и при полярографировании вели себя как свежеприготовленные.

Выводы

1. Изучены полярографические свойства четырехвалентного титана в концентрированной фосфорной кислоте (пл. 1,75). Показано, что четырехвалентный титан на ртутном капельном катоде восстанавливается при $E_{1/2} = 0,160$ в относительно насыщенного каломельного электрода. Предельный ток прямопропорционален содержанию титана в растворе от 0,5 до 45,5 мМ/л.

2. На основании найденного значения коэффициента наклона прямых $\left(\lg \frac{i}{i_d - i} - E\right)$, равного 0,062, прямолинейной зависимости предельного тока от содержания титана в растворе и постоянства $E_{1/2}$ в широких интервалах концентрации до 25 мМ/л сделано заключение, что процесс катодного восстановления титана протекает обратимо по уравнению



Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Zeltzer. Polarographic Studies with the dropping-mercury cathode, XXV, Investigation of Solutions of Ga, Ti, V, Nb and Ta. Collection Czechoslov. Chem. Commun., 4, 1932.
2. R. Strubl, Polarographic Studies with the dropping-mercury electrode, VIII, Titanometry. Collection Czechoslov. Chem. Commun., 10, 1938.
3. Н. М. Занько, Б. А. Геллер, А. Д. Никитин, Полярографическое определение титана. Заводская лаборатория, № 9, 1940.
4. А. М. Занько, Б. А. Геллер, А. Д. Никитин, Полярографическое определение титана в черных металлах. Заводская лаборатория, № 3, 1947.
5. V. Caglioti, G. Sartori, Polarographic Studies of Titanotartratic acid Complexes, Gazz. Chim. Ital., 66, 1936.
6. Я. П. Гохштейн, А. М. Дымов, Полярографический анализ в черной металлургии, Тр. комиссии по аналит. химии, № 2 (V), 1949.
7. R. P. Graham, I. A. Maxwell, Determination of Titanium in Rocks and Minerals. Anal. Chem., 23, 1951.
8. D. F. Adams, Titanium Polarographic Determination in Clays and clay Products. Anal. Chem., 20, 891, 1948.

9. С. И. Сиякова, Применение комплексонов в полярографии I. Определение титана, ЖАХ, т. 8, 1953.
10. Е. И. Крылов, В. С. Колееватова, В. А. Самарина, Полярографическое исследование сернокислых растворов титана и ниобия. ДАН СССР, т. 98, № 4, 1954.
11. Е. И. Крылов, В. С. Колееватова, Полярографическое исследование электродных реакций восстановления ниобия и титана из сернокислых растворов. ЖАХ, т. 11, вып. 2, 1956.
12. Я. П. Гохштейн, Определение ниобия в присутствии больших количеств титана методом осциллографической полярографии. Заводская лаборатория, № 1, 1956.

К. Ф. ВОЯТКОВСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОК МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ ОТТАИВАНИИ ИХ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ЗАЛЕГАНИЯ

При инженерно-геологических обследованиях строительных площадок в районе распространения многолетнемерзлых грунтов необходимо определять величину осадки грунтов при оттаивании. Величина этой осадки является одним из основных факторов, определяющих принцип строительства зданий и сооружений на исследуемой площадке.

Осадка мерзлого грунта при оттаивании обычно определяется при помощи специальных компрессионных приборов (одеметров), в которых испытываются небольшие образцы, взятые из шурфов или скважин на исследуемой площадке. Методика таких исследований достаточно разработана и освещена в литературе [1]. Экспериментальным путем здесь определяют относительные осадки образцов мерзлого грунта при оттаивании под давлением и по полученным данным находят коэффициенты, характеризующие величину осадки этого грунта. При этом, в соответствии с исследованиями Н. А. Цытовича [2], считается, что осадка состоит из двух частей, одна из которых не зависит от внешнего давления, а другая — пропорциональна давлению. Исходя из этих предпосылок, относительную осадку образца грунта при его оттаивании выражают формулой:

$$e = A_0 + a_0 p,$$

где

A_0 — приведенный коэффициент оттаивания,

a_0 — приведенный коэффициент уплотнения,

p — давление на грунт при оттаивании.

Указанная методика применима главным образом для определения величины осадки мелкодисперсных мерзлых грунтов. Если же мерзлые грунты содержат включения линз льда или крупной гальки, то точные данные получить трудно. При наличии же сцементированных льдом крупнообломочных грунтов или мерзлых разрушенных коренных пород эта методика в большинстве случаев становится совершенно неудовлетворительной, так как малые размеры испытываемых образцов не позволяют правильно оценить осадки грунта в массиве.

Величина осадки мерзлого грунта при оттаивании может быть определена также при помощи расчетных формул на основании данных о влажности грунта, его льдистости, объемном весе и других физических характеристик. Такие формулы были предложены А. Е. Федосовым [3], И. Н. Вотяковым [4], М. Ф. Киселевым [5], А. М. Пчелинцевым [6], В. П. Ушкаловым [7] и другими исследователями. Пользование формулами значительно облегчает определение осадок грунтов, но каждая из них приемлема лишь при определенных ограниченных условиях и поэтому не избавляет от экспериментального определения величины осадки.

При необходимости строительства зданий на многолетнемерзлых

грунтах по принципу, допускающему оттаивание их в основании фундаментов в процессе эксплуатации здания, часто появляется необходимость определения осадок грунтов под нагрузкой при оттаивании их в условиях естественного залегания. Однако такие определения производятся редко из-за сложности их выполнения и отсутствия разработанной методики и аппаратуры. Обычно применяемые штампы и способы испытания талых грунтов пробной нагрузкой [8, 9] для этих случаев мало подходят.

При проведении испытаний опытными штампами появляется необходимость искусственно оттаивать мерзлые грунты под ними. Это может осуществляться путем применения подогреваемых штампов [10], электропрогревом или другими способами. Но все это не обеспечивает возможности получения всех данных для расчета возможной осадки фундаментов. Трудно осуществить оттаивание грунтов под штампом на большую глубину. Но даже при относительно глубоком оттаивании определенная величина осадки может не соответствовать действительности из-за сложности учета механического взаимодействия талых и мерзлых грунтов на боковых границах чаши протаивания. Поэтому при установке опытных штампов на предполагаемой глубине закладки фундаментов удавалось определить лишь осадки небольшой подстилаемой толщи грунтов. Для оценки же осадок нижележащих слоев грунтов применялись только данные лабораторных исследований и расчетные показатели. В отдельных случаях этих данных оказывалось недостаточно.

С такими затруднениями автор встретился при разработке рекомендаций для выбора методов строительства основных сооружений алмазодобывающего предприятия в пос. Мирном Якутской АССР. Верхняя толща пород в этом районе, до глубины 50 м и более (мощность толщи многолетнемерзлых грунтов здесь примерно 300 м), представлена переслаивающимися пластами и прослойками доломитов, доломитизированных известняков, мергелей, мергелистых и известково-доломитовых глин. Доломиты и доломитизированные известняки залегают в виде отдельных пачек, состоящих из разобренных плит, промежутки между которыми заполнены льдом и глинистым грунтом. Между этими пачками находятся слои глин с включениями слабой щебенки [11].

Лабораторным путем были определены величины осадки мерзлых глинистых грунтов при оттаивании. Наличие в глинистых грунтах слабой щебенки и доломитовых плит давало основание считать, что относительная осадка исследуемой толщи мерзлых грунтов при оттаивании будет значительно меньше, чем относительная осадка отдельных образцов глинистых грунтов. Но точных данных для количественной оценки возможных осадок фундаментов зданий при оттаивании грунтов в их основании не было. Для получения таких данных нами был предложен метод послойного определения осадок мерзлых грунтов при оттаивании их в условиях естественного залегания, позволяющий определять дифференциально осадки всех слоев грунтов до глубины 10 м и более.

В конце 1957 г. предложенный метод был с успехом использован для определения осадок мерзлых грунтов при оттаивании на площадке промышленного строительства в пос. Мирном (исследования проводились экспедицией Института «Гипрозолото» под научным руководством сотрудника Северо-Восточного отделения Института мерзлотоведения АН СССР И. Н. Вотякова). Результаты исследований показали целесообразность широкого применения предложенного метода.

Сущность метода заключается в том, что в шурфе, непосредственно на исследуемой площадке, последовательно определяются осадки всех слоев мерзлых грунтов до требуемой глубины при оттаивании под воз-

действием определенного внешнего давления, создаваемого специальным штампом (рис. 1), который может опускаться по мере углубления шурфа. Площадь оттаивания грунта и размеры штампа должны быть достаточно большими, сопоставимыми с размерами фундаментов. Рекомендуется применять круглый штамп диаметром не менее 50 см.

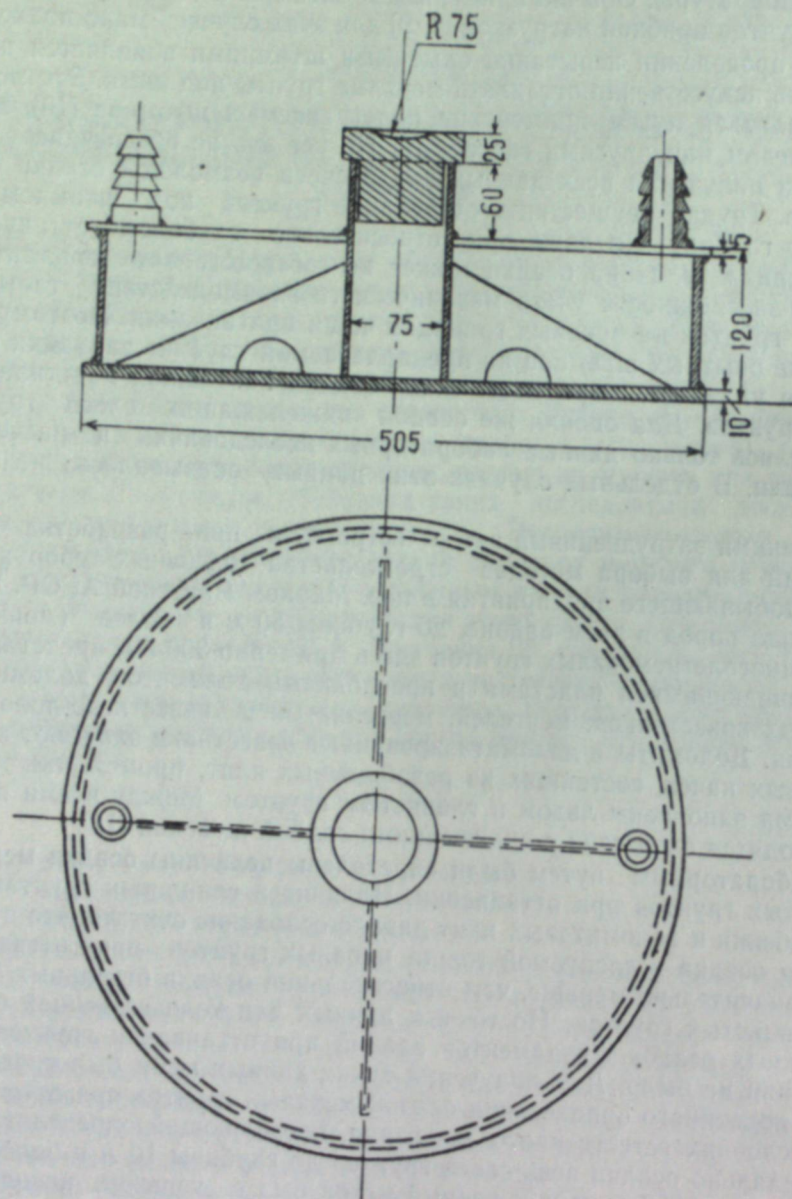


Рис. 1. Пустотелый металлический штамп.

На площадке, где намечено проводить определение осадок многолетнемерзлых грунтов при оттаивании их в условиях естественного залегания, пробуривается скважина, по которой точно определяются мощность и глубина залегания каждого слоя грунтов. При бурении отбираются керны грунта, которые затем используются для лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов и, по возможности, для лабораторного определения осадок грунтов при оттаивании. Рядом

со скважиной на глубину деятельного слоя проходит шурф прямоугольного сечения размером не менее $1,60 \times 1,60$ м и закрепляется деревянной крепью.

Общая схема установки представлена на рис. 2. Установка состоит из обогреваемого штампа, который при помощи рычажного пресса может получать определенную нагрузку нагревательной системы для оттаивания грунтов в основании штампа и измерительной аппаратуры.

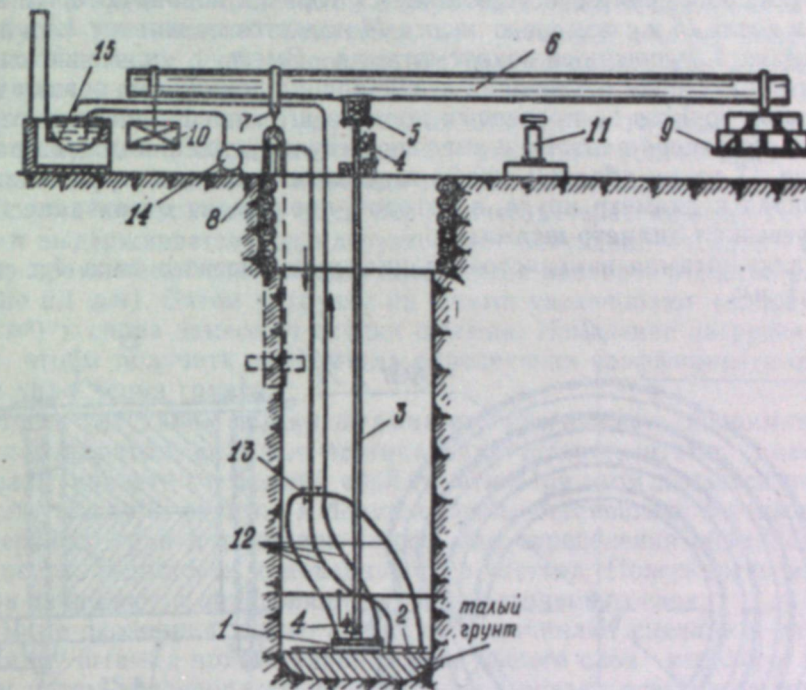


Рис. 2. Схема установки для определения осадок многолетнемерзлых грунтов при оттаивании.

Штамп 1 представляет собою пустотелый диск, сваренный из листового железа. В центре его имеется труба с шаровым подпятником и приваренными ребрами жесткости для равномерной передачи давления на основание. В верхней части штампа имеются два штуцера для подачи и отвода горячей воды.

Рычажный пресс состоит из деревянного бревна 6 длиной 6,5 м и диаметром 25 см, укрепленного на поперечной оси 7, которая в свою очередь укреплена на двух деревянных столбах с анкерами 8, закопанных по бокам шурфа. Нагрузка создается при помощи грузов, укладываемых на платформу 9, прикрепленную к концу рычага. На противоположном конце рычага укрепляется противовес 10 для уравнивания рычага. Расстояние от оси до подвески платформы равно 4,8 м, а до места приложения нагрузки — 0,6 м, т. е. соотношение плеч равно 1 : 8. Таким образом, для создания нагрузки в 2000 кг (давление на грунт будет равно 1 кг/см^2) необходимо уложить на платформу 250 кг. Нагрузка от рычага передается на штамп посредством вертикальной штанги 3 из металлических газовых труб диаметром 3". Штанга сборная из труб на муфтах (комплект для испытаний до глубины 10 м состоит из труб длиной 0,2; 0,4; 0,6; 1,2 м и четырех труб длиной 2,0 м). На концах штанги имеются шаровые пяты. Нижняя пята опирается на подпятник штампа, а верхняя — на подпятник регулирующего устрой-

ства 5, прикрепленного к рычагу пресса и позволяющего изменять требуемую длину штанги в пределах 20 см. Под рычагом пресса устанавливается домкрат 11, позволяющий поднимать рычаг вместе с грузом. Это избавляет от необходимости снятия груза в процессе перестановок штампа и облегчает установку рычага при очередной загрузке штампа. Вместо домкрата можно использовать также треногу с роликом и воротком или талью.

Оттаивание грунтов осуществляется горячей водой, которая нагревается в котле 15 и с помощью насоса 14 подается по шлангу 12 в штамп 1 и змеевик 2, уложенный вокруг штампа. Змеевик применяется для увеличения площади оттаивания и ликвидации влияния на осадку штампа мерзлых грунтов за пределами контура штампа. Количество горячей воды, поступающей в штамп и змеевик, регулируется с помощью распределителя 13 таким образом, чтобы в основании штампа грунт оттаивал равномерно и диаметр круга, в котором происходит оттаивание, в три раза превышал диаметр штампа.

Осадка штампа измеряется индикатором часового типа 4 с точностью 0,1 мм.

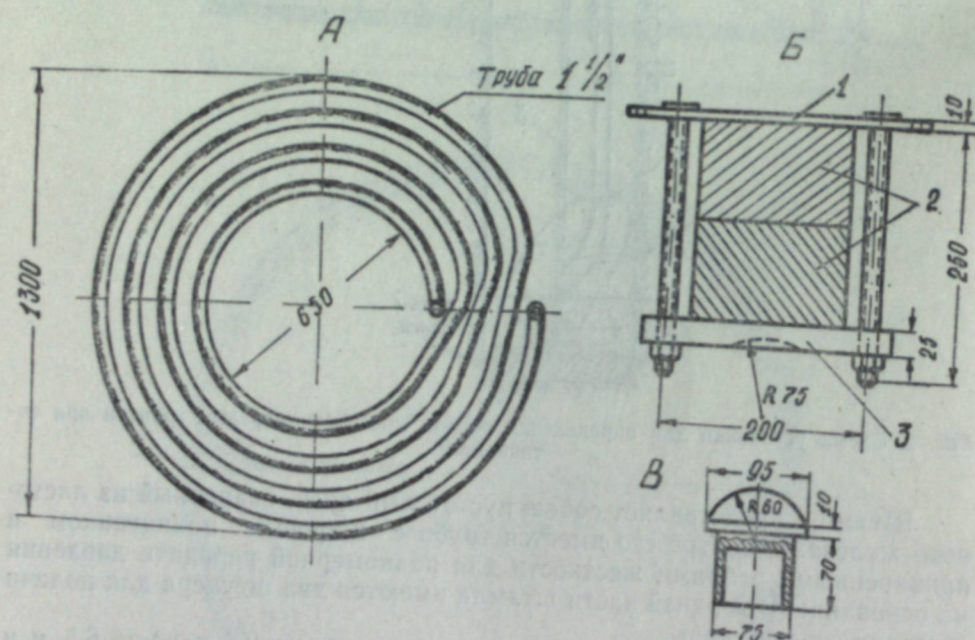


Рис. 3. Детали установки:

А — змеевик; Б — устройство для регулирования длины упорной штанги: 1 — плита, прикрепляемая к рычагу пресса, 2 — деревянные прокладки для регулирования высоты, 3 — металлическая плита со сферическим подпятником; В — шаровая пята.

Отдельные детали установки показаны на рис. 3. Работы по определению осадок грунтов при оттаивании производят следующим образом. На дне шурфа зачищают поверхность мерзлого грунта и замеряют глубину от поверхности земли. На мерзлый грунт устанавливают штамп и змеевик, которые подсоединяют к трубам от распределителя. Устанавливают вертикальную штангу требуемого размера, закрепляют индикатор и по нему ведут начальный отсчет. Штамп загружают путем опускания домкрата под рычагом пресса, на платформу которого предварительно была установлена требуемая нагрузка. Поверх змеевика вокруг штампа укладывают брезентовое утепленное покрытие для увеличения теплоотдачи змеевика в грунт. В штамп и змеевик подается горячая вода, циркуляция которой осуществляется до

тех пор, пока оттаивание грунта не достигнет примерно 20 см (при температуре воды 60—80°, такая глубина оттаивания может быть достигнута за 10—20 часов): после этого подачу воды прекращают. Оттаивание грунта еще продолжается некоторое время за счет охлаждения нагретого оттаявшего грунта и штампа. Желательно, чтобы общая глубина оттаивания не превышала половины диаметра штампа (25 см). Это вызвано тем, что при большой глубине оттаивания нормальные напряжения в грунте под штампом в верхней и нижней частях оттаявшего слоя будут значительно отличаться, что усложнит анализ получаемых данных. Так, если слой талого грунта рассматривать как лежащий на несжимаемом основании, то под центром жесткого круглого штампа нормальные напряжения будут составлять [2]: на глубине, равной радиусу штампа, — 0,965, а на глубине 1,5 радиуса — только 0,684 от среднего давления на единицу площади подошвы штампа.

Осадка штампа замеряется периодически через каждые 1—2 часа. Штамп выдерживается под нагрузкой до затухания осадок (осадку можно практически считать затухшей, когда разность отсчетов за 1 час меньше 0,1 мм). Затем нагрузку на штамп увеличивают (например, до 2 кг/см²) и снова замеряют осадки штампа. Изменение нагрузки производят, чтобы получить данные для определения коэффициента оттаивания и уплотнения грунта.

После затухания осадки штампа его разгружают, поднимая рычаг пресса домкратом, снимают вертикальную штангу, штамп, змеевик и начинают удалять оттаявший слой грунта. При этом делается описание состава, текстуры грунтов и берутся пробы оттаявшего, а также образцы мерзлого грунта из стенок шурфа для определения объемного веса, влажности, льдистости и механического состава. Поверхность мерзлого грунта зачищают и определяют глубину оттаявшего слоя.

После окончания такого цикла опыт начинают сначала и определяют осадку штампа при оттаивании следующего слоя мерзлого грунта. Таким путем последовательно определяют осадки всех слоев грунта до требуемой глубины.

Если в основании штампа находится мерзлый мелкодисперсный грунт, осадку которого можно легко определить в одометре, то достаточно провести замеры осадки штампа при одной ступени нагрузки. В этом случае надо брать дополнительные образцы мерзлого грунта для контрольного определения осадок в одометре.

При наличии слоя сильно льдистого грунта, который при оттаивании теряет несущую способность, давление на штамп следует уменьшать до такой величины, чтобы не было заметного выпирания грунта из-под него.

На основании результатов замеров осадок штампа для каждого слоя грунтов определяются расчетные приведенные коэффициенты оттаивания A_0 и уплотнения a_0 :

$$a_0 = \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1}, \quad A_0 = e_1 - \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1} p_1,$$

где

p_1 и p_2 — давления на грунт при первой и второй ступенях нагрузки, e_1 и e_2 — соответствующие значения относительной осадки грунта под штампом.

Для тех слоев грунта, осадка которых замерялась при одной ступени нагрузки на штамп, коэффициенты определяются по данным испытаний в одометрах и корректируются в соответствии с данными по осадке штампа (главным образом уточняется коэффициент оттаивания).

Так как изменение нагрузки на штамп в процессе опытов представляет некоторые затруднения, то в случае преобладания на исследуемой площадке грунтов, для которых определение величины осадок в одометрах затруднительно, рекомендуется проводить послойное определение осадок грунтов при оттаивании в двух рядом расположенных шурфах при разных нагрузках на штампы.

Работы по определению осадок лучше проводить зимой, так как в летний период могут быть осложнения из-за оттаивания и оползания грунта в стенках шурфа и возможно попадание в шурф надмерзлотных вод. Для удобства работ желательно над шурфом на время исследования устанавливать палатку.

На послойное определение осадок грунтов в шурфе глубиной до 10 м по опыту исследований в пос. Мирном, затрачивается около 1,5 месяца.

Описанный метод позволяет правильно оценить величину осадок многолетнемерзлых грунтов при их оттаивании в условиях естественного залегания. Применение его в инженерно-геологических изысканиях даст возможность более точно рассчитывать возможные осадки фундаментов при оттаивании многолетнемерзлых грунтов в их основании и, таким образом, будет способствовать правильному выбору наиболее целесообразных методов строительства проектируемых зданий и сооружений.

Северо-Восточное отделение
Института мерзлотоведения
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18/1 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Шущерина, Исследование осадок мерзлых грунтов при оттаивании. Мат. по лаборат. исследованиям мерзлых грунтов. Сб. 2, изд. АН СССР, 1954.
2. Н. А. Цытович, Механика грунтов. Госстройиздат, 1951.
3. А. Е. Федосов, Прогноз осадок сооружений при оттаивании грунтов оснований. Тр. Ин-та мерзлотоведения. Изд. АН СССР, 1944.
4. И. Н. Вотяков, Зависимость коэффициентов оттаивания и уплотнения для мерзлых грунтов от их влажности. Сб. Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 3. Изд. АН СССР, 1952.
5. М. Ф. Киселев, Способ определения относительного сжатия мерзлых грунтов при оттаивании их под нагрузками по простейшим физическим характеристикам. Сб. Деформации оснований при замерзании и оттаивании. Стройиздат, 1952.
6. А. М. Пчелинцев, Прогноз просадки при оттаивании вечномерзлых грунтов. Тр. Игарской научно-исслед. мерзлотной станции, вып. 1, Изд. АН СССР, 1954.
7. В. П. Ушкалов, Определение коэффициентов сжимаемости грунтов ненарушенной структуры, оттаивающих под давлением. Сб. Деформации грунтов при замерзании и оттаивании. Госстройиздат, 1955.
8. С. А. Роза, Изучение уплотняемости и несущих свойств грунтов, слагающих основание сооружения, Ленгидзп, 1947.
9. Технические условия на исследование грунтов как основания для сооружений, М, 1939.
10. В. П. Ушкалов, Определение давления фундамента в оттаивающем основании. Мат. к основам учения о мерзлых зонах земной коры, вып. 3. Изд. АН СССР, 1956.
11. К. Ф. Войтковский, И. Н. Вотяков, Условия строительства в районе пос. Мирного Якутской АССР. Тр. Сев.-Вост. отд. Ин-та мерзлотоведения АН СССР, вып. 1, 1958.

А. Ф. Зильберборд

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЬДОЗАКЛАДКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ЗАЛЕГАЮЩИХ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

На шахтах, разрабатывающих угольные пласты, залегающие в многолетнемерзлых горных породах, в ряде случаев представляется возможным использовать лед в качестве закладочного материала. Применение льдозакладки в промышленном масштабе позволяет максимально использовать суровые природные условия Севера в производственных целях, уменьшить потери угля, сократить расход дефицитных крепежных материалов, а также значительно облегчить управление горным давлением.

Процесс возведения льдозакладки заключается в искусственном образовании в горной выработке ледяного массива, намораживаемого путем периодических поливов и заполняющего все выработанное пространство или в закладке этого пространства ледяными блоками, изготовленными на поверхности. Из-за большой трудоемкости закладочных работ второй способ менее рационален.

Предложение использовать лед в горном деле не является новым. Еще в 1931 г. П. А. Леонов высказал мысль о целесообразности применения «ледяной закладки» на шахтах Прокопьевского района Кузбасса [1]. Им впервые произведен упрощенный теплотехнический расчет интенсивности льдообразования в подземных выработках и рекомендованы оба варианта возможного использования льда в качестве закладочного материала. Предложения П. А. Леонова обсуждались в периодической печати, высказывалось мнение о необходимости производственных опытов [2]. Однако в то время такие опыты поставлены не были.

Только через 18 лет по инициативе С. И. Луценко льдозакладка начала применяться на одном из рудников Норильского комбината. Объем льда, намороженного послойно непосредственно в горных выработках, достигал здесь около 50 000 м³ в год. Стоимость 1 м³ льда оказалось в 2,5—3 раза ниже, чем при скреперной закладке. Однако скорость возведения льдозакладки была очень низка, а потому заполнение отдельных камер льдом затягивалось на многие месяцы.

Медленное возведение льдозакладки задерживает использование льда в горном деле, так как часто оказывается затруднительным удержать работы по выемке и закладке. Для более широкого применения льдозакладки и ее распространения на многие горнопромышленные районы криолитозоны следует уточнить ряд теоретических и горнотехнических вопросов с тем, чтобы значительно увеличить скорость намораживания льда в подземных выработках. В первую очередь это относится к расчету интенсивности процесса льдообразования, выбору режима и схемы проветривания. В этом направлении сделано пока еще немного. В частности, в исследованиях В. П. Бакакина [3] указанные основные положения рассмотрены лишь в общем виде.

Целью настоящей работы является анализ основных процессов, свя-

занных с намораживанием льда в подземных выработках для обоснования возможности широкого применения льдозакладки на угольных рудниках Севера.

Из всех применяющихся способов закладки выработанного пространства наиболее близко к ледяной стоит гидравлическая закладка, которая нашла широкое применение при разработке угольных месторождений как длинными, так и короткими забоями. В последнем случае удавалось уменьшить потери угля с 50—25 до 15—10%, намного упростить управление горным давлением, а также избежать подземных пожаров и больших деформаций земной поверхности.

При выборе системы очистной выемки с льдозакладкой нужно принимать в расчет необходимость подачи большого количества холодного воздуха и пока еще недостаточно высокую скорость льдообразования в подземных выработках.

Учитывая все особенности льдозакладки, мы считаем, что в настоящее время наилучшие результаты она может дать в сочетании с одной из систем узких забоев, из которых наиболее распространена камерно-столбовая. Это, конечно, не исключает возможности применения льдозакладки и при сплошной системе очистной выемки.

Так, вполне может быть целесообразной замена льдом бутовых полос. Возможно также применение льдозакладки и с целью выемки угля, оставленного в целиках за время эксплуатации шахты, тем более, что поддержание подготовительных выработок при камерной системе разработки не представляет затруднений.

Естественная температура горных пород в освоенных районах криолитозоны наиболее часто колеблется в пределах от $-1,5$ до -5° и вполне благоприятна для сохранения льда в подземных выработках. Предварительное же охлаждение окружающих выработку горных пород позволяет, как это будет показано ниже, при любых отрицательных температурах породного массива успешно намораживать большие объемы льда, используя в качестве основного хладагента атмосферный воздух. Низкие температуры последнего во многих угольных бассейнах Северо-Востока дают возможность производить интенсивное намораживание в течение 5—6 месяцев в году. При этом основную массу льда целесообразно намораживать в течение наиболее холодных месяцев (ноябрь — март). Средняя температура за этот период составляет для Норильска $-20,7^\circ$, Тикси $-28,1$, Сангар $-31,7$, Аркагалы $-32,2$ и для Анадыря $-13,0^\circ$.

В теплотехническом расчете процесса возведения льдозакладки основным является определение времени предварительного охлаждения и интенсивности льдообразования в зависимости от режима проветривания, естественной температуры горных пород и других факторов.

Предварительное охлаждение горных пород, окружающих выработку, необходимо для уменьшения интенсивности теплообмена между воздухом и стенками выработки в период закладочных работ. Наиболее интенсивное тепловыделение при охлаждении породного массива происходит в первое время проветривания выработки. Поэтому даже не продолжительное, но интенсивное предварительное проветривание в морозные месяцы позволяет значительно лучше использовать охлаждающую способность воздуха при намораживании льда в подземных выработках. Для определения времени предварительного охлаждения мы воспользовались зависимостью, полученной О. А. Кремневым [4], приближенно решившим уравнение теплопроводности Фурье.

Величина теплового потока, выделяемого породным массивом при охлаждении, при прочих равных условиях зависит от времени охлажде-

ния выработки. Эта зависимость, выраженная коэффициентом пропорциональности k_t $\text{ккал/м}^2 \text{град. час} = f(\tau)$ для наиболее типичного случая, приводится на рис. 1. В расчете были приняты следующие значения отдельных величин: ширина выработки 8 м; высота (мощность) пласта — 3,5 м; длина — 150 м; средний коэффициент конвективного теплообмена $\alpha = 15 \text{ ккал/м}^2 \text{град. час}$; коэффициент теплопроводности горных пород $\lambda_p = 1,5 \text{ ккал/м град. час}$; объемный вес пород $\gamma_p = 2400 \text{ кг/м}^3$; удельная теплоемкость пород $C_p = 0,20 \text{ ккал/кг град.}$

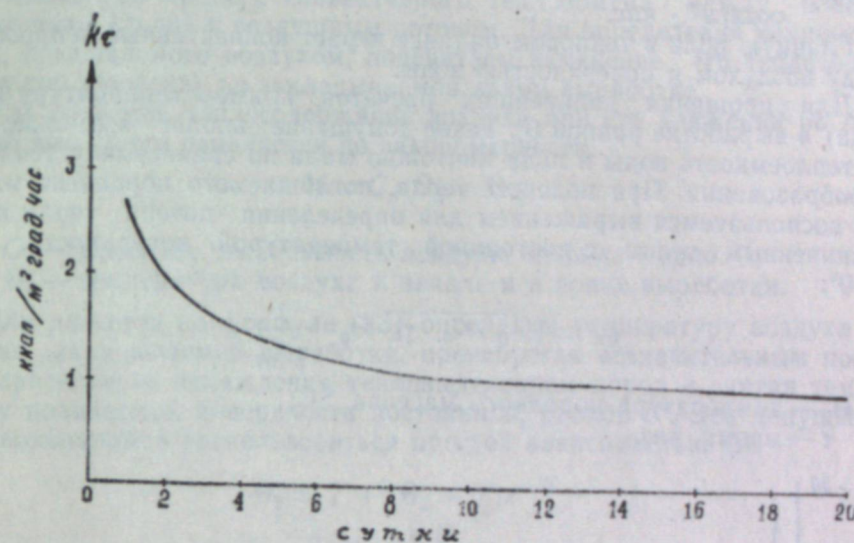


Рис. 1. Зависимость коэффициента нестационарного теплообмена от времени проветривания.

При предварительном охлаждении породного массива в течение 8—10 суток поток тепла из боковых пород уменьшается в 13—15 раз. Поэтому в дальнейших расчетах теплообмен между воздухом и горными породами можно не учитывать.

Время предварительного проветривания, таким образом, можно принять равным 8—10 суткам.

Для подсчета интенсивности льдообразования предложено много формул, выведенных главным образом на основании наблюдений в определенных условиях, а потому непригодных для практического использования во всех случаях. Эти формулы обычно эмпирически связывают время замерзания слоя воды с его толщиной и температурой воздуха. Общеизвестная формула Стефана, выведенная теоретически при наличии значительных упрощений, может быть применена лишь при большой толщине льда.

В рассматриваемом нами случае определение интенсивности льдообразования усложняется еще тем, что намораживание производится не послойно, а путем полива всей поверхности выработки. В этом случае исходной величиной, позволяющей определить количество льда, намораживаемого за определенный промежуток времени, следует считать изменение теплосодержания воздуха при его движении по закладываемой льдом выработке. По количеству тепла, поглощаемого 1 м^3 воздуха, можно приближенно определить величину удельного теплосъема с обливаемой поверхности. Рассмотрим этот процесс более подробно.

Тепловой баланс обливаемой поверхности подземной выработки может быть представлен следующим выражением:

$$B - q_{\text{п.}} - q_{\text{конв.}} - q_{\text{исп.}} - q_{\text{изл.}} = 0. \quad (1)$$

где

B — тепло, выделяемое при замерзании воды, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$;

$q_{\text{п.}}$ — тепло, поглощаемое породным массивом, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$;

$q_{\text{конв.}}$ — тепло, поглощаемое воздухом в процессе конвективного теплообмена, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$;

$q_{\text{исп.}}$ — тепло, поглощаемое за счет испарения, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$;

$q_{\text{изл.}}$ — тепло, поглощаемое в результате теплообмена излучением, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$.

Главную роль в тепловом балансе играет конвективный теплообмен между воздухом и поверхностью воды.

Для упрощения дальнейших расчетов примем температуру воды (льда) в выработке равной 0° . Такое допущение вполне возможно, так как теплоемкость воды и льда ничтожно мала по сравнению с теплотой льдообразования. При подсчете тепла, поглощаемого породным массивом, воспользуемся выражением для определения потери тепла полуограниченным телом с постоянной температурой поверхности, равной 0° :

$$q_{\text{п.}} = V \sqrt{\lambda_{\text{п.}} \cdot c_{\text{п.}} \cdot \gamma_{\text{п.}} \cdot \Theta_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi \tau}}, \quad (2)$$

где Θ_0 — температура породного массива, $^\circ\text{C}$;
 τ — время, час.

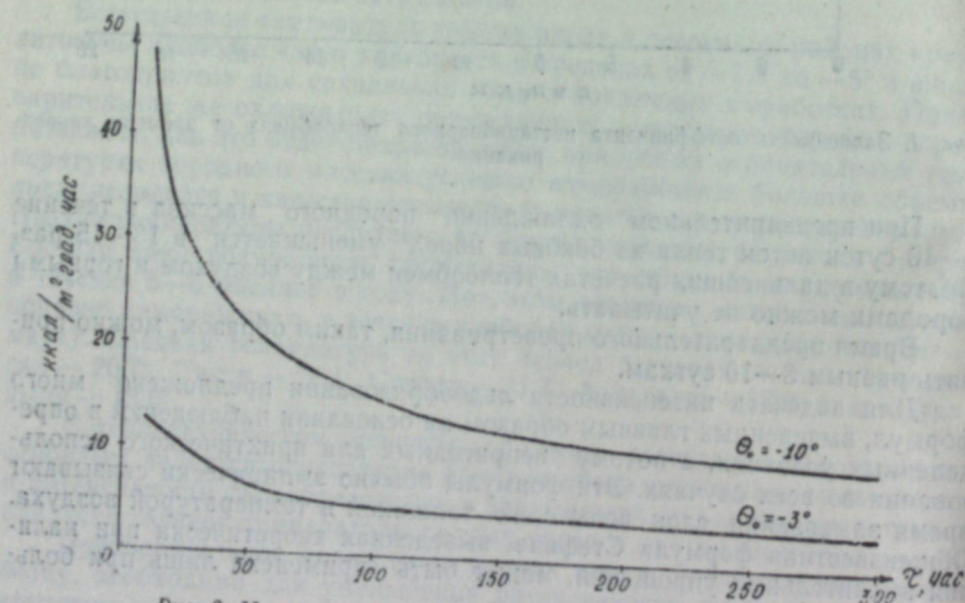


Рис. 2. Изменение теплопотока в горные породы во времени.

При достаточном предварительном охлаждении пород величина теплопотока в породный массив $q_{\text{п.}}$ уже через 100—150 часов после начала работ по намораживанию уменьшается до 8—17 $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$. (рис. 2). Вполне понятно, что такой теплопоток не может существенно повлиять на скорость льдообразования.

Также можно не учитывать и теплообмен излучением, так как воздух является телом диатермичным. Содержание в нем водяных паров и углекислого газа настолько мало, что не может в значительной степени повлиять на интенсивность лучистого теплообмена. И действительно,

величина $q_{\text{изл.}}$, подсчитанная по одной из эмпирических формул, колеблется в пределах 0,03—0,08 $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$.

Большее значение имеет процесс испарения, так как $q_{\text{исп.}}$ может колебаться в широких пределах в зависимости от режима проветривания, площади поливаемой поверхности и относительной влажности атмосферного воздуха. Тепло, поглощаемое при испарении, подсчитанное с учетом полного влагонасыщения воздуха на исходящей струе, в большинстве случаев не будет превышать 130—150 $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час}$.

Рассмотрим процесс конвективного теплообмена между поверхностью воды (льда) и воздушным потоком. Для определения количества тепла, поглощаемого воздухом, подсчитаем изменение его теплосодержания при движении по закладываемой льдом выработке.

Как известно, теплосодержание воздуха при его движении по подземной выработке изменяется по закономерности:

$$\Delta i = C_p (\Theta_2 - \Theta_1), \quad (3)$$

где

C_p — удельная теплоемкость воздуха, $\text{ккал/кг} \cdot \text{град}$.

Θ_1 и Θ_2 — температура воздуха в начале и в конце выработки.

Для расчетов по формуле (3) определим температуру воздуха Θ_2 в конце закладываемой выработки, пренебрегая незначительным после предварительного охлаждения тепловыделением пород и считая температуру поливаемой поверхности постоянной, равной 0° . Эти допущения дают возможность воспользоваться простой зависимостью [5]:

$$\Theta_2 = T + (\Theta_1 - T)e^{-SL}; \quad (4)$$

$$S = \frac{\alpha \cdot U}{3600 \cdot C_p \cdot G},$$

где

T — температура поливаемой поверхности, $^\circ\text{C}$;

e — основание натуральных логарифмов;

U — периметр поливаемой поверхности, м;

G — расход воздуха, кг/сек ;

L — длина выработки, м.

В связи с тем, что до настоящего времени отсутствуют достаточно точные выражения для определения коэффициента α при теплообмене между воздухом и поверхностью воды (льда), мы для подсчета S использовали зависимость, эмпирически полученную А. Н. Щербань [6] для турбулентного движения воздуха по шероховатым трубам:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot V^{0.8} \cdot \gamma^{0.8} \cdot U^{0.2}}{F^{0.2}},$$

где

ε — коэффициент шероховатости, равный $1 \div 3$;

γ — объемный вес воздуха, кг/м^3 ;

F — площадь поперечного сечения выработки, м^2 ;

V — скорость движения воздуха, м/сек .

Подставляя в выражение для определения S значение α , получим:

$$S = \frac{2 \cdot \varepsilon}{C_p \cdot \gamma^{0.2} \cdot 3600} \times \frac{u^{1.2}}{F^{1.2} \cdot V^{0.2}}.$$

При $T = 0$ формула (4) примет вид:

$$\Theta_2 = \Theta_1 e^{-SL}, \quad (4')$$

Подставляя в формулу (3) значение Θ_2 , получим следующее выражение для расчета изменения теплосодержания воздуха:

$$\Delta i = C_p \Theta_1 (1 - e^{-SL}). \quad (3')$$

Тогда интенсивность теплосъема за счет конвективного теплообмена составит:

$$q_{\text{конв.}} = \frac{\Delta i \cdot G}{P} = \frac{C_p \Theta_1 (1 - e^{-SL}) \cdot F \cdot V \cdot \gamma \cdot 3600}{P}, \quad (5)$$

где P — площадь поливаемой поверхности, м^2 .

Как видно из приведенной формулы, интенсивность конвективного теплообмена при намораживании зависит от начальной температуры воздуха, скорости его движения, площади и периметра поливаемой поверхности. В табл. 1 приводятся значения $q_{\text{конв.}}$ и $q_{\text{исп.}}$ в зависимости от режима проветривания для условий, приводимых на стр. 49. При этом площадь поливаемой поверхности принята равной 1500 м^2 , а ее периметр — 15 м .

Таблица 1
Изменение конвективного теплопотока $q_{\text{конв.}}$ и теплосъема за счет испарения $q_{\text{исп.}}$ в зависимости от режима проветривания

Скорость движения воздуха по камере, м/сек	Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{сек}$	Изменение теплосодержания воздуха при его движении по камере, ккал/кг	$q_{\text{конв.}}$, $\text{ккал/м}^2\text{час.}$	$q_{\text{исп.}}$, ккал/м^2	Необходимая мощность на валу вентилятора, квт	Примечание
0,5	14	1,30	55	30	1,0	
1,0	28	1,20	105	60	7,3	
2,0	56	1,00	165	120*	58,5	
3,0	84	0,95	250	120	197,0	
5,0	140	0,90	340	120	—	
8,0	224	0,80	500	120	—	Аэродинамические сопротивления горных выработок приняты равным 20 мм рт.ст.

* При больших скоростях движения воздуха предположение о полном его влагонасыщении на исходящей струе вряд ли состоятельно.

Таким образом, исходя из производительности вентиляторной установки и величины периметра поливаемой поверхности, можно определить и величину теплосъема. Из табл. 1 видно, что для намораживания больших объемов льда скорость движения воздуха, а следовательно, и его расход, должны быть весьма велики. Это потребует вентиляторов большой мощности, особенно в начале закладочных работ.

По мере заполнения камеры скорость движения воздуха возрастет, что приведет к увеличению коэффициента конвективного теплообмена, а следовательно, и теплосъема с обливаемой поверхности. Поэтому наиболее целесообразно разбить весь период намораживания на несколько этапов, для каждого из которых следует установить определенный расход воздуха. При его выборе можно исходить из постоянства теплосъема в единицу времени или из его постепенного увеличения. Выбор режима проветривания необходимо увязать с производственными условиями предприятия.

При намораживании льда в подземных выработках необходимо учитывать имеющийся опыт строительства ледяных изотермических складов системы М. М. Крылова [7]. Работы следует вести без перерыва. При намораживании льда можно использовать магистральную установку с дефлекторными насадками. При постоянном давлении перед насадками в $1,5\text{--}2 \text{ ат}$ расход воды на одну насадку составит около

90 л/мин. [8]. Таким образом, для получения $100\text{--}150 \text{ м}^3$ льда в сутки необходима установка $10\text{--}12$ насадок, располагаемых по длине выработки, как можно ближе к ее кровле.

Для увеличения площади поливаемой поверхности можно использовать устройства, применяемые при заготовках больших объемов льда на поверхности, в частности ледяную градирню.

Может явиться целесообразным также и оставление крепежных стоек для образования отдельных ледяных столбов-опор.

При намораживании очень важно правильно подобрать расход поливной струи, особенно при поливе наклонных и вертикальных поверхностей.

Увеличения коэффициента конвективного теплообмена в камерах больших размеров, а следовательно, и увеличения теплосъема, особенно в первый период закладочных работ, можно достигнуть перемешиванием воздуха путем установки по длине камеры нескольких вентиляторов с длинными лопастями и небольшим числом оборотов.

При промышленном применении льдозакладки на руднике Норильского комбината и опытных работах на одной из шахт Аркаглинского угольного района применялось послойное намораживание. Скорость движения воздуха по камере составляла $0,01\text{--}0,05 \text{ м/сек}$, в результате чего и температура воздуха не была достаточно низкой, составляя при входе в камеру от -10 до -12° . Надо полагать, что процесс замораживания воды протекал чрезвычайно медленно. Предлагаемый же способ закладки выработанного пространства может дать хорошие результаты только при большом дебите вентиляторной установки в пределах $50\text{--}100 \text{ м}^3/\text{сек}$ и более и намораживании поливами с использованием всей поверхности выработки, а в случае необходимости и создания дополнительной поверхности. Все это дает возможность намораживать в течение суток $100\text{--}150 \text{ м}^3$ льда, что позволит увязать закладку льдом выработанного пространства с работами по выемке.

Таким образом, проведенные расчеты подтверждают возможность более широкого применения льдозакладки при позднем способе разработки месторождений полезных ископаемых, залегающих в многолетнемерзлых горных породах.

Северо-Восточное отделение
Института мерзлотоведения
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
3/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Леонов, Ледяная закладка. За уголь Востока, № 15, 1931.
2. Л. Д. Шевяков, Экономичен ли способ ледяной закладки. За уголь Востока, № 22, 1931.
3. В. И. Бакакин, Лед в качестве материала для закладки выработанного пространства. Изд. АН СССР, 1955.
4. О. А. Кремнев, Тепловыделение при охлаждении породных массивов в свежих шахтных выработках. Тр. Ин-та теплоэнергетики АН УССР, № 8, Изд. АН УССР, Киев, 1952.
5. Б. Шточес, Б. Черник, Вентиляция глубоких шахт. ОНТИ Украины, 1934.
6. А. Н. Шербань, Основы теории и методы тепловых расчетов рудничного воздуха. Углетехиздат, 1953.
7. М. М. Крылов, Ледяные изотермические склады. Изд. АН СССР, 1954.
8. Н. Т. Кудряшов, Механизация намораживания льда в бунтах. Холодильная промышленность, № 6, 1940.

В. В. СОРОКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИИ В РАБОЧИХ ОРГАНАХ ПОГРУЗОЧНЫХ МАШИН ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В настоящее время имеется ряд исследований, показывающих, что использование вибрации значительно увеличивает эффективность работы многих строительных, сельскохозяйственных и промышленных машин. Это положение полностью относится и к применению вибрации в рабочих органах погрузочных машин состоит в том, что вибрация, цветной металлургии. Сущность виброэффекта при использовании его в рабочих органах погрузочных машин состоит в том, что вибрация, передаваясь на погружаемый материал, создает так называемую вибротекучесть последнего, а благодаря этому увеличивается количество одновременно захватываемого материала и весьма значительно (в 3—4 раза, по сравнению со «статическим» процессом) снижаются необходимые рабочие условия по внедрению рабочего органа в материал.

Разработкой вопроса применения вибрации в рабочих органах погрузочных машин наша лаборатория начала заниматься с 1956 г. В настоящее время исследования закончены по машинам периодического действия с верхним захватом (вибрационный гребок) и с нижним захватом (виброковш).

Ниже мы приводим результаты этих исследований.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ГРЕБКА

Наряду с выявлением оптимальных параметров рабочего органа машины ПМС-1, проводившимся в 1955—1956 гг. в институте «ВНИИГОРМАШ»* (угол наклона, вес, глубина заброса гребка, усилие прижатия носка к штабелю и др.), была исследована целесообразность применения для гребкового рабочего органа инерционного вибратора самобалансного типа с максимальным возмущающим усилием 3920 кг и с направлением возмущающих усилий вдоль линии внедрения гребка (т. е. с использованием продольных колебаний).

Опыты проводились на погрузке рядового финского гранита с максимальной крупностью кусков до 450 мм. При испытании на мелкой породе диаметр кусков не превышал 120—150 мм.

В результате экспериментов было установлено, что применение вибрации несколько увеличило эффективность работы гребка (рис. 1), но одновременно с этим отмечались большой расход мощности на привод вибратора, нарушение соединений и креплений машины, резкий шум при работе виброгребка, вибрация всей машины, вызывающая снижение величины напорных усилий. Создаваемая в этом случае вибрация гребка с

вертикально направленными колебаниями при постоянном соприкосновении гребка с крупными кусками породы вызывает дополнительное уплотнение породы в штабеле. По этим причинам вибротекучести материала не создавалось, а следовательно, отсутствовал достаточно большой эффект от применения вертикально направленных колебаний, создаваемых с помощью инерционного вибратора. Как видно из графика (рис. 1), эффективность работы виброгребка на мелкой породе оказалось значительно выше.

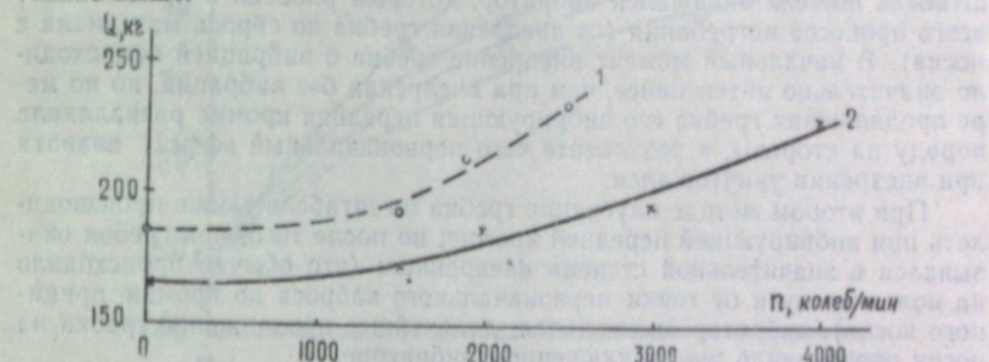


Рис. 1. График зависимости $Q = f(n)$ количества захваченной породы (Q) от частоты вибрации (n).

Опыты по схеме «а». Вес гребка — 527 кг. Крупность породы: 1 — до 150 мм, 2 — до 450 мм.

Все эти данные позволили сделать заключение, что установка на рабочем гребке инерционного вибратора дебалансного типа с продольным направлением колебаний рациональна лишь при работе на мелких сыпучих материалах и нерациональна при крупнокузовых абразивных материалах.

При проведении экспериментов на крупнокузовом материале была также опробована схема вибрации гребка с поперечной направленностью колебаний, создаваемых с помощью того же инерционного вибратора (рис. 2). В этом варианте гребок был шарнирно укреплен на рукояти, а вибратор установлен на верхнем плече гребка.

Данные опыты также не дали увеличения эффективности нагребания и снижения величины рабочих усилий. Амплитуда колебаний (2—3 мм), создаваемая инерционными вибраторами, совершенно недостаточна для создания явления вибротекучести крупнокузовой скальной горной массы. Это подтверждается также результатами экспериментальных работ с виброковшом, выполненных ГГИ ЗСФАН СССР. Опыты показали, что наибольший эффект от применения вибрации был получен при амплитудах в 15—20 мм и частоте колебаний 600—700 в минуту.

Исследования виброгребка с поперечной направленностью колебаний были продолжены нами на модельном стенде в $1/2$ натуральной величины с установкой на гребок в качестве вибропобудителя кривошипно-шатунного механизма, позволяющего иметь значительно большие ам-

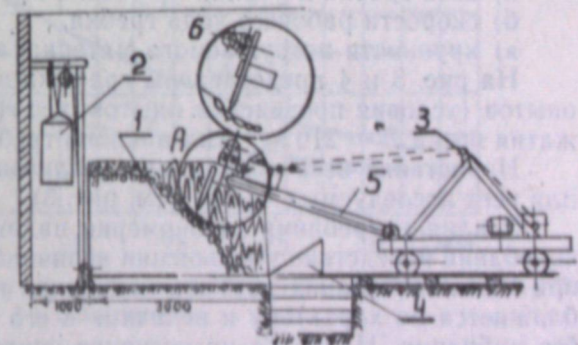


Рис. 2. Схема «б» стендовой установки:

1 — породный коллектор, 2 — грузовой механизм, 3 — направляющий блок, 4 — приемный носок, 5 — рукоять с гребком, 6 — инерционный вибратор.

* «Выявление наиболее перспективных конструкций и кинематики захватывающих органов погрузочных машин». Отчет по теме № 2 за 1956 г. института «ВНИИГОРМАШ» (Руководитель темы В. В. Сороко).

плитуды колебаний в сравнении с инерционными вибраторами. Результаты стендовых исследований сравнивались с найденными оптимальными параметрами работы гребка при внедрении без вибрации.

Перед началом проведения основных экспериментов был выявлен наиболее эффективный метод работы вибрационного гребка. Эффективность вибронагревания проверялась при двух методах работы.

Первый метод заключался в том, что перед опусканием гребка на штабель породы включался вибратор, который работал в продолжение всего процесса нагревания (от внедрения гребка до сброса материала с носка). В начальный момент внедрение гребка с вибрацией происходило значительно интенсивнее, чем при внедрении без вибрации, но по мере продвижения гребка его вибрирующая передняя кромка разваливала породу на стороны, в результате чего первоначальный эффект захвата при внедрении уничтожался.

При втором методе опускание гребка на штабель также производилось при вибрирующей передней кромке; но после того, как гребок оказывался в значительной степени внедренным (это обычно происходило на половине пути от точки первоначального заброса до кромки приемного носка), вибратор выключался; дальнейшее продвижение гребка на носок происходило при выключенном вибраторе.

Эффективность нагревания при работе по второму методу была значительно выше. Этот метод и был принят за основной при проведении дальнейших испытаний.

В задачу исследований входило выявление следующих зависимостей:

1) веса нагреваемой породы (Q) от частоты (n) и амплитуды (a) колебаний;

2) усилий нагревания (S) от частоты (n) и амплитуды (a) колебаний;

3) влияния на эффективность нагревания:

а) веса гребка и усилия прижатия приемного носка,

б) скорости рабочего хода гребка,

в) крупности погружаемого материала.

На рис. 3 и 4 представлены графики зависимостей по результатам опытов (условия проведения опытов: вес гребка $q = 200$ кг, усилие прижатия носка $P = 210$ кг, угол наклона гребка $\varphi = 68^\circ$).

Наращение веса породы при увеличении a происходит интенсивно для всех исследуемых частот (см. рис. 3).

Усилия нагревания закономерно падают с увеличением амплитуды колебаний вследствие уменьшения величины уплотненного ядра, которое при малых значениях размаха колебаний передней кромки гребка приближается по характеру и величине к его положению при нагревании без вибрации. Наиболее интенсивное снижение усилий отмечается при увеличении размаха колебаний до 15 мм; при дальнейшем увеличении снижение усилий происходит значительно медленнее (см. рис. 4).

Сопоставляя величину рабочих усилий нагревания и вес захваченной породы при различных режимах вибрации, можно сделать заключение, что наиболее выгодными параметрами вибрации являются следующие:

а) частота колебаний 500 при размахе 25 и 30 мм;

б) частота колебаний 750 при размахе 15 мм.

Однако, если учесть весьма значительную динамику работы гребка при частоте 750 колебаний в минуту, оптимальными параметрами можно считать $n = 500$ при $a = 25$ мм.

Результаты опытов показали далее, что с уменьшением веса гребка

и усилия прижатия носка при оптимальных параметрах вибрации резко снижается вес породы, погружаемой за одно нагревание, и значительно растет удельная энергоемкость процесса, что доказывает нерациональность работы гребка с вибрацией при облегченной конструкции.

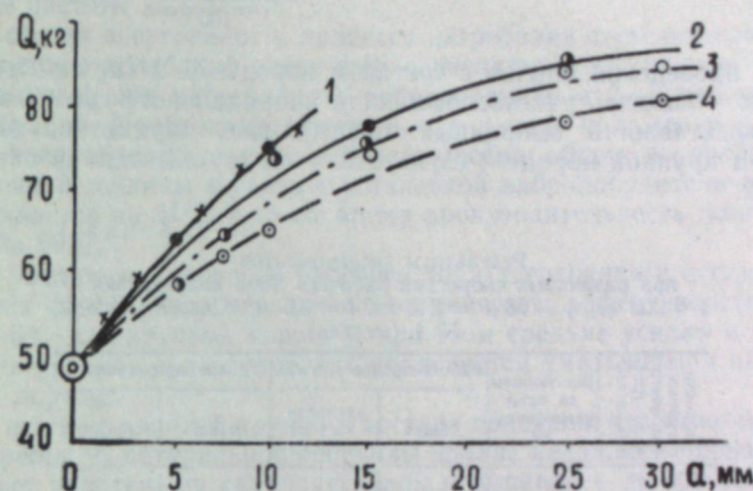


Рис. 3. График зависимости $Q = f(a)$ при различной частоте колебаний n : 1 — 1000, 2 — 750, 3 — 500, 4 — 250 в минуту.

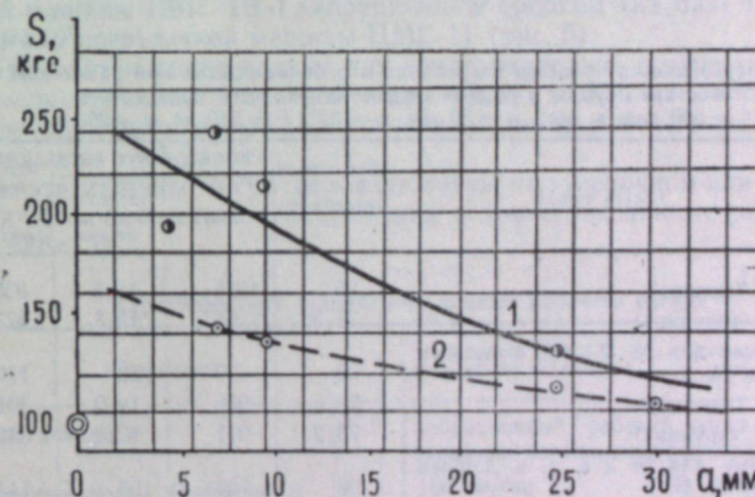


Рис. 4. График зависимости $S = f(a)$ при различной частоте колебаний n : 1 — 750, 2 — 250 в минуту.

Средние условия нагревания с увеличением веса гребка и усилий прижатия носка растут как при работе гребка без вибрации, так и с вибрацией.

Влияние скорости рабочего хода и крупности материала на эффективность нагревания выявлялось на двух различных по крупности рядовых составах гранитной массы:

Состав породы № 1 (мелкая), в %:

куски от	0 до 25 мм	— 30
>	> 25 > 100 мм	— 50
>	> 100 > 200 мм	— 20

100

Состав породы № 2 (крупная), в %:

куски от 0 до 50 мм —	30
» » 50 » 200 мм —	50
» » 200 » 300 мм —	20

100

При проведении опытов с составом породы № 2 (крупным) ставилась цель — выявить работоспособность вибрационного гребка и проверить эффективность выбранных оптимальных параметров вибрации гребка на крупной породе. Результаты этой группы опытов сведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты экспериментов
при различных скоростях рабочего хода виброгребка
 $\gamma = 200$ кг, $\varphi = 68^\circ$, $P = 210$ кг, $l = 0,6$ м; Состав породы
№ 1 (мелкая)

Скорость нагревания (рабочего хода греб- ка), м/сек	Вес породы за одно нагревание, кг	Работа процесса, в кгм		Усилие нагревания, кг	
		общая	удельная на 1 кг породы	макс.	средн.
0,16	87,3	852,7	9,8	270	111
0,27	76,5	610,3	9,00	231	90
0,41	73,6	707,8	10,5	310	80

Таблица 2

Энергоемкость процесса нагревания и рабочие усилия при различном
составе породы и разных скоростях рабочего хода гребка
 $n = 500$ кол. в мин., $a = 30$ мм, $\varphi = 68^\circ$, $P = 210$ кг, $q = 200$ кг.

Скорость рабочего хода греб- ка, м/сек	Состав породы	Вес породы за одно нагревание, кг	Работа процесса, в кгм		Усилие нагре- вания, кг	
			общая	удельная на 1 кг породы	макс.	средн.
0,16	№ 1 (мелкая)	86	1358	15,8	338	75
	№ 2 (крупная)	77,3	1065	13,8	373	121
	Данные для № 2 в % к данным для № 1	90	79	88	110	162
0,43	№ 1 (мелкая)	75,8	925	12,2	301	74
	№ 2 (крупная)	73,2	971	13,2	342	90,7
	Данные для № 2 в % к данным для № 1	96	105	108	114	123

Из табл. 1, 2 видно, что максимальное снижение веса породы при увеличении скорости рабочего хода в 2,5 раза зафиксировано в опытах с составом породы № 1 на 16%, а при составе породы № 2 — на 5%.

Средние усилия нагревания и общая энергоемкость процесса с увеличением скорости рабочего хода закономерно снижаются. Однако удельная энергоемкость процесса с изменением скорости нагревания остается примерно в тех же пределах, что и была.

Снижение энергоемкости и средних усилий нагревания (в пределах 30—40%) объясняется в основном снижением веса захваченной породы.

Вполне закономерным является также возрастание как общей энергоемкости нагревания при увеличенной скорости рабочего хода (см. табл. 2), так и удельной энергоемкости при работе виброгребка на крупном составе породы, в сравнении с работой на мелкой породе.

Модельные исследования виброгребка с поперечной направлен-

ностью колебаний с применением вибропобудителя кривошипно-шатунного типа показали следующее:

а) наибольшее влияние на эффективность нагревания оказывает изменение амплитуды колебаний передней кромки гребка и меньшее — изменение частоты колебаний;

б) общая энергоемкость процесса нагревания с увеличением размаха и частоты колебаний закономерно увеличивается, причем удельная энергоемкость при нагревании с вибрированием в 2—6 раз выше, чем без вибрации. Необходимо отметить, что данное положение учитывает только энергоемкость самого рабочего органа; общая же энергоемкость погрузочной машины в связи с установкой вибропобудителя на гребок увеличивается на 34%, в то же время производительность машин возрастает на 60%;

в) увеличение скорости рабочего хода нагревания в исследованных пределах (в 2,5 раза) незначительно снижает эффективность захвата (на 4—5% для крупной породы); при этом средние усилия и энергоемкость нагревания снижаются, что объясняется уменьшением веса захваченной породы;

г) опыты с породой крупного состава показали, что даже модельный виброгребок $1/2$ натуральной величины вполне надежно и производительно может работать на крупнокусковом материале — до 300 мм.

На основании проведенных исследований составлено технико-экономическое обоснование и разработана принципиальная схема погрузочной машины ПМС-1В с вибрационным гребком (на базе технического проекта погрузочной машины ПМС-1) (рис. 5).

Приводятся также данные для конструирования в качестве возможного варианта малогабаритной погрузочной машины с виброгребком для проходки выработок малого сечения (размер рабочего органа машины уменьшен в 1,5 раза).

Обе эти машины могут быть выполнены на гусеничном или рельсовом ходу и должны иметь соответственные технические данные рабочего органа (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика технических данных рабочего органа

Показатели	Машина ПМС-18 (нормальное исполнение)	Машина ПМС-1 ВМ (малогабар.)
Принцип действия	вибрационный рабочий орган с верхним захватом породы периодического действия.	
Производительность (расчетная)	100 м³/час	50 м³/час
Крупность погружаемого материала	до 400—450 мм	300—350 мм
Ход гребка	1500 мм	1200 мм
Максимальная сила тяги на гребке	2800 кг	1500 кг
Скорость движения гребка:		
рабочий ход	0,5 м/сек	0,5 м/сек
холостой ход	0,7 »	0,7 »
Тип вибратора	кривошипно-шатунный	
Частота колебаний	500—600 в мин.	
Полный размах колебаний	30—50 мм	30—40 мм
Вес гребка с вибратором, приведенный к передней кромке	650—700 кг	300—350 кг
Угол наклона зубьев гребка при опущенном положении	68°	68°
Ширина гребка	800 мм	600 мм

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОКОВША

Применение вибрации исследовалось на ковше погрузочной машины ПМЛ-5 (рис. 6).

Виброковш представляет собой цельносварную конструкцию, в которой ковш с одной стороны соединяется с кулисой через мощный шарнир, расположенный в нижней его части; с другой — через проушины он связан с пневматическим сдвоенным вибратором, ось которого проходит через центр тяжести. При внедрении в штабель породы ковш получает поперечную вибрацию.

Необходимо отметить, что постановка данных экспериментов основывалась на рекомендациях Института горного дела ЗСФАН СССР в части оптимальных параметров вибрации (частота 500—600 колебаний в минуту при размахе 15—20 мм). Однако исходя из требований высокой прочности и конструктивных соображений, вместо предлагаемого ЗСФАНом варианта виброковша с вибрирующим днищем мы приняли вариант вибрации всего ковша.

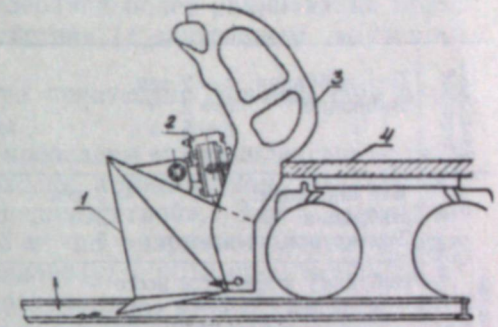


Рис. 6. Схема установки вибратора на ковше машины ПМЛ-5 и направления колебаний (пневмовибратор имеет шарнирную связь с траверсой кулисы и верхней стенкой ковша):

1 — ковш погрузочной машины, 2 — спаренный пневмовибратор, 3 — катящаяся рукоять, 4 — беговая дорожка.

Характеристика применяемого на ковше пневмовибратора

Рабочее давление сжатого воздуха	— 5 кг/см ²
Число цилиндров	— 2
Диаметр цилиндров	— 165 мм
Число колебаний поршня	— 500—600 в мин.
Ход поршня	— 12 ± 22 мм
Мощность вибратора	— 3,6 л. с.
Расход воздуха	— 4 м ³ /мин
Вес вибратора	— 88 кг.

Основной целью исследования было выявить работоспособность и эффективность виброковша. Измерялись сопротивление внедрению виброковша, сопротивление зачерпыванию, коэффициент наполнения и амплитуда колебаний передней кромки ковша.

Материалом погрузки служил гранит рядового состава при крупности кусков до 400 мм.

Все данные по опытам сравнивались с работой машины ПМЛ-5 ковшом без вибратора.

Переменными параметрами исследования являлись:

1) амплитуда колебаний (17 мм и 27 мм);
2) траектория зачерпывания горной массы. Она изменялась путем регулирования подачи сжатого воздуха в двигатель подъема ковша;

3) характер зачерпывания. Применялся раздельный и совмещенный вывод ковша из штабеля;

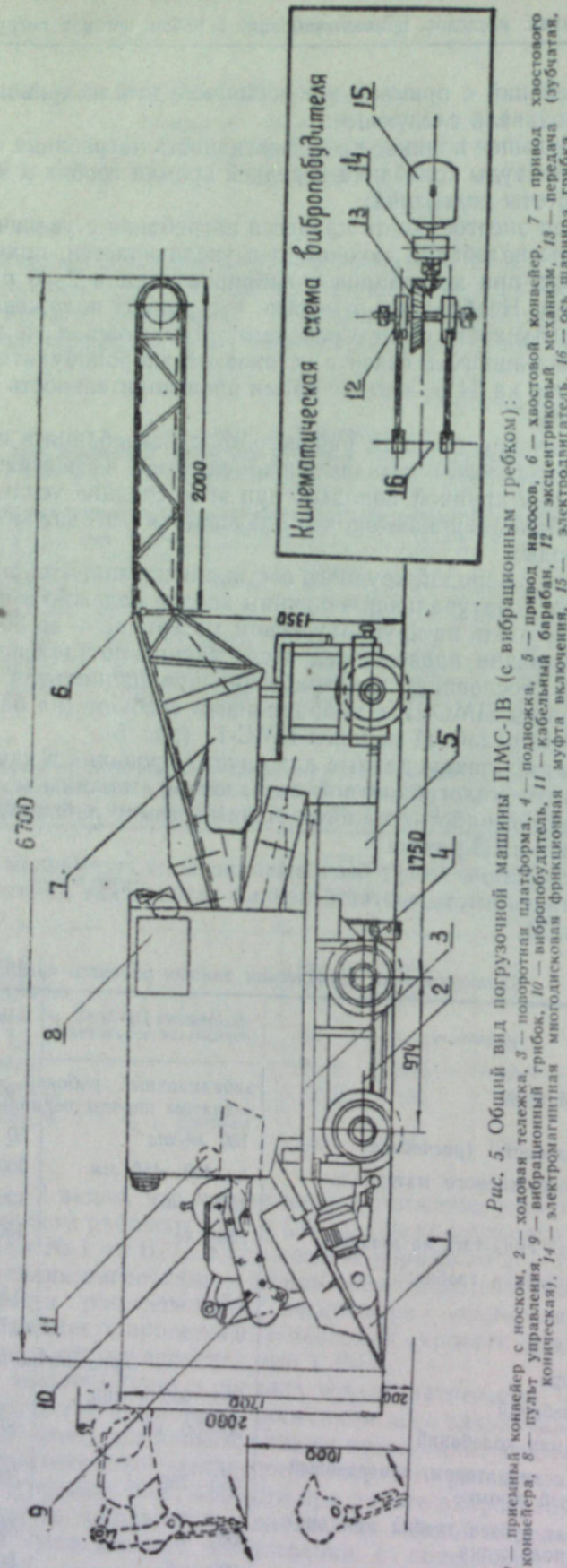


Рис. 5. Общий вид погрузочной машины ПМС-1В (с вибрационным гребком):

1 — приемный конвейер с носком, 2 — ходовая тележка, 3 — поворотная платформа, 4 — подножка, 5 — привод насосов, 6 — хвостовой конвейер, 7 — привод хвостового конвейера, 8 — пульт управления, 9 — вибрационный гребок, 10 — вибропобудитель, 11 — кабельный барабан, 12 — эксцентриковый механизм, 13 — передатчик (зубчатая коническая), 14 — электромагнитная многодисковая фрикционная муфта включения, 15 — электродвигатель, 16 — ось шарнира гребка.

4) время внедрения ковша с включенным вибратором. Результаты исследований работы виброковша с размахом колебаний 27 мм приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные данные о работе виброковша и ковша без вибрации

Общие условия работы; время внедрения (t)		Среди. вес породы за одно чер- пание	Время черпания, сек.	Услови. производи- тельн. чер- пания, кг/сек	Среднее усилие внедрения	
Раздельное черпание	Без вибрации: t = 2 сек.	96	3,0	32,0	640	
	Вибрация t = 2 »	130	2,7	48,1	370	
	» t = 5 »	141	6,8	20,8	350	
	» t = 8 »	150	10,2	14,7	330	
Совмещенное черпание	Траект. 1	Без вибрации: t = 2 сек.	206	4,0	51,5	350
		Вибрация t = 2 »	230	4,1	56,1	300
		Только при внедрении t = 5 »	232	7,5	31,0	250
		Вибрация в процессе всего черпания; t = 2 сек.	236	4,6	52,5	235
	Траект. 2	Без вибрации: t = 2 сек.	234	5,0	46,8	440
		Вибрация t = 2 »	237	5,6	42,8	265
		Только при внедрении t = 5 »	252	8,4	30,0	200
		Вибрация в процессе всего черпания t = 2 сек.	276	6,2	44,5	—

Примечание: Траектория № 2 более пологая, чем № 1.

Из табл. 4 видно, что глубина внедрения заметно возрастает при изменении времени внедрения с вибрацией от 0 до 6 сек. С дальнейшим увеличением времени внедрения глубина внедрения растет крайне незначительно, в связи с чем вес зачерпнутой породы возрастает также незначительно.

При раздельном черпании вибрирование ковша производилось только в течение периода внедрения; при подъеме ковша вибратор выключался. Вес зачерпнутой породы при вибрировании в течении 2,5 и 8 сек., по сравнению с внедрением без вибрации, возрос соответственно на 35, 47 и 56%, а средние усилия внедрения соответственно уменьшились на 73, 83, 93%.

Данные табл. 4 подтверждают, что, несмотря на довольно значительный прирост веса зачерпнутой породы и снижение средних усилий внедрения, конечные показатели при раздельном черпании все же мало удовлетворительны и значительно ниже, чем при совмещенном черпании без вибрирования.

Опыты при амплитуде колебаний 27 мм показали, что мощность установленного вибратора явно недостаточна, так как часто происходило заклинивание кромки ковша при внедрении в породу, с полным гашением колебаний. С уменьшением амплитуды колебаний до 17 мм мощность пневмовибратора оказалась также не вполне достаточной, так как в процессе этих опытов заклинивание ковша в породе все же наблюдалось, хотя и значительно реже. Дальнейшее же снижение амплитуды могло привести только к снижению эффективности черпания.

Приведенные лабораторные исследования подтвердили правильность основных положений, выявленных Институтом горного дела ЗСФАН СССР, о том, что применение вибраций увеличивает коэффициент наполнения стандартного ковша погрузочной машины ПМЛ-5 до

1,0 при одновременном снижении необходимых напорных усилий в 1,5—2 раза. Вместе с тем они показали, что:

1) положительное действие виброколебаний рабочего органа не успевает сказаться за короткое время контакта виброковша со штабелем, в связи с чем явление вибротекучести породы для ковшовой погрузочной машины может проявиться только при искусственном удлинении времени внедрения, что приводит к некоторому снижению производительности (при увеличении веса погружаемой за 1 цикл породы). Поэтому следует полагать, что использование виброколебаний более рационально прежде всего для машин непрерывного действия (с длительным контактом рабочего органа со штабелем);

2) использование пневмовибратора производит сильный шум в помещении и вибрацию корпуса машины.

Наряду с лабораторными были проведены промышленные испытания виброковша на скоростной проходке транспортной штольни Наугарзанского СМУ треста «Узбеквинешахтстрой». Здесь проходится однопутевая выработка сечением 7,8 м² по кварцево-полевошпатовым породам (крепость 8—15 по Протодьяконову) с объемным весом 2,6 м³. Погрузочная машина ПМЛ-5 с виброковшом проработала в забое штольни 10 рабочих дней и погрузила около 200 м³ породы.

Промышленные испытания подтвердили эффективность применения виброколебаний ковша погрузочной машины типа ПМЛ-5. Хронометражные наблюдения показали, что на погрузку одной вагонетки с полезной емкостью 0,8 м³ затрачивалось в среднем: без вибрации ковша — 2 мин., с вибрацией — 1 мин. 30 сек. Следовательно, время, затрачиваемое на погрузку одной вагонетки, при применении вибрации сокращается в среднем на 33%.

Средняя продолжительность обмена вагонеток под погрузкой составляла 1 мин. 30 сек. Техническая производительность погрузочной машины в обычном исполнении составила 24 м³/час, а с применением виброколебаний ковша — 32 м³/час, т. е. на 33% выше. Эксплуатационная производительность погрузочной машины в обычном исполнении составила 13,7 м³/час, а с применением виброколебаний ковша — 16 м³/час — на 17% выше.

Испытания показали, что применение виброколебаний ковша погрузочной машины в условиях Наугарзанской штольни не только повышает эффективность погрузки, но и значительно улучшает работу машины в целом. Шум, возникающий при работе вибратора, по интенсивности не превышал шума пневмодвигателей погрузочной машины. Виброколебания ковша на корпус машины почти не передаются и на условиях работы машиниста не отражаются.

Выводы

1. Натурные исследования рабочего органа машины ПМС-1 с установкой на гребке инерционного вибратора (самобалансного типа) позволили установить следующее:

а) применение виброгребка с продольным направлением колебаний (по линии внедрения) дает наибольший эффект лишь при работе на мелких сыпучих материалах и совершенно нераціонально на крупнокусковых абразивных породах;

б) применение в конструкции виброгребка поперечной направленности колебаний (перпендикулярно направлению внедрения) также нераціонально на крупнокусковых абразивных породах ввиду весьма не-

значительной величины амплитуды (1—2 мм), создаваемой вибраторами самобалансного типа.

Эти выводы с полной очевидностью можно распространить и на другие типы вибраторов, имеющих амплитуды колебаний в пределах 1—5 мм (маятниковые, магнитно-электрические и др.), которые также не могут найти применения при работе вибрационного гребка на крупнокусковом и тяжелом материале, независимо от частоты, направления колебаний и величины возмущающих усилий.

2. Применение вибрации с поперечной направленностью колебаний передней кромки гребка (размах колебаний 15—25 мм) значительно увеличивает (на 60—70%) эффективность нагребания по сравнению с работой гребка без вибрации.

3. На основании исследований и проведенного технико-экономического обоснования составлено техническое задание на проектирование погрузочной машины ПМС-1В (с вибрационным гребком). Данная погрузочная машина имеет высокую производительность (100 м³/час, по расчету).

Проведенное технико-экономическое сравнение показало, что применение машины ПМС-1В, по сравнению с машиной ПМЛ-5, в выработках сечения 9,3 м² повышает производительность труда рабочих по погрузке в 4,5 раза; больше чем в 2 раза снижается время уборки горной массы; стоимость погрузки снижается на 22%. Удельные показатели машины ПМС-1В выше таких же показателей современных зарубежных машин типа «Вестфалия» с верхним захватом породы.

4. Применение виброковша на погрузочной машине типа ПМЛ-5 улучшает условия работы обслуживающего персонала и повышает техническую производительность погрузки на 30—35% по сравнению с погрузкой без вибрации. Эксплуатационная производительность погрузочной машины с виброковшом возрастает на 17%.

5. В новом образце виброковша должны быть устранены недостатки, отмеченные выводами лабораторных и промышленных испытаний; в частности, мощность вибратора должна быть значительно увеличена (до 6 л. с.), его вес — уменьшен до 50 кг, необходимо устранить многоступенчатую регулировку.

Лаборатория транспортных
и погрузочных машин института
«Гипроникель»

Поступила в редакцию
28/III 1958

Н. С. ОСТАШЕВСКАЯ

ЛИСТВЯНСКИЙ АНТРАЦИТ ГОРЛОВСКОГО БАССЕЙНА КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

Несмотря на бурный рост производства алюминия, стали и сплавов в Сибири, изготовление угольных электродов — существеннейших элементов этих производств — до сих пор не организовано на востоке нашей страны. Готовые электродные изделия и некоторые виды электродного сырья транспортируются в Сибирь из Донбасса и с Урала или же изготавливаются на месте из дорогого пекового кокса. Это приводит к удорожанию стоимости получаемых металлов. Отсюда ясно, какое важное значение приобретает получение электродов и угольных футеровочных материалов из местного сырья.

Сырьем для изготовления различных электродных изделий, в зависимости от их назначения, обычно служат антрацит, литейный кокс, пековый или нефтяной коксы и каменноугольный пек. Основные требования к качеству сырья — это его высокая электропроводность, механическая прочность, термическая стойкость, незначительный выход летучих веществ и малая зольность.

Большой интерес как сырьевая база для электродной промышленности в Сибири представляют антрациты Горловского бассейна, расположенного западнее Кузбасса на территории южных и юго-восточных районов Новосибирской области. Наиболее разведанным и эксплуатируемым в этом бассейне является Листвянское месторождение, запасы которого имеют промышленное значение. Однако до настоящего времени антрацит, являющийся ценным технологическим сырьем, используется лишь как энергетическое топливо.

Широкому использованию промышленностью листвянского антрацита мешает неполная разведанность района, примитивность технического оборудования шахт, а также недостаточная изученность физико-химических и технологических свойств антрацита.

В связи с этим было проведено детальное исследование свойств листвянского антрацита [1—3], что позволило характеризовать его как сырье, имеющее все предпосылки для использования в производстве электродов [4].

Однако недостаточно изучить физико-химические свойства сырья, необходимо исследовать поведение его при всех последующих операциях технологического процесса.

Задачей настоящей работы было изучить изменение свойств листвянского антрацита при прокаливании и приготовить лабораторные образцы различных электродных изделий с введением в состав их прокаленного листвянского антрацита, а также изучить их свойства.

Все углеродистые материалы, в том числе и антрацит, применяемые для изготовления электродов, согласно технологической схеме производства, должны быть предварительно подвергнуты прокаливанию при высокой температуре без доступа воздуха. Эта операция дает возмож-

ность резко улучшить свойства углеродистых материалов, от которых в основном зависит качество готовых электродных изделий.

Прокаливание углеродистых материалов производится с целью наиболее полного удаления влаги и летучих веществ, максимального уплотнения вещества и повышения удельного веса, увеличения механической прочности, электропроводности и термоустойчивости. Основная задача прокаливания состоит в том, чтобы добиться максимального структурного уплотнения и относительной стабилизации усадки прокаливаемого материала [5].

Природный антрацит имеет недостаточную механическую прочность и термическую стойкость, низкий удельный вес и значительную усадку в процессе обжига, а поэтому для производства электродов как правило не употребляется. После термической обработки антрацит приобретает свойства, которые позволяют использовать его в качестве одного из основных компонентов шихты для производства многих видов угольных электродов.

Антрацит обычно составляет крупнозернистую часть шихты для электродов; основное назначение его — создать остов электрода, придать ему высокую прочность. Поэтому наиболее важными свойствами антрацита в производстве электродов являются механическая прочность и стойкость его по отношению к высоким температурам.

Первые работы в СССР по термической обработке донецких антрацитов были проведены в 1933 г. [6].

Многочисленные опыты показали, что высокая термическая стойкость антрацита может быть достигнута в том случае, если прокаливание ведется по специально разработанной кривой нагрева, обеспечивающей плавное изменение термических напряжений в массе антрацита в пределах упругих деформаций [7].

Термически обработанный антрацит, предназначенный для производства электродов, в соответствии с ГОСТ 4794—49 должен содержать влаги — 0,2%, летучих веществ — 0,3%, золы — 5,0% серы — 1,9%, иметь удельное электросопротивление не более 1000 $\text{ом.мм}^2/\text{м}$.

При нагревании антрацита до высокой температуры в нем происходят сложные молекулярно-структурные превращения, которые приводят к изменению всех физико-химических свойств.

Излагая сущность процессов, происходящих в углеродистых материалах при их прокаливании, П. Н. Ярошевский [8] указывает, что в основном они сводятся к дегазации углеродистого вещества, протекающей путем пиролиза углеводородов.

Работами многих авторов [6, 7, 9, 10] показано, что в результате термической обработки донецких антрацитов резко изменяются все физико-химические и физико-механические их свойства: удаляются влага и летучие вещества, увеличивается содержание углерода, уменьшается содержание водорода, азота, кислорода и серы. Вследствие значительной усадки угольного вещества происходит увеличение удельного веса, механической прочности, резко возрастает электропроводность и термическая стойкость антрацита.

Вопрос об изменении свойств листованного антрацита при прокаливании освещен в литературе недостаточно [8, 11]. Это побудило нас провести более глубокое исследование его поведения при термической обработке.

В лабораторных условиях термическая обработка листованного антрацита осуществлялась в камерной и трубчатой силитовых печах, дающих максимальную температуру рабочего пространства 1300—1350°С. В трубчатую печь загружалось 700 г; в камерную 2—3 кг антрацита,

измельченного до 13—1 мм. Изучение изменений свойств антрацита в процессе термической обработки при пяти различных температурных режимах производилось на кубиках, выпиленных из антрацита (40×40×40 мм и 30×30×30 мм). Критерием для оценки глубины воздействия температуры на антрацит был выбран показатель удельного электрического сопротивления. Результаты исследования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	До прокаливания	Режим прокаливания				
		Темп. максим. 1200°			Темп. макс 1300°	
		200°/час	100°/час	50°/час	180°/час	120°/час
Истинный уд. вес	1,660—1,670	1,735	1,740	1,742	1,756	1,760
Кажущийся уд. вес	1,480—1,500	1,600	1,610	1,630	1,650	1,660
Пористость, %	9,0—11,0	8,0	7,0	6,0	5,4	5,6
Увеличение истинного уд. веса, %	—	4,2	4,5	4,6	5,5	5,7
Увеличение кажущегося уд. веса, %	—	7,3	8,0	9,3	10,7	11,4
Уменьшение объема, %	—	13,6	14,2	15,5	15,1	—
Линейная усадка, %						
перпендикулярно слоям	—	7,1	7,4	8,0	7,5	6,8
параллельно слоям	—	3,0	3,5	3,7	3,6	3,8
Зольность, %	3,5	4,0	4,2	—	3,9	4,2
Угар, %	—	7,9	8,2	8,5	8,0	8,1
Уд. электрич. сопротивление, $\frac{\text{ом.мм}^2}{\text{м}}$						
перпендикулярно слоям	550000	2200	1500	1300	800	800
параллельно слоям	360000	1180	1050	950	500	500
Временное сопротивление сжатию, кг/см ²						
перпендикулярно слоям	340	680	680	640	1280	1310
параллельно слоям	240	418	—	440	430	440

Как видно из табл. 1, прокаливание кубиков до 1200°С не дало необходимого снижения удельного электрического сопротивления. Снижалось оно только до 1300—2200 $\text{ом.мм}^2/\text{м}$, что свидетельствовало о недостаточном температурном воздействии на антрацит. Прокаливание антрацита до 1300°С с выдержкой 3 часа при этой температуре позволило снизить электросопротивление до 1000—800 $\text{ом.мм}^2/\text{м}$, что соответствует требованиям ГОСТ по этому показателю.

Внешний вид кубиков после прокаливания изменялся незначительно: новых трещин почти не появлялось, а те, которые были до прокаливания, слегка углубились. Лишь цвет кубиков из черного перешел в темно-серый с металлическим блеском.

Опытами было установлено, что при прокаливании антрацита до 1300°С происходит значительное увеличение его механической прочности: с 340 до 1200—1300 кг/см^2 перпендикулярно направлению слоев и с 240 до 430 кг/см^2 параллельно направлению слоев. Прочность антрацита особенно возрастает в интервале температур 1200—1300°, когда структурные превращения в веществе антрацита протекают особенно интенсивно.

Как отмечается и в литературе [12] процессы уплотнения вещества сопровождаются и его упрочнением. На происходящее уплотнение вещества антрацита при прокаливании указывают увеличение удельного веса и уменьшение объема образцов, связанное с их усадкой.

Объем кубиков антрацита при прокаливании уменьшается на 13,5—15,5%, что свидетельствует о значительном уплотнении их органической массы.

Удельный вес антрацита при прокаливании возрастает в среднем на 4—5% (с 1,66—1,67 до 1,73—1,76). Увеличение удельного веса в большей степени зависит от конечной температуры обработки, нежели от продолжительности ее (см. табл. 1).

Изменение линейных размеров образца происходит неодинаково в разных направлениях. Измерением граней кубиков было выяснено, что в зависимости от длительности процесса и максимальной температуры обработки уменьшение размеров кубика антрацита параллельно направлению слоев колебалось в пределах от 3,0 до 3,8%, а в направлении, перпендикулярном слоистости, линейная усадка составляла 6,8—8,0%.

Как видно из табл. 1, усадка листованского антрацита в интервале температур 1200—1300° практически начинает стабилизироваться, что подтверждается узким пределом колебаний в величинах линейной усадки при всех изученных нами режимах прокаливании.

Пористость антрацита, определяемая на основе удельных весов, уменьшается с 10—12% в природном антраците до 5—6% в антраците после термообработки и выдерживании его при 1300°С. Эти явления, как нам кажется, можно объяснить также значительным уплотнением материала.

Об изменениях пористости донецких антрацитов при прокаливании в литературе имеются противоречивые данные. В ряде работ [9, 10, 13, 14] указывается на некоторое увеличение пористости при прокаливании антрацита с паро-воздушной смесью в шахтных печах, в других [15] — на уменьшение пористости антрацита при прокаливании его без доступа воздуха. Часть ошибок при установлении пористости может быть отнесена за счет определения удельных весов антрацита различными методами. Следует также учитывать и условия термообработки: при ведении процесса в присутствии паро-воздушной смеси поверхностный слой термоантрацита приобретает значительную трещиноватость и пористость, что доказано работами Я. Ю. Сапожникова [9] и М. П. Лонской [13]. Снижение же пористости антрацита при прокаливании без доступа воздуха находит свое подтверждение при определении теплот смачивания [16]. Если для природного листованского антрацита величина теплоты смачивания составляет в среднем 8 кал/г, то для антрацита, прокаленного до 1300°С, она равна лишь 1 кал/г, что указывает на значительное уменьшение внутренней поверхности, а следовательно, и пористости антрацита после прокаливании. Уменьшение пористости в антраците при прокаливании согласуется также с результатами последних работ по изучению пористости и внутренней поверхности углей и коксов [12].

Удельное электросопротивление антрацита было определено по методу вольтметра-амперметра на кубиках из антрацита до и после прокаливании. Как видно из табл. 1, прокаливании антрацита приводит к резкому уменьшению удельного электросопротивления. При прокаливании листованского антрацита до 1200°С электросопротивление уменьшается примерно в 400 раз. При прокаливании антрацита до 1300°С удельное сопротивление снижается примерно в 700 раз; при этом оно уменьшается с $5 \cdot 10^4$ до $800 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ перпендикулярно направлению слоев и с $35 \cdot 10^4$ до $500 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ параллельно направлению слоев, т. е. в целом до 0,05—0,08 ом. см.

По данным М. И. Копельман и А. Ф. Товстенко [15], удельное электросопротивление донецких антрацитов при прокаливании до 1200°С

снижалось в среднем до 0,03—0,05 ом. см. Измерение электросопротивления листованского антрацита в порошке (фракция 40—50 меш) проведено в соответствии с методикой, предусмотренной ГОСТ 4668—52. Измерение величины падения напряжения производилось под давлением 40 кг при постоянной силе тока (0,3А). Величина удельного электросопротивления порошка антрацита, прокаленного до 1300°, в среднем равна 900—1000 ом. мм²/м.

Ряд авторов [17 и др.] резкое снижение величины удельного электросопротивления в углях и антрацитах при воздействии высокой температуры объясняет удалением летучих веществ (углеводородов), являющихся диэлектриками, а также связывает это со степенью кристаллизации углерода и величиной его кристаллов.

Другие исследователи [18 и др.] приходят к заключению, что высокая электропроводность антрацита, имеющего, по их мнению, аморфную структуру, не связана с кристаллической графитовой структурой углерода. Исходя из этого, электропроводность углеродистых материалов они связывают со свойством электронной проводимости индивидуальной атомной углеродной сетки, подобной монокристаллу графитовой кристаллической решетки. Высокая электропроводность антрацита, по мнению этих исследователей, может быть объяснена проводимостью монослоев, независимо от их упаковки в кристаллическую решетку. Структурные превращения в процессе термической обработки антрацита, по этим воззрениям, характеризуются ростом плоских гексагональных сеток атомов углерода и их взаимной ориентацией. Под влиянием молекулярного силового поля сетки стремятся ориентироваться параллельно друг другу. С повышением температуры взаимная ориентация сеток становится все совершеннее.

Методом теплового удара [20] и методом ДонУГИ [19] была установлена высокая термическая стойкость сырого и прокаленного листованского антрацита, которая, по-видимому, обусловлена тонкой и равномерной минерализацией органического вещества антрацита, что было отмечено при изучении его петрографического состава и обогатимости [2,3].

Вместо ожидаемого снижения механической прочности сырого листованского антрацита, после воздействия четырех теплосмен (быстрый нагрев до 1000° и резкое охлаждение водой) происходило увеличение механической прочности с 340 до 580 кг/см², что указывает на некоторые процессы уплотнения молекулярной структуры, успевающие пройти за сравнительно короткий срок прогрева кубиков. Испытание же прокаленного антрацита показало, что механическая прочность его после четырех теплосмен уменьшается незначительно и в основном из-за трещин, увеличившихся при испытании.

Сопоставляя экспериментально полученные данные, характеризующие изменение свойств листованского антрацита при прокаливании, с литературными данными о донецких антрацитах [10, 13, 15], следует отметить, что при термической обработке листованского антрацита происходит меньшее уплотнение органической массы, чем у донецких антрацитов. На это указывают изменения при термообработке удельного веса, объема, усадки и др. Это, по-видимому, объясняется менее витрифицированным составом органической массы листованского антрацита, содержащего значительно больше по сравнению с донецкими антрацитами, фюзенизированных тканей, мало изменяющихся при термической обработке.

Для дальнейшей экспериментальной работы по изготовлению образцов электродов антрацит был прокален по режиму, дававшему наилуч-

шие физико-химические показатели: подъем температуры 3°C в минуту до 1300°C и с выдержкой в течение 3 часов при этой температуре.

Были приготовлены следующие лабораторные образцы электродов: прессованные электроды, электродная масса (применяемая в производстве ферросплавов), подовая и анодная массы (применяемые в производстве алюминия).

Для приготовления образцов была использована применяемая на практике и рекомендуемая литературой рецептура для донецких антрацитов [15, 21—23]; методика приготовления образцов и технологического их испытания была заимствована из опыта электродной лаборатории Всесоюзного алюминиево-магниевого института.

Для сравнения свойств, в аналогичных условиях готовились образцы электродов из других углеродистых материалов (литейный кокс, пековый кокс, донецкий термоантрацит).

Процесс изготовления угольных электродов включает в себя операции прокаливания, размола и рассева прокаленных материалов, смешения их со связующим веществом, прессования, обжига и механической обработки готовых электродов [5, 21].

Таким образом, качество электродов зависит от качества сырьевых материалов и их подготовки, от гранулометрического состава компонентов шихты, от количества и качества связующего вещества. Кроме того, важнейшее значение имеет природа углеродистых материалов, входящих в состав электродов.

Контроль качества электродной продукции до последнего времени сводился к определению показателей удельного электросопротивления, механической прочности, удельного веса, пористости и зольности.

Работами последних лет установлено, что определения только этих показателей недостаточно. Электроды с одинаковыми показателями нередко различно ведут себя в условиях их эксплуатации.

Во Всесоюзном алюминиево-магниево-магнитоинституте разработан ряд методов, позволяющих глубже проникнуть в процессы, происходящие при работе электрода, в частности при электролизе алюминия [22—24].

М. Б. Рапопортом установлена различная степень разрушающего воздействия паров металлического натрия (всегда имеющегося в алюминиевом электролизере) на углеродистые материалы подины. Оказалось, что по уменьшению степени разрушения натрием они могут быть расположены в следующий ряд: нефтяной кокс — пековый, кокс — литейный, кокс — термоантрацит. Графит практически не подвергается разрушению натрием.

Расположение углеродистых материалов по степени их стойкости к воздействию натрия совпадает с результатами технологического опробования образцов электродов методом лабораторного электролиза [25]. Это свидетельствует о том, что подовые блоки при электролизе алюминия разрушаются в основном под действием паров металлического натрия, а различная степень сопротивления воздействию натрия зависит от особенностей молекулярной структуры углеродистых материалов.

С помощью рентгенооскопии [26] выяснено, что термоантрацит обладает наибольшей молекулярной упорядоченностью, по сравнению с другими углеродистыми материалами (литейный кокс, пековый и нефтяной коксы).

В связи с изложенным, кроме определения общепринятых физико-химических показателей, нами проводилось технологическое опробование образцов электродов из ливнянского антрацита в условиях лабораторного электролиза по методу З. В. Васильева [см. 25] с вычислением коэф-

фициента разрушаемости (K_p) для прессованных образцов и образцов подовой массы. Кроме того, для образцов подовой массы определялся коэффициент связи шва ее с блоком по методу М. И. Копельман [23].

Все углеродистые материалы, использованные для приготовления образцов электродов, предварительно подвергались прокаливанию. После прокаливания материал дробился до зерен различной крупности в соответствии с выбранной рецептурой. Весь материал тщательно рассиловывался по фракциям. В качестве связующего вещества использовался среднетемпературный пек с температурой размягчения 75°C .

Приготовление прессованных образцов осуществлялось в двух пресс-формах — с квадратным ($40 \times 40 \text{ мм}$) и круглым (диаметр 36 мм) отверстиями.

Методика приготовления этих образцов состояла в следующем: «сухая» часть шихты, необходимая по рецептуре, перемешивалась с определенным количеством дробленого пека. Затем смесь при непрерывном перемешивании постепенно нагревалась на песчаной бане до 110°C . При достижении $110\text{—}120^{\circ}$ масса выдерживалась при этой температуре 20 минут, после чего переносилась в пресс-форму. Последняя помещалась затем на столик гидравлического процесса, и при удельном давлении 700 кг/см^2 осуществлялось двухстороннее прессование образцов.

Образцы прессованных электродов готовились по рецептам I и II [4]. Всего по обоим рецептам было приготовлено 80 образцов электродов.

Подовая масса применяется для набивки швов между подовыми блоками в подине алюминиевого электролизера. На большинстве заводов она готовится преимущественно из пекового кокса (марка «К») или в лучшем случае из 30% антрацита и 70% пекового кокса (марка «А»), тогда как в состав подовых блоков входит до 60% крупных фракций антрацита. Резко отличный от блоков состав подовой массы приводит к тому, что швы между блоками после обжига, вследствие неодинаковых коэффициентов температурного сжатия или расширения материала шва и материала блоков, нередко приобретают трещиноватость, что ведет к серьезным нарушениям в работе ванн.

М. И. Копельман [23] рекомендована рецептура крупнозернистой малоусадочной антрацитовой массы, приближающейся по составу к подовым блокам. Подина электролизера набивается однородной по составу с блоками массой, что несравненно улучшает качество швов и повышает в целом стойкость подины.

По рецепту III [4] была приготовлена крупнозернистая подовая масса на основе ливнянского антрацита с различными заполнителями. Для испытания подовой массы в специальной разъемной матрице готовились так называемые «комбинированные» образцы. С этой целью из готового подового блока выпиливались две пластины ($50 \times 100 \times 100 \text{ мм}$) и укреплялись по бокам матрицы, а пространство между ними набивалось разогретой до 120° испытываемой подовой массой. Получалась модель производственного шва в подине алюминиевого электролизера.

Электродная масса (рецепт IV) была приготовлена по рецептуре, применяемой ферросплавными заводами, в которой соотношение основы (антрацит) и заполнителя (литейный кокс) принято равным 1 : 1 [21].

По рецепту V [4, 27] были приготовлены образцы анодной массы с введением 40—55% крупных фракций концентратов ливнянского антрацита.

Для испытания непрессованных углеродистых масс из листового железа готовились кожухи ($50 \times 50 \times 300 \text{ мм}$) и в них помещалась разогретая до 120° масса.

Обжиг прессованных образцов электродов производился в электропечи при 1000° С и скорости подъема температуры 50° в час, с выдержкой в течение 2 часов при конечной температуре. Обжиг кожухов с электродной и анодной массами осуществлялся в той же печи, но при 900°, со скоростью подъема температуры 100° в час и выдержкой в течение 2 часов при конечной температуре. Железные кожухи с электродной и анодной массами для обжига загружались в печь в вертикальном положении, чем воспроизводились производственные условия самоспекающегося электрода (анода).

После обжига прессованные образцы были монолитными, без трещин и вздутий, серо-стального цвета, с металловидным блеском. При ударе они издавали металлический звук, вместо глухого до обжига. Швы комбинированных образцов после обжига оказывались прочно скочкованными, с боковыми пластинками из подовых блоков и совершенно не имели трещин. Из тех и других образцов электродов для испытаний вытачивались кубики с размером грани 40 ± 2 мм и цилиндры диаметром 36 мм и высотой 100—120 мм.

Результаты изучения свойств прессованных образцов электродов помещены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Исходный материал образца и содержание его в сухой части шихты, %	Содержание связующего, %	Максимальный размер зерна, мм	Свойства прессованных образцов, рецепт 1								
			истин. уа. вес	кажущийся уа. вес	пористость, %	уа. эл. сопрот. $\frac{\text{О.М.М.}^3}{\text{М}}$	времен. сопрот. сжатия $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	содержание зола, %	Технологич. опробование		
									коэфф. разр. (K_p)	увел. диам., %	
Донецкий термоантрацит											
—100	17	10	1,842	1,462	20,6	97,6	184	3,46	0,96	0,74	
Пековый кокс	17	10	2,037	1,473	27,7	59,3	218	0,70	1,20	8,60	
Листвянск. антрацит	17	10	1,764	1,426	19,2	68,0	235	3,46	0,95	2,06	
Листвянск. антрацит	17	10	1,838	1,409	23,4	66,7	181	2,53	0,98	3,50	
—70											
Пековый кокс											
Листвянск. антрацит	17	10	1,878	1,415	24,6	66,0	204	2,03	0,98	5,00	
—50											
Пековый кокс											
Листвянск. антрацит	17	10	1,926	1,430	25,8	67,0	215	1,42	1,00	5,80	
—30											
Пековый кокс	17	10	1,926	1,430	25,8	67,0	215	1,42	1,00	5,80	

Таблица 3

Исходный материал образца и содержание его в сухой* части шихты, %	Содержание связующего, %	Максимальн. раз- мер зерна, мм	Свойства прессованных образцов, рецепт II								
			истинный уд. вес	кажущийся уд. вес	пористость, %	уд. эл. сопрот. ОМ.мм ²	времен. соп- рот. сжатия кг/см ²	содержание зола, %	Технологич. опробование		
									коэфф. разр. (K _p)	увел. диам., %	
Донецкий термоантрацит											
—100	20	0,5	1,841	1,436	22,0	67,0	620	3,90	0,73	—	
Пековый кокс —100	20	0,5	2,038	1,578	23,0	46,5	581	0,64	1,48	—	
Литейный кокс —100	20	0,5	1,925	1,468	23,8	50,6	909	9,44	0,99	—	
Листвянск. антрацит —100	20	6,5	1,758	1,368	22,1	58,0	693	3,81	0,92	0,8	
Листвянск. антрацит —70	20	0,5	1,842	1,428	22,5	56,5	683	2,83	1,06	2,7	
Пековый кокс —30											
Листвянск. антрацит —50											
Пековый кокс —50	20	0,5	1,910	1,478	22,1	53,0	652	2,93	—	—	
Листвянск. антрацит —30											
Пековый кокс —70	20	0,5	1,945	1,530	21,3	47,0	640	1,51	—	—	

Как видно из табл. 2, 3, большинство образцов, изготовленных на основе листвянского антрацита, по физико-химическим свойствам близки к образцам из донецкого термоантрацита, значительно отличаясь от образцов из литейного и пекового кокса. Испытание прессованных образцов в условиях лабораторного электролиза показало, что коэффициент разрушения (K_p) для образцов из листвянского и донецкого антрацитов равен 0,95—0,97. Эти образцы после электролиза полностью сохраняли свою первоначальную форму, не имели трещин и разъединений. Увеличение диаметра их после испытания было в пределах 0,7—2,0%. При тех же условиях образцы из пекового кокса оказались сильно разрушенными и разъединенными электролитом; они значительно (на 8%) увеличились в диаметре после электролиза.

Свойства комбинированных образцов подовой массы, изготовленных на основе листвянского антрацита, отражены в табл. 4.

Таблица 4

Исходный материал образца и содержание его в шихте, %	Содержание связующего, %	Свойства образцов подовой массы, рецепт III									
		истинный уа. вес	кажущийся уа. вес	пористость, %	уа. эл. сопрот. ом.мм ²	времен. соп. рот. сжатия кг/см ²	содержание золы, %	коэфф. связи (K _c)	коэфф. разрушения (K _p)		
Листвянский антрацит (10—0,5 мм) —60	16	1,874	1,457	22,2	83,6	148	3,05	27,5	1,02		
Пековый кокс (0,5—0 мм) —40											
Листвянский антрацит (10—0,5 мм) —60	16	1,809	1,440	20,4	93,9	205	6,22	23,5	—		
Литейный кокс (0,5—0 мм) —40											
Листвянский антрацит (10—0,5 мм) —60	16	1,769	1,400	20,8	78,9	216	3,70	23,5	—		
Листвянский антрацит (0,5—0 мм) —40											
Листвянский антрацит (10—0,5 мм) —70	16	1,856	1,389	23,6	85,0	157	3,29	41,2	—		
Пековый кокс (0,5—0 мм) —30											
Донецкий термоантрацит (10—0,5 мм) —60	16	1,865	1,494	19,9	107,0	141	2,83	23,5	—		
Пековый кокс (0,5—0 мм) —40											
Листвянский антрацит (8—3 мм) —33	19	1,883	1,421	24,5	71,1	162	1,49	43,2	1,12		
Пековый кокс (3—0 мм) —67											
Пековый кокс (3—0 мм) —100	23	1,990	1,330	33,0	107,0	165	1,00	22,0	разруш.		

Физико-химические показатели образцов подовой массы из донецкого и листвянского антрацитов, приготовленных с одинаковым заполнителем (пековый кокс), очень близки между собой. Даже качество образцов подовой массы марки «А» значительно выше качества массы марки «К», приготовляемой заводами, не говоря уже об образцах крупнозернистой антрацитовой массы (меньшая пористость, высокая стойкость при электролизе).

Образец подовой массы, состоящий из 60% крупных фракций листвянского антрацита и 40% мелких фракций пекового кокса, после элек-

тролиза полностью сохранил свою форму (рис. 1), не имея ни трещин, ни разъединений. Наблюдается лишь незначительное отслаивание у торца. Образец подовой массы марки «А», состоящий только из 33% крупных фракций листованного антрацита и 67% пекового кокса, также сохранил свою форму, но у торца его наблюдалась незначительная трещиноватость и разъединение электролитом. Образцы же подовой массы марки «К», приготавливаемой заводами на одном пековом коксе, как правило, не выдерживают жестких условий лабораторного электролиза и полностью разрушаются.

Стойкость образцов электродов, изготовленных на основе антрацита, в условиях электролиза криолитоглиноземных расплавов, указывает на высокую степень молекулярной упорядоченности изучаемого антрацита. Последняя затрудняет внедрение натрия между плоскими углеродными сетками, обычно ведущее к разрыхлению и разрушению структуры электрода. Это подтверждается также работами М. Б. Рапопорта [28], указывающими на высокую стойкость образцов электродов из листованного антрацита к воздействию паров натрия, по сравнению с другими антрацитами (например, с красносудинской установки), не говоря уже о таких углеродистых материалах, как литейный, пековый и нефтяной коксы, структура которых обладает значительно меньшей степенью молекулярной упорядоченности.

Значения коэффициента связи шва подовой массы с блоком, установленные для образцов из листованного антрацита, колеблются в пределах 24—28 кг/см² (см. табл. 4). Некоторые образцы имели повышенные значения этого коэффициента (41—43 кг/см²). Для подовой массы марки «К», приготавливаемой заводами, значения K_c составляют в среднем 20 кг/см². Образцы электродной массы из листованного антрацита по качеству (табл. 5) близки к образцам, приготовленным из донецкого термоантра-

цита по аналогичной рецептуре, и полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к самоспекающимся электродам, употребляемым в производстве ферросплавов.

Таблица 5

Исходный материал образцов и содержание его в шихте, %	Содержание связующего, %	Свойства образцов электродной массы, рецепт V					
		истинный уд. вес	кажущ. уд. вес	порис- тость, %	уд. эл. сопротивл. $\frac{\text{О.М.} \cdot \text{М.М}^2}{\text{М}}$	время, сопрот. сжатия, кг/с.М^2	содержа- ние зола, %
Донецкий термоантрацит (20—0,5 мм) —50	26	1,875	1,459	22,2	166,3	170	7,65
Литейный кокс (0,5—0 мм) —50							
Листвянский антрацит (20—0 мм) —50	26	1,825	1,398	23,3	118,0	197	6,44
Литейный кокс (0,5—0 мм) —50							

Показатели образцов анодной массы, содержащих 40—55% концентратов листованного антрацита с зольностью 1,3—1,5%, имеют отклонения от показателей анодной массы на пековом коксе. И это естественно, так как технических условий для анодной массы на антрацитовом основе пока еще не существует. Зольность полученных образцов (табл. 6) анодной массы равна 0,98—1,25%, что несколько превышает требования к качеству анодной массы (0,5—1,0%). Низкий показатель механической прочности образцов свидетельствует в первую очередь о неудачном грануло-составе шихт.

Таблица 6

Исходный материал образцов и содержание его в шихте, %	Содержание связующего, %	Свойства образцов анодной массы, рецепт V					
		истинный у.а. вес	кажущ. у.а. вес	пористость, %	у.а. эл. сопротивл. ом.м.м ²	времен. электр. сжатие, кг/см ²	содержание зольн., %
Листвянский антрацит (концентрат) (10—1 мм) —55	22	1,856	1,368	26,8	110,0	124	1,25
Пековый кокс (1—0 мм) —45							
Листвянский антрацит (концентрат) (10—1 мм) —40	24	1,903	1,360	28,5	95,7	157	0,98
Пековый кокс (1—0 мм) —60							
Листвянский антрацит (флото-концентрат) (3—0 мм) —50	23	1,878	1,345	28,4	115,0	132	1,05
Пековый кокс (1—0 мм) —50							

Тем не менее, полученные результаты, являющиеся предварительными, указывают на принципиальную возможность использования концентратов листованного антрацита для приготовления анодной массы.

Для окончательного разрешения этого вопроса необходимо детальное изучение глубокого обогащения листованного антрацита специализированными институтами, методами, применяемыми в промышленности.

В настоящее время на Сталинском алюминиевом заводе завершены крупнолабораторные испытания листованного антрацита в электродных изделиях алюминиевого производства (подовые блоки и подовая масса). Полученные результаты подтвердили наши исследования и позволяют надеяться на быстрое освоение листованного антрацита сибирской промышленностью.

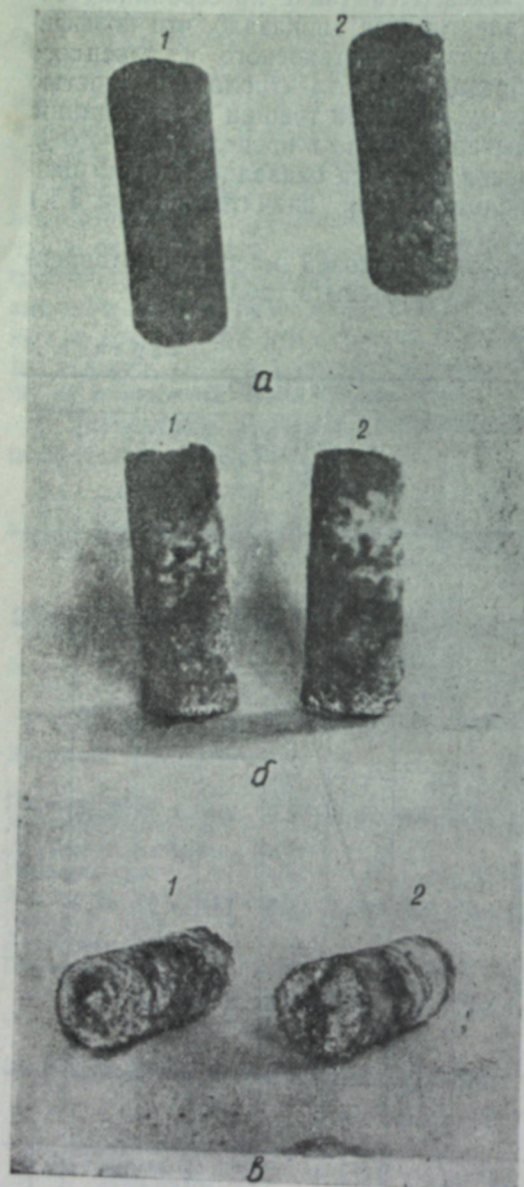


Рис. 1. Образцы подовой массы (рецепт III): а — до электролиза, б — после электролиза. 1 — листованного антрацита — 60%, пекового кокса — 40%, 2 — листованного антрацита — 33%, пекового кокса — 67% (марка «А»).

донецкого антрацитов, колеблются в пределах 24—28 кг/см² (см. табл. 4). Некоторые образцы имели повышенные значения этого коэффициента (41—43 кг/см²). Для подовой массы марки «К», приготавливаемой заводами, значения K_c составляют в среднем 20 кг/см².

Образцы электродной массы из листованного антрацита по качеству (табл. 5) близки к образцам, приготовленным из донецкого термоантра-

Выводы

1. Экспериментально установлено, что в результате прокаливания листвянского антрацита при 1300° С происходит значительное изменение всех физико-механических свойств его (электросопротивление снижается примерно в 700 раз, механическая прочность возрастает в 2—3 раза и т. д.).

Эти изменения свойств связаны с уплотнением органического вещества антрацита, что подтверждается увеличением удельного веса, линейной усадкой, снижением пористости и уменьшением внутренней поверхности, свидетельствующих о внутримолекулярных превращениях углеродистого вещества при воздействии высоких температур.

2. В работе показано, что термически обработанный при 1300—1350° и выдержанный при этой температуре в течение 3 часов листвянский антрацит по своим физико-химическим и физико-механическим свойствам не уступает донецкому термоантрациту (красносулинской установкой), широко применяемому в электродной промышленности.

3. Лабораторные образцы электродов и обожженных масс, изготовленные на основе прокаленного листвянского антрацита, по своим физико-химическим свойствам идентичны образцам, полученным из донецкого термоантрацита, и по ряду показателей даже превосходят их. Образцы подовых блоков и подовых масс для алюминиевого производства обладают высокой стойкостью в условиях электролиза криолитоглиноземных расплавов.

4. Исследование физико-химических и технологических свойств листвянского антрацита показывает, что грохоченый термически обработанный листвянский антрацит отвечает всем требованиям, предъявляемым к нему электродной промышленностью. Он может быть использован для изготовления применяемых при выплавке стали угольных электродов, электродной массы в производстве ферросплавов и подовых блоков, боковых плит и подовых масс для футеровки алюминиевых ванн.

После соответствующего обогащения листвянский антрацит может быть использован в качестве компонента шихты для получения анодной массы, в большом количестве употребляемой при электролизе алюминия.

Использование местных ресурсов для производства электродных изделий позволит ликвидировать дальние перевозки готовых электродов и принесет значительную экономию средств для промышленности Сибири.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
24/IX 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Геблер, Н. С. Осташевская, Физико-химическая характеристика антрацита Листвянского месторождения. Тр. ХМИ ЗСФАН СССР, вып. 10, 1957.
2. Н. С. Осташевская, Обогащаемость антрацита Листвянского месторождения, Тр. ХМИ ЗСФАН СССР, вып. 10, 1957.
3. А. Б. Травин, Н. С. Осташевская, Петрографическая характеристика антрацита Листвянского месторождения. Тр. ХМИ ЗСФАН СССР, вып. 10, 1957.
4. Н. С. Осташевская, Исследование антрацита Листвянского месторождения Горловского бассейна как сырья для производства электродов. Сводный отчет, фонд ХМИ ЗСФАН СССР, 1955.
5. Е. Ф. Чалых, Производство электродов, Металлургиздат, 1954.
6. С. П. Булгаков, Итоги исследовательских работ по освоению процесса получения качественного термоантрацита. Тр. ВУГИ, т. III, 1940.
7. Г. К. Мирошников, Термоантрацит — новый вид высококачественного сырья для электродов. Легкие металлы, № 9, 1937.

8. П. Н. Ярошевский, Исследование физико-химических процессов при термообработке углеродистых материалов в электродном производстве. Тр. ин-та цветных металлов и золота им. Калинина, вып. 20, 1950.
9. Я. Ю. Сапожников, Исследование технологии процесса термической обработки антрацита. Кокс и Химия, № 4—5, 1940.
10. Г. К. Мирошников, Термическая обработка антрацита. Металлургиздат, 1941.
11. Н. П. Чижевский, Д. М. Чернышев, Получение микрофонного порошка. Изв. АН СССР, ОТН, № 6, 1947.
12. Е. М. Тайц, З. С. Тябина, Характеристика процесса развития трещин в коксе. Тр. ИГИ АН СССР, т. II, 1950.
13. М. П. Лонская, Физико-химическая характеристика термоантрацита. Кокс и Химия, № 12, 1936.
14. В. Я. Еременко, Г. К. Мирошников, Термоантрацит и химическая промышленность. Кокс и Химия, № 2, 1939.
15. М. И. Копельман, А. Ф. Товстенко, Исследование антрацита различных шахт Донбасса для применения его в электродном производстве. Научный отчет, фонды ВАМИ, 1935.
16. Б. А. Онусайтис, Н. П. Юрьевская, Исследование процесса образования структуры кокса. Изв. АН СССР, ОТН, № 11, 1946.
17. А. А. Агроскин, И. Г. Петренко, Электросопротивление углей, Изв. АН СССР, ОТН, № 7, 1948; № 1, 1950.
18. В. И. Касаточкин, О молекулярной структуре и свойствах каменных углей. ДАН СССР, т. 86, № 4, 1952.
19. Н. М. Двужильная, Термическая стойкость неспекающихся тощих углей и антрацитов. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна, ДонУГИ, Углетехиздат, вып. VIII, 1954.
20. К. К. Стрелов, Технический контроль производства огнеупоров. Свердловск, 1952.
21. В. Н. Крылов, Производство угольных и графитированных электродов, ГОНТИ, 1939.
22. М. Б. Рапопорт, Е. И. Оксюзова, Исследование влияния металлического натрия на стойкость катодных блоков алюминиевой ванны. Научный отчет, фонды ВАМИ, 1952.
23. М. И. Копельман и др. Разработка рецептуры крупнозернистых антрацитовых масс и установление стандартного метода испытания подовых масс. Научный отчет, фонд ВАМИ, 1953.
24. М. Б. Рапопорт, Повышение стойкости катодных блоков, анодной и подовой массы для алюминиевых электролизеров. Тр. ВАМИ, 1955.
25. А. И. Беляев, М. Б. Рапопорт, Л. А. Фирсанова, Электрометаллургия алюминия, Металлургиздат, 1953.
26. А. И. Беляев, М. Б. Рапопорт, Л. А. Фирсанова, О причинах разрушения углеродистых катодных блоков при пуске алюминиевых ванн. Цветные металлы, № 6, 1954.
27. М. И. Копельман и др., Изучение процесса спекания анода и разработка оптимального состава анодной массы. Научный отчет, фонды ВАМИ, 1954.
28. М. Б. Рапопорт, Е. И. Оксюзова, Исследование стойкости углеродистых материалов различного происхождения к воздействию паров натрия. Научный отчет, фонды ВАМИ, 1953 г.

Г. П. АЛАЕВ

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ МИКРОКОМПОНЕНТОВ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ВО ФРАКЦИЯХ РАЗЛИЧНОГО УДЕЛЬНОГО ВЕСА

Одним из важных средств повышения эффективности использования твердого топлива является организация рационального сжигания и полного выгорания коксового остатка угольной пыли. Интенсификация горения в топочных устройствах может быть осуществлена лишь при учете физических и химических закономерностей этого процесса, которые во многом зависят от свойств угольного вещества. При этом следует иметь в виду не только энергетические характеристики топлива, но и его петрографическое строение [1]. Под микроскопом в угольном веществе можно выделить микрокомпоненты — мельчайшие морфологические части исходного материала ископаемых углей, обладающие определенными микроструктурными признаками [2].

Эти микрокомпоненты делятся на два вида — органические и неорганические [3]. Органические микрокомпоненты отличны по своей структуре и степени фюзенизации, или первичного, по А. Б. Травину [4], окисления.

В данной работе нашей целью было определить петрографический состав угля и выделить отдельные его органические составляющие для изучения поведения их в процессе горения.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

Исследовалась среднепластовая проба газового угля Красулинского месторождения Кузбасса (пласт № 20). Данные технического и элементарного анализа угля среднепластовой пробы: $W^a = 1,9\%$; $A^c = 8,4\%$; $V^r = 37,7\%$; $S_{0,0}^a = 0,7\%$; $Q_r^c = 8310$ ккал/кг; $H^r = 4,37\%$; $C^r = 81,4\%$.

Для микроскопического исследования из угольной пыли, полученной после помола угля в шаровой лабораторной мельнице, изготавливались брикеты-аншлифы на шеллачной основе. Изучение аншлифов велось под микроскопом МИМ-5 ($\times 950$) при масляной иммерсии (коэффициент рефракции 1,515).

Крупность частиц определялась по трем брикетам (для контроля). На каждом аншлифе исследовалось от 450 до 700 частиц. Оценка крупности осуществлялась по площади частицы, попадающей на перекрестие нитей окуляра, откуда определялся средний размер частицы. Распределение частиц по крупности в пыли среднепластовой пробы по данным микроскопии трех брикетов показано в табл. 1.

Как видно из табл. 1, 83% общего числа частиц имеют размеры в пределах $1,43 \div 21,45$ м, причем размеры 58,3% частиц составляют $1,43 \div 8,58$ м. Частицы с $D_{cp} < 1,144$ м всего 2%, а с $D_{cp} > 50$ м — 1,57%.

Таким образом, в результате размолла угля в шаровой лаборатор-

Таблица 1

Распределение частиц по крупности в пыли среднепластовой пробы угля Красулинского месторождения Кузбасса

Класс, м	Количество частиц			Процентное содержание классов, %			В среднем
	брикет № 1	брикет № 2	брикет № 3	брикет № 1	брикет № 2	брикет № 3	
0-1,144	5	11	23	1,1	1,7	3,3	2,0
1,43-4,29	160	202	243	35,1	32,0	34,3	33,8
5,72-14,3	156	260	270	34,2	41,2	38,2	37,9
17,16-21,45	60	72	68	13,2	11,4	9,6	11,4
25,74-42,9	65	80	92	14,2	12,7	13,0	13,3
50-60	7	5	9	1,5	0,8	1,3	1,2
Выше 60	3	1	2	0,7	0,2	0,3	0,4
Всего	456	631	707	100	100	100	100

ной мельнице в основном обеспечивалась крупность частиц угольной пыли < 20 м.

СОДЕРЖАНИЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ МИКРОКОМПОНЕНТОВ В ПЫЛИ ТОНКОГО ПОМОЛА КРАСУЛИНСКОГО УГЛЯ (СРЕДНЕ-ПЛАСТОВАЯ ПРОБА)

Использовалась классификация микрокомпонентов по основным типам угольного вещества, предложенная А. Б. Травиным [5]. Подсчет микрокомпонентов под микроскопом производился точечным методом и методом оценки площади частиц наблюдаемых микрокомпонентов. Последний заключается в фиксации не только типа микрокомпонента, находящегося на перекрестии нитей окуляра, но и площади данной частицы. Перемещение аншлифа на предметном столике микроскопа осуществлялось через поле в горизонтальном и вертикальном направлениях. Содержание микрокомпонентов исчислялось в отношении к общей массе угля.

Имеющиеся в литературе данные по методике оценки микросостава углей [5—8 и др.] говорят о том, что подобные условия для подсчета петрографических микрокомпонентов по площади не применялись.

Содержание микрокомпонентов в пыли среднепластовой пробы угля Красулинского месторождения показано в табл. 2, причем для сравнения приведены данные подсчета по точкам и площадям (для трех аншлифов).

Из табл. 2 видно, что расхождения между данными двух методов по содержанию отдельных петрографических составляющих довольно велики: для десмита ~ 12,7%, витрена ~ 13,5%, ксилена ~ 10,9% и т. д. А так как количественные соотношения микрокомпонентов по объему пропорциональны отношениям суммарных поверхностей этих микрокомпонентов в плоскости аншлифов, то из полученных данных следует, что в случае тонкого помола правильнее вести подсчет содержания петрографических микрокомпонентов путем оценки поверхности частиц отдельных составляющих, используя те же условия наблюдений, что и при точечном методе.

Для первично неокисленных компонентов (как структурных, так и бесструктурных) содержание их, определяемое по методу площадей, всегда больше, чем по точечному методу. По мере увеличения степени фюзенизации компонентов одной и той же структуры содержания их,

Таблица 2

Содержание микрокомпонентов (в %) в среднепластовой пробе угля
Красулинского месторождения Кузбасса

Метод определения	Наименование микрокомпонентов													
	Бесструктурные				Структурные									
	серые	светло-серые	серо-то-бел.	белые	серые	светло-серые	серо-белые	белые						
	десмит	витрен	фюзено-витрен	микррит	ксилен	ксилено-витрен	структурный	первично слабо-окисл. ксилен	первично слабо-окисл. структурный витрен	фюзено-ксилен	среднеокисл. ксилено-витрен	фюзен	витрено-фюзен	Кутинизированные элементы
По числу точек . .	34,8	25,4	5,8	8,4	2,4	1,8	1,8	1,6	1,6	1,5	1,2	5,7	1,5	2,5
По площади . . .	47,5	11,9	0,4	0,8	13,3	4,1	2,4	2,2	1,4	1,7	0,5	5,8	0,6	5,7

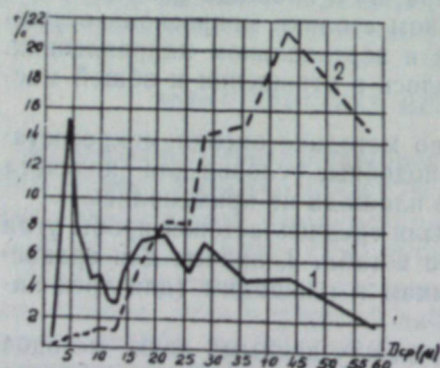
определяемые тем и другим методом, сближаются, а для сильно фюзенизированных элементов наблюдается расхождение уже в обратную сторону. Это объясняется тем, что наименее фюзенизированные компоненты содержат большое количество крупных частиц, что соответствует большей площади, занимаемой ими, а следовательно, и большему объему. Сильно окисленные первично компоненты содержат, наоборот, больше мелких частиц с малой площадью.

Для каждого микрокомпонента существует такая область размеров частиц, в которой подсчет процентного содержания его по точкам близ-

ко совпадает с подсчетом по площадям. Выявить эту область и сравнить полученные значения для различных микрокомпонентов представляет практический интерес.

Диапазон размеров частиц десмита, одинаковое процентное содержание которого определяется как по числу точек, так и по площадям, виден на рис. 1. По ординате отложены процентные содержания десмита, полученные тем и другим методом, по абсциссе — средние размеры частиц в μ . Аналогичные графики можно построить и для других микрокомпонентов.

Рис. 1. Распределение частиц различного размера для десмита:
1 — определено по числу точек, 2 — по площади.



Для всех компонентов области равных содержаний по обоим методам довольно близко совпадают и колеблются от 6 до 20 μ . Исключение составляет ксилен, для которого равенство наступает при $D_p \sim 40 \mu$. Однако и в последнем случае в области размеров $\sim 12 \div 15 \mu$ расхождение между результатами подсчета содержания ксилена по точкам и площадям не превышает 5%.

При размерах частиц $\sim 13 \div 14 \mu$ различие в подсчете процентного содержания у всех компонентов по точкам и площадям не будет превышать 4%.

Как показали наблюдения, петрографические микрокомпоненты в угольной пыли тонкого помола встречаются, как правило, не в виде агрегатов, а в качестве обособленных частиц. Редко в комплексе с другими составляющими наблюдались структурный витрен и фюзено-ксилен. Чаще других компонентов в комплексе встречаются ксилено-витрен и кутинизированные элементы. Минеральная часть в основном состоит из сульфидов, карбонатов и глинистого материала. Последний наблюдается и в ячейках клеток структурных компонентов.

В результате микроскопического исследования аншлифов-брикетов пыли тонкого помола угля Красулинского месторождения (среднепластовая проба) установлено:

а) микросостав исследованного угля характеризуется высоким содержанием десмита (47,5%), витрена (11,9%), ксилена (13,3%) и ксилено-витрена (4,1%). Содержание экзинена составляет 5,7%, фюзена — 5,8%, минеральных включений — 1,7%. Остальные петрографические микрокомпоненты наблюдаются в количестве от долей процента до 1-2% (все эти данные определены по методу площадей);

б) тонкий размол угля до частиц размером $\sim 20 \mu$ и меньше обеспечивает значительное механическое разделение отдельных петрографических микрокомпонентов;

в) применение точечного метода определения количественных соотношений петрографических микрокомпонентов в угольной пыли тонкого помола дает менее точные результаты, нежели метод площадей;

г) в определенной, узкой области размеров частиц содержание микрокомпонентов, подсчитанное по обоим методам, совпадает, причем для большинства компонентов это совпадение наблюдается при размерах частиц $\sim 13 \div 14 \mu$. Практически это означает, что при организации равномерного размолва исходного угольного вещества до частиц указанной выше крупности можно с успехом пользоваться для подсчета микрокомпонентов более простым, точечным, методом, причем отклонения от подсчета по площадям будут составлять не более 4%.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ МИКРОКОМПОНЕНТОВ ИЗ УГОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

Общие сведения

Разделение угольного вещества на микросоставляющие может быть осуществлено двумя способами:

1) обработкой органической массы угля различными растворителями;

2) механическим разделением органической массы на компоненты, на основе различий в их удельных весах.

В первом случае в качестве конечного продукта получают вытяжки. Если же ставится цель дальнейшего исследования физических и химических свойств выделенных компонентов, то можно говорить лишь о втором способе.

Для отделения различных микрокомпонентов угольного вещества необходимо мелкое дробление угля. Частицы пыли не должны быть более 20 μ , так как только в этом случае можно получить достаточно полное механическое разобшение микросоставляющих. При малых размерах частиц и малой разнице удельных весов микрокомпонентов ($\sim 0,01 \div 0,05 \text{ г/см}^3$) расслаивание в гравитационном поле практически не дает результатов. В таких случаях для отделения фракций различного удельного веса в тяжелых жидкостях используют метод центробежной сепарации.

рации [6,9—11], причем обычная лабораторная центрифуга с откидными стаканами для этой степени непригодна из-за малооборотности. Кроме того, возникают некоторые трудности с опоражниванием пробирок, в которых находятся два близких по удельным весам слоя, легко смешивающихся при взбалтывании. Производительность центрифуг этого типа чрезвычайно мала.

Поэтому для разделения угольного вещества по фракциям различного удельного веса была сконструирована специальная многооборотная центрифуга.

Описание установки и методика эксперимента

Принципиальная схема центрифуги изображена на рис. 2. Суспензия, составленная из угольной пыли, измельченной до частиц размером менее 20 м, и разделяющей жидкости, заливалась в сосуд 1, откуда подавалась в полый цилиндр 2, благодаря разности высот расположения

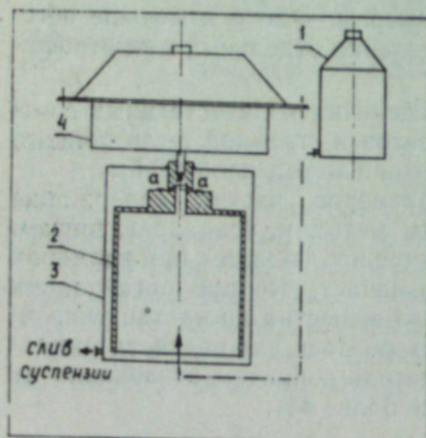


Рис. 2. Принципиальная схема многооборотной центрифуги:

1 — сосуд с суспензией, 2 — разделяющий цилиндр, 3 — наружный кожух, 4 — электродвигатель, $n = 15000$ об/мин.

сосуда с суспензией и стакана центрифуги. Разность высот составляла 65 ÷ 70 см. Цилиндр (стакан) укреплялся на валу электродвигателя, вращавшегося со скоростью 15000 об/мин. В цилиндре оседали частицы угольной пыли с удельным весом большим, чем у разделяющей жидкости, а разделяющая жидкость вместе с легкой фракцией выходила из трех отверстий а в головке цилиндра. В цилиндре может собираться до 90 г тяжелой фракции в виде плотно упрессованной массы. Тяжелая фракция из цилиндра, а также легкая фракция после фильтрации в воронке Бюхнера с плотным фильтром направлялись на сушку.

Сушка выделенных фракций весом до 30 г осуществлялась в сушильном шкафу под вакуумом (650 мм рт. ст.) при температуре 75°C в течение часа.

В качестве тяжелой жидкости была использована смесь четыреххлористого углерода (CCl_4) и ортоксилы ($C_6H_6(CH_3)_2$). В ряде работ [6, 10] указывалось, что тяжелая жидкость различного удельного веса может быть получена и смешением CCl_4 с бензолом (C_6H_6). Однако при длительном контакте этой смеси с угольным веществом экстрагирующая способность ее выше, чем у смеси четыреххлористого углерода с ксилолом. При взаимодействии бензола с углем в раствор переходит около 0,1% угольного вещества, а смесь CCl_4 и ксилола после многочасового контакта с углем экстрагирует его не более 0,03% [6]. Кроме того, ортоксилол менее ядовит, чем бензол [12]. Летучесть его паров при 20°C в 4,5 раза меньше, чем у бензола. Смешение CCl_4 и ортоксилы позволило готовить разделяющую жидкость с диапазоном удельных весов от 0,86 до 1,6, пригодную для многократного использования. Как четыреххлористый углерод, так и ортоксилол имеют большую упругость паров: при 20°C у CCl_4 она составляет около 91 мм рт. ст. у $C_6H_6(CH_3)_2$ — 16,35 мм рт. ст. Это обстоятельство не позволило применить фильтрацию суспензии после центрифугирования под вакуумом.

Концентрация суспензии в наших опытах доводилась до 10%. Одна-

ко оптимальный режим работы центрифуги достигался при концентрации угольной пыли в разделяющей жидкости $\sim 7 \div 8\%$ по объему. Как показали специально проведенные нами микроскопические исследования, увеличение концентрации приводит к загрязнению тяжелой фракции легкими частицами, а уменьшение — к выносу тяжелых элементов в составе легкой фракции.

Результаты эксперимента

Угольная пыль с размерами частиц ~ 20 м и меньше подвергалась центробежной сепарации в разделяющих жидкостях следующих удельных весов: 1,6; 1,37; 1,34; 1,32; 1,29; 1,27; 1,25; 1,24; 1,23; 1,22; 1,21; 1,20; 1,19; 1,18. Разделение велось в следующем порядке. Сначала исходная проба центрифугировалась в среде с $\gamma = 1,35$ г/см³. Затем легкая фракция пропусклась при $\gamma = 1,25$ г/см³. Полученная при этом легкая фракция обрабатывалась при $\gamma = 1,24$ г/см³, и так далее до $\gamma = 1,18$ г/см³. Тяжелая фракция опыта с $\gamma = 1,25$ г/см³ подвергалась обработке при $\gamma = 1,34$ г/см³, легкая фракция этого опыта — при $\gamma = 1,32$ г/см³, и далее — при $\gamma = 1,29$ и 1,27 г/см³. Тяжелая фракция опыта с $\gamma = 1,35$ г/см³ делилась в жидкости с $\gamma = 1,6$ и 1,37 г/см³. Всего выделено 13 фракций различных удельных весов. Из каждой были изготовлены аншлифы-брикеты, которые исследовались в отраженном свете с масляной иммерсией при $\times 950$. Подсчет петрографических микрокомпонентов во фракциях обогащения велся по методу площадей, описанному выше. Каждая из выделенных фракций подвергалась техническому и элементарному анализу. Характеристика обогащенных фракций приведена в табл. 3, там же указан и выход фракций (в %).

Наиболее легкая фракция, 1,18 ÷ 1,19 обогащена экзинитовыми компонентами (56,1%). Значительное присутствие ксилоно-витрена (31,7%) объясняется тем, что кутикула входит, как правило, в его состав. Эта фракция характеризуется большим выходом летучих, высокой теплоотворной способностью, высоким содержанием водорода и низким — угле-

рода. Первично неокисленные структурные микрокомпоненты располагаются в области удельных весов от 1,20 до 1,24. Из этой группы выделяется ксилоно-витрен (фракция 1,20 ÷ 1,21), характеризующийся пониженным содержанием V^r , H^r и Q^r . Остальные компоненты этой группы характеризуются близкими между собой значениями V^r , Q^r и W^r . Содержание водорода у них приблизительно одинаково с экзинитовой фракцией. Количество углерода в первично неокисленных структурных компонентах по сравнению с экзинитовой фракцией возрастает.

Фракция 1,24 ÷ 1,25 содержит максимальное количество десмита, а 1,25 ÷ 1,27 — витрена. У десмита H^r , C^r , V^r , а также теплоотворная способность практически такие же, как у первично неокисленных структурных компонентов (за исключением ксилоно-витрена). Витреновая фракция, по сравнению с десмитом, характеризуется некоторым уменьшением выхода летучих и содержания H^r и C^r .

Во фракции 1,27 ÷ 1,29 преобладает первично слабоокисленный структурный витрен ($\sim 60\%$). Содержание водорода и выход летучих, по сравнению с более легкими фракциями, падает, углерода — растет.

Фракция 1,29 ÷ 1,32 отличается значительным присутствием в ней первично среднеокисленных компонентов группы фюзена (фюзено-витрена, фюзено-ксилена и среднеокисленного ксилоно-витрена), наблюдающихся в исходном угле в малых количествах (от 0,4% до 1,7%). Наряду

Таблица 3

Характеристика фракций различных удельных весов

Распределение по фракциям		Процентное содержание во фракциях											
Данные анализов	Бесструктурные	1,19 ÷ 1,18											
		1,20 ÷ 1,21											
Десмит	8,9	19,3	7,0	25,7	15,9	89,2	~10,0	11,7	10,6	2,2	~2,0	2,0	—
Витрен	<1	~1,0	~1,5	~3,0	<1	<1	<1	16,6	18,7	2,4	<1	<1	—
Фюзено-витрен	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10,2	<1	<1	<1	—
Микринит	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ксилен	<1	—	~4,0	<1	60,4	—	~6,0	2,4	5,3	13,0	18,9	6,7	27,0
Ксилено-витрен	31,7	55,1	—	—	3,8	4,7	<1	2,5	2,3	—	<1	—	—
Структурн. витрен	—	~6,0	12,5	65,7	12,3	—	1,6	1,2	—	—	—	—	—
Первично слабоокисленн. ксилен	—	—	—	—	<1	—	~7,0	—	3,0	13,0	<1	<1	—
Первично слабоокисленн. структурн. витрен	<1	~3,0	~1,5	~1,5	3,8	—	—	59,9	17,4	3,0	—	1,2	—
Фюзено-ксилен	<1	—	—	<1	—	<1	<1	1,3	15,8	—	—	~4,0	~1,0
Среднеокисленн. ксилено-витрен	<1	<1	<1	—	—	—	—	<1	13,9	<1	<1	~1,5	<1,0
Фюжен	—	—	<1	<1	<1	~1,7	<1	<1	<1	~64,0	1,7	~1,0	~3,0
Витрено-фюжен	—	—	—	—	2,0	<1	1,3	—	—	—	65,7	—	2,2
Кутинизиров. эл-ты	56,1	~1,0	<1	~2,5	<1	<1	~1,3	1,6	1,7	—	<1	~3,0	—
Минеральн. вклочен.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,6	9,4	16,5	65,0
Выход фракций, %	1,6	4,7	3,5	3,2	13,3	41,2	15,1	2,2	5,5	5,8	1,2	0,8	1,9
Влажность, W ^а .	4,3	4,3	4,8	4,5	4,8	4,1	5,4	4,6	6,2	6,0	5,9	3,8	1,2
Зольность, A ^c .	6,3	5,4	5,6	4,4	5,0	6,3	5,4	5,2	4,1	11,4	17,3	35,1	53,2
Выход летучих, V ^г .	38,3	33,9	37,8	38,4	37,8	36,6	35,9	33,7	34,9	38,9	37,3	38,0	41,9
Калорийность, Q _г .	8700	8400	8680	8700	8580	8580	8600	8590	8710	8820	8790	8610	7260
Водород, H ^г .	5,38	4,60	5,87	5,33	5,45	5,56	4,35	4,05	3,46	3,48	2,91	—	2,44
Углерод, C ^г .	80,50	82,92	83,51	84,64	82,00	82,25	81,45	86,05	86,84	85,53	85,99	—	87,03

с этим имеется заметное количество витрена, десмита и первично слабоокисленного структурного витрена, представленных главным образом крупными частицами. Поэтому трудно предопределить, какие из компонентов оказывают решающее влияние на свойства этой фракции. Однако значительное количество фюзенизированных компонентов определенно сказывается: падает H^g , наблюдается высокое содержание C^g .

Фракция 1,32 ÷ 1,34 характеризуется высоким содержанием фюзена. Некоторое увеличение выхода летучих происходит за счет разложения минеральной части, которая присутствует здесь в большом количестве и представлена легко разлагающимися сульфидами и карбонатами. Содержание водорода низкое, углерода — высокое. Увеличение Q_g фюзена, по сравнению с витреновой и десмитовой фракциями, по-видимому, объясняется различием их молекулярного строения (компонентам группы фюзена присуща высокая степень конденсации ароматических соединений, входящих в состав структурных единиц [13, 14 и др.]), а также частичным вторичным окислением витренизированных компонентов, так как не представляется возможным избежать многократного смачивания и сушки угольного вещества в процессе эксперимента.

Фракции 1,34 ÷ 1,37 и 1,37 ÷ 1,6, представленные преимущественно витрено-фюзеном и микринитом со значительным количеством минеральной части, характеризуются дальнейшим падением содержания водорода.

Фракция > 1,6 обогащена минеральной частью. Большое значение V^g этой фракции объясняется разложением минеральных компонентов. Содержание водорода минимально, углерода — максимально.

Распределение петрографических микрокомпонентов по фракциям обогащения представлено на рис. 3. По мере перехода от бесструктурных

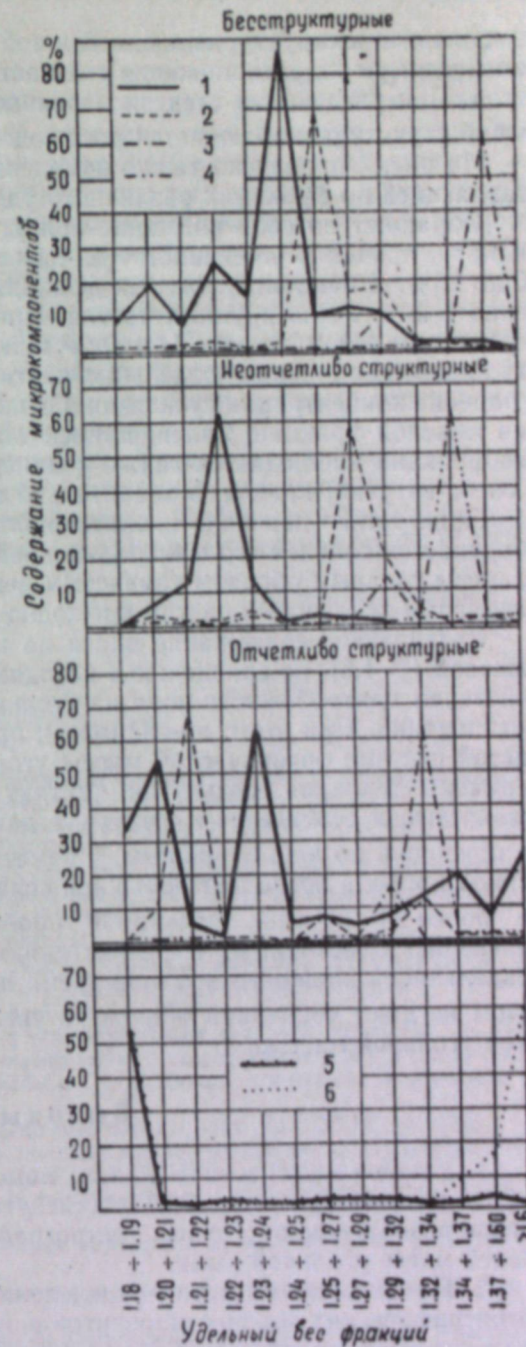


Рис. 3. Распределение петрографических микрокомпонентов по фракциям обогащения: 1 — первично неокисленные, 2 — первично слабоокисленные, 3 — первично среднеокисленные; 4 — первично сильноокисленные, 5 — кутинизированные элементы, 6 — минеральная часть.

компонентов к структурным одной и той же степени первичного окисления максимум их расположения смещается в сторону меньших удельных весов. При увеличении степени первичного окисления для компонентов любой структуры наблюдается рост содержания углерода и падение H^+ .

На рис. 3 приведено также изменение содержания минеральной составляющей во фракциях различного удельного веса.

Обращает на себя внимание присутствие почти во всех фракциях десмита, причем в большинстве из них в значительном количестве — от 10 до 26%. В наиболее тяжелых фракциях он наблюдается преимущественно в виде очень крупных частиц. Причина наличия его во фракциях с удельным весом меньше $1,24 \text{ г/см}^3$ неясна. Здесь может сказаться как ухудшенное смачивание отдельных частиц разделяющей жидкостью, так и падение концентрации суспензии в стакане центрифуги за счет осаждения тяжелой фракции. Явление уноса тяжелых микрокомпонентов в легкие фракции наблюдается также у минеральных частиц, микринита и фюзено-витрена, правда, в значительно меньшей степени.

Присутствие первично неокисленного ксилена в тяжелых фракциях объясняется сильной его минерализацией (клеточные пространства заполнены главным образом глинистым веществом) и довольно крупными размерами ксиленовых частиц в исходном материале.

Увеличенное содержание влаги во всех фракциях, кроме наиболее тяжелой ($> 1,6$), по сравнению с исходным углем, обуславливается воздействием центробежного поля на угольные частицы в процессе центрифугирования. При этом, по-видимому, происходят изменения в тонкопористой системе органической массы угольного вещества за счет резкой перемены давления среды. Так, контакт угольной пыли с разделяющей жидкостью в статическом состоянии даже в течение нескольких суток не приводил, по нашим данным, к заметному увеличению W^a в обработанной пробе, а после центробежной сепарации и фильтрации, занявших не более 20—30 мин., значение W^a пробы возрастало в $2 \div 3$ раза, по сравнению с исходным. Незначительная экстрагирующая способность разделяющей жидкости и малое время контакта ее с угольным веществом не дают оснований объяснять увеличение W^a фракций растворением угольной массы.

Выводы

1. Установлено, что при тонком помоле каменного угля (до частиц $\sim 20 \mu$ и меньше) может быть достигнуто сравнительно полное механическое разобшение отдельных петрографических микрокомпонентов в общей массе угольной пыли.

2. Предложенный метод определения количественного содержания петрографических микрокомпонентов в пыли тонкого помола, основанный на подсчете площадей частиц при равномерной оценке поверхности брикета, дает более точные результаты, чем подсчет по точкам. При организации равномерного помола угля до частиц $\sim 13 \div 14 \mu$ можно использовать и точечный метод, так как в этой области расхождение между результатами, полученными по обоим методам, не превышает $3 \div 4\%$.

3. Разработана и сконструирована многооборотная проточная центрифуга для центробежной сепарации угольного вещества в тяжелых жидкостях. Скорость вращения разделительного стакана центрифуги — 15000 об/мин.

4. В результате центрифугирования выделено 13 фракций различного удельного веса, представленных обогащенными петрографическими микрокомпонентами, присутствующими в составе угля Красулинского месторождения.

рокомпонентами, присутствующими в составе угля Красулинского месторождения. Полученные результаты позволяют выделить группы микрокомпонентов (структурных и бесструктурных) с различной степенью первичной окисленности, а также отделить минеральную часть угля. Обнаружено, что бесструктурные микрокомпоненты располагаются, как правило, во фракциях большего удельного веса, нежели структурные той же степени фюзенизации. На основании технического и элементарного анализа выделенных фракций выявлена закономерность изменения теплотехнических свойств петрографических микрокомпонентов.

5. В дальнейшем более чистое разделение угольного вещества на петрографические микрокомпоненты может быть достигнуто путем организации равномерного помола исходного материала и уменьшения диапазона удельных весов разделяющей жидкости, а также совершенствованием общего режима центрифугирования.

Проведенное разделение угольного вещества имеет целью определение реакционных характеристик различных микрокомпонентов органической массы угля в процессе горения. Работа в этом направлении ведется в настоящее время в лаборатории теплотехники ЗСФАН СССР.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4/IV 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Яворский, О влиянии петрографического состава и структуры каменных углей на процесс горения. Теплотехника, № 2, 1958.
2. И. Э. Вальц, О новой терминологии элементов исходного материала ископаемых углей. Тр. лабор. геол. угля АН СССР, вып. VI, 1956.
3. Ю. А. Жемчужников, Общая геология ископаемых углей. Углетехиздат, 1948.
4. А. Б. Травин, О природе и условиях накопления некоторых углей Аскизского района Минбасса. Тр. Томск. ун-та, т. 132, 1954.
5. А. Б. Травин, К вопросу о терминологии и методах подсчета микрокомпонентов каменных углей. Докл. на Всес. совещ. углетепрографов при ИГи АН СССР, 1956.
6. C. Kröger, Über die Isolierung der Steinkohlelegestandteile aus Glanz- und Mattkohlen von Ruhrflötzen. Glückauf, № 5/6, 1957.
7. Резолюция Всесоюзного совещания углетепрографов при ИГи АН СССР, М., 1956.
8. А. Б. Травин, К методике петрографического исследования углей в связи с изучением их обогатимости. Тр. ГГИ ЗСФАН СССР, Вопросы методики геологических исследований, вып. 18, 1956.
9. П. П. Авдусин, Глинистые осадочные породы. Изд. АН СССР, М., 1953.
10. И. И. Аммосов, Разделение в тяжелых жидкостях как метод характеристики качества ископаемых углей. ДАН СССР, т. LXXIII, № 4, 1950.
11. L. Horton, Separation of Coals into Fractions of different Densities. Fuel, vol. XXXI, № 3, 1952.
12. Н. В. Лазарев, Химически вредные вещества в промышленности, ч. 1, Госхимиздат, 1951.
13. В. И. Касаточкин, Исследование тонкой структуры ископаемых углей, Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 1951.
14. Л. Л. Нестеренко, Особенности химической структуры и свойств микрокомпонентов каменных углей. Тр. лаб. геол. угля АН СССР, вып. VI, 1956.

М. С. ШАРЛОВСКАЯ

К ВОПРОСУ О ТЕПЛООБМЕНЕ И ГИДРОДИНАМИКЕ В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ «КИПЯЩЕГО» СЛОЯ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

При исследовании теплообмена в «кипящем» слое зернистого материала [1, 2] неоднократно отмечалось, что при одинаковых значениях критерия Re коэффициент теплообмена в «кипящем» слое значительно ниже, чем в неподвижном. Это явление объяснялось тем, что в «кипящем» слое фактические скорости обтекания частиц снижаются благодаря увеличению порозности. Очевидно, в области перехода слоя к состоянию «кипения» зависимость коэффициента теплообмена от скорости должна претерпевать изменение, переходя от закономерности в неподвижном слое к закономерности в «кипящем» слое. Однако все известные нам исследования проводились при интенсивных режимах, «кипения», и особенности переходной области, равно как и пределы ее распространения, не рассматривались. Между тем широкое внедрение «кипящего» слоя в различные отрасли промышленности требует уточнения характера происходящих в нем физических процессов при различных режимах протекания потока, в том числе и в переходной области. Целью настоящей работы является выявление закономерности изменения коэффициента теплообмена при переходе слоя в состояние «кипения», а также анализ некоторых гидродинамических особенностей переходной зоны, оказывающих влияние на интенсивность теплообмена.

ТЕПЛООБМЕН В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ

Исследование теплообмена в переходной зоне проводилось по методу охлаждения слоя в квазистационарном режиме [3]. Сущность этого метода заключается в следующем: засыпанный в камеру слой нагревался потоком горячего воздуха при выбранном режиме «кипения» до постоянной температуры 150—170°. После установления теплового равновесия начиналось охлаждение слоя при том же гидродинамическом режиме за счет равномерного (линейного) снижения температуры продуваемого воздуха. Коэффициент теплообмена α между частицами и потоком воздуха определялся из выражения, выведенного для случая охлаждения шарообразного тела (форма частичек) в среде с линейным изменением температуры [4] при наступлении квазистационарного режима*:

$$\alpha = \frac{bRC\tau}{3\left(\bar{t}-t_c-0,0667\frac{bR^2}{a}\right)} \quad (1)$$

* Квазистационарный режим теплообмена начинается с момента времени, когда начальное распределение температуры перестает оказывать влияние на течение процесса и температура любой точки охлаждаемого тела изменяется по тому же линейному закону, что и температура среды.

где

b — скорость охлаждения воздушного потока (град/час),
 R, C, τ, a — соответственно радиус, теплоемкость, удельный вес и температуропроводность материала частичек,
 $\bar{t}$ — средняя температура частиц в рассматриваемый момент времени τ в пределах квазистационарного режима. Значение $\bar{t}$ определялось расчетным путем через количество тепла, аккумулированное в слое в рассматриваемый момент времени. Это количество представляет разность между теплом, которое имел слой в начальный момент времени, и теплом, переданным воздушному потоку за время от 0 до τ .

$t_c = t_0 - b\tau$ — температура среды в тот же момент времени.

Материалом для «кипящего» слоя служили фарфоровые шарики диаметром 4,63, 6,87 и 8,9 мм.

Описание экспериментальной установки и техники проведения опытов по указанному выше методу дано нами ранее [3].

Определение коэффициента теплообмена проводилось при различных скоростях фильтрации от момента начала движения частиц в слое до наступления интенсивного «кипения». Результаты исследования показали, что во всех рассматриваемых случаях при небольшом движении частиц в слое, коэффициент теплообмена получается значительно выше, чем при интенсивном «кипании», несмотря на то, что в последнем случае скорость фильтрации больше. Следовательно, в области перехода слоя из неподвижного в «кипящее» состояние имеет место снижение величины коэффициента теплообмена при увеличении скорости фильтрации. Характерный вид подобной зависимости приведен на рис. 1 а для шариков диаметром 4,63 мм при высоте слоя 60 мм.

Точное направление кривой теплообмена в переходной области установить не удалось, так как небольшое изменение скорости фильтрации приводит к сравнительно резкому падению значения α . Поэтому, ввиду отсутствия промежуточных точек, направление кривой, до момента ее перелома, ориентировочно намечено в виде пунктирной линии. При определенном значении величины скорости фильтрации W_{ϕ} , кривая коэффициента теплообмена имеет перегиб (рис. 1, а), после которого зависимость между α и W_{ϕ} принимает обычный однозначный характер. Явление обратной зависимости между коэффициентом теплообмена и скоростью фильтрации кажется на первый взгляд парадоксальным. Однако если принять во внимание особенность соотношения между скоростью фильтрации и действительной скоростью в условиях «кипящего» слоя, то это явление предстанет вполне закономерным, согласующимся с физической сущностью процесса.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СКОРОСТЬ И ПОРОЗНОСТЬ В «КИПЯЩЕМ» СЛОЕ

При прохождении потока через зернистую засыпку скорость фильтрации W_{ϕ} отличается от действительной скорости потока W_{λ} тем значительнее, чем больше разница между живым сечением слоя (сумма просветов между частичками) и свободным сечением камеры $F_{св}$. Поскольку эта разница определяется величиной порозности слоя m , то соотношение между скоростями W_{ϕ} и W_{λ} также зависит от порозности и выражается в следующем виде:

$$W_{\lambda} = \frac{G_{сек}}{mF_{св}} = \frac{W_{\phi}}{m} \quad (2)$$

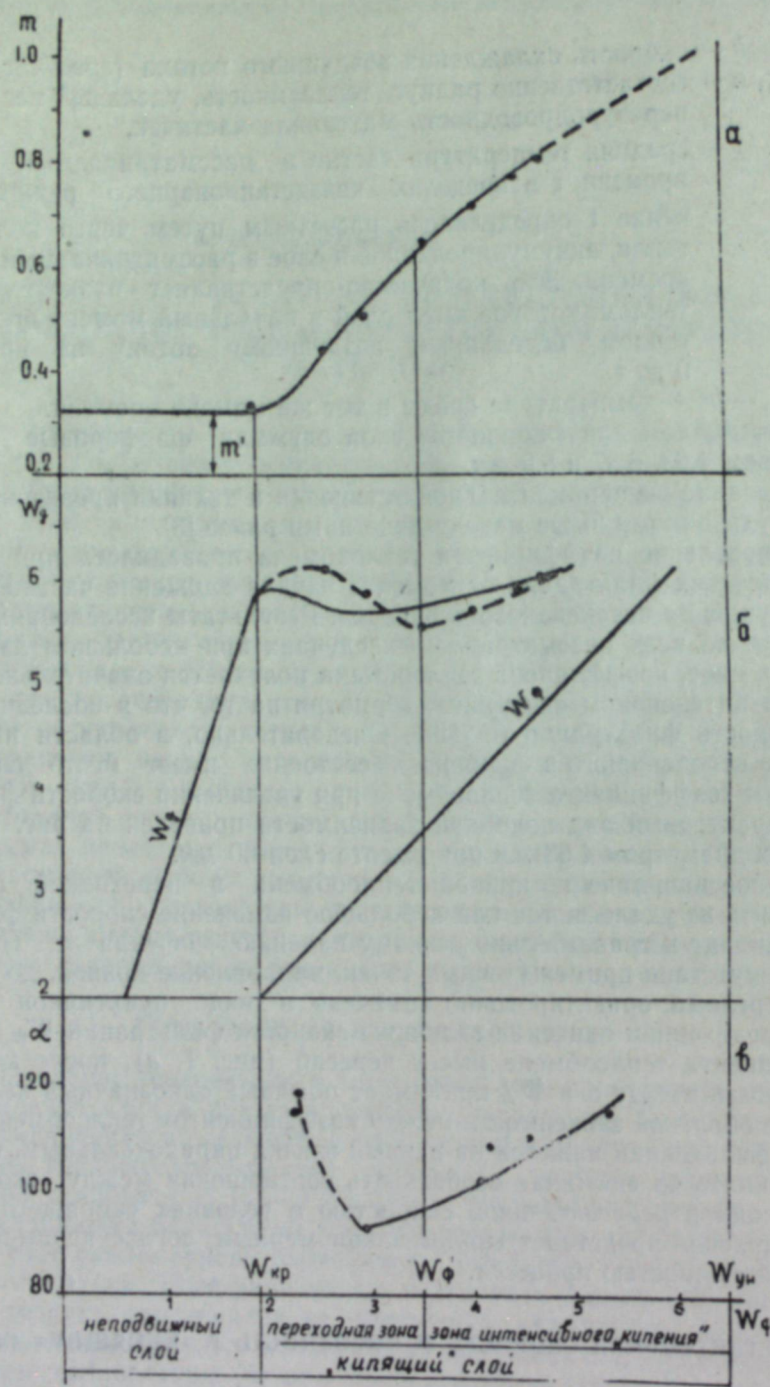


Рис. 1. Изменение порозности (а) действительной скорости (б) и коэффициента теплообмена (в) в «кипящем» слое (фарфоровые шары ф. 4,63 мм $H_0 = 60$ мм).

где $G_{сек}$ — секундный весовой расход газа, проходящего через слой.

Из (2) видно, что в том случае, когда порозность является постоянной величиной, как это имеет место в неподвижном слое, значения W_d и W_f отличаются друг от друга только масштабом. Тогда принятие скорости фильтрации за определяющую скорость при изучении процесса теплообмена является вполне правомерным и не искажает физической сущности явления. Если же порозность является величиной переменной,

как это имеет место в «кипящем» слое, то соотношение между действительной скоростью и скоростью фильтрации определяется характером изменения порозности и может быть неодинаковым для различных режимов «кипения». Поскольку интенсивность теплообмена в «кипящем» слое определяется, по существу, величиной действительной скорости потока, необходимо выяснить характер ее изменения в пределах рассматриваемой области «кипения».

Для подсчета величины действительной скорости производилось экспериментальное определение порозности в «кипящем» слое.

Как известно, порозность определяется из следующего соотношения:

$$m = 1 - \frac{V_m}{V_{с.л.}}, \quad (3)$$

где

$V_m = \frac{G_m}{\gamma_m}$ — объем, занимаемый в слое твердым материалом,

$V_{с.л.} = F_{с.л.} \cdot H_{кип} \cdot \gamma_{м.с.}$ — общий объем слоя в состоянии «кипения»,
 $H_{кип}$ — высота слоя при заданном режиме «кипения».

Подставляя в (3) значения V_m и $V_{с.л.}$, получаем выражение для порозности, определяемое через геометрические параметры слоя:

$$m = 1 - \frac{G_m}{F_{с.л.} H_{кип} \gamma_m}. \quad (4)$$

Для определения m из выражения (4) необходимо провести измерение высоты слоя $H_{кип}$. Так как границы «кипящего» слоя размыты и непосредственно измерить его высоту весьма затруднительно, последняя определялась косвенно, с помощью измерения перепада давления по высоте слоя.

Кривые зависимости перепада давления от высоты слоя (рис. 2) показывают, что на некоторой высоте $H_{кип}$ значение Δp снижается до величины Δp_0 , равной статическому напору в свободном сечении камеры. Следовательно, на высоте $H_{кип}$ сопротивление прохождению воздуха за счет слоя отсутствует, и точка а (см. рис. 2) условно может быть принята за границу «кипящего» слоя.

Соотношение между скоростью потока и средней порозностью в «кипящем» слое изучалось мно-

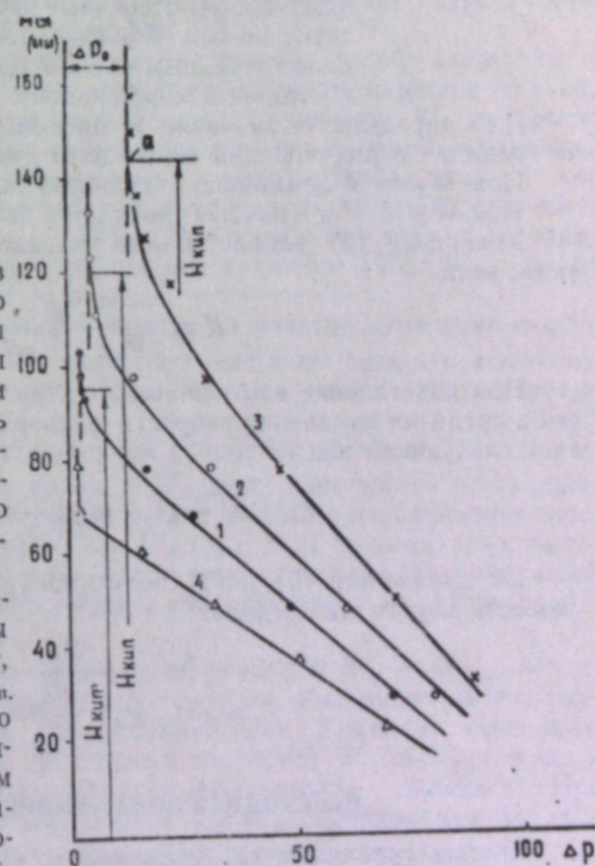


Рис. 2. Определение высоты «кипящего» слоя по перепаду давления при различных режимах «кипения»:

1 — $H_{кип} = 95$ мм, 2 — $H_{кип} = 122$ мм, 3 — $H_{кип} = 145$ мм,
 4 — неподвижный слой (мраморная крошка $d = 2,52$ мм, $H_0 = 70$ мм).

гими исследователями. Данные ряда авторов [5 и др.] и наши опыты подтверждают, что опытные точки для определенного материала и размера частиц удовлетворительно укладываются на логарифмические прямые. Это позволяет сделать вывод, что между порозностью «кипящего» слоя и скоростью фильтрации существует степенная зависимость следующего типа:

$$(m - m') = K(W_{\phi} - W_{кр.})^n, \quad (5)$$

где m' и $W_{кр.}$ — координаты точки начала кипения, с которой начинается изменение порозности по степенному закону (см. рис. 1, а). Как показывают опыты, значение m' несколько больше, чем порозность неподвижного слоя. Величина ее характеризует размеры минимального свободного объема, при котором частички приходят в движение. В первом приближении можно считать, что m' на 10% больше порозности неподвижного слоя;

n — угол наклона экспериментальных логарифмических кривых $m = f(W_{\phi})$. Поскольку эти кривые представляют собою степенные функции, симметричные относительно оси W_{ϕ} (рис. 1, а), значение n выражается положительным числом меньшим единицы.

K — постоянный коэффициент.

Для определения значения K рассмотрим, чему равна порозность на границах существования «кипящего» слоя.

При $W_{\phi} = W_{кр.}$ (начало «кипения») $m = m'$.

При $W_{\phi} = W_{ун.}$ (начало уноса слоя за пределы его объема) $m \cong 1$.

Уравнение (5) удовлетворяет указанным выше граничным условиям, если

$$K = \frac{1 - m'}{(W_{ун.} - W_{кр.})^n}. \quad (6)$$

При подстановке в (5) значения K из (6) выражение для порозности в пределах изменения скорости фильтрации от $W_{кр.}$ до $W_{ун.}$ приобретает следующий вид:

$$m = m' + (1 - m') \left(\frac{W_{\phi} - W_{кр.}}{W_{ун.} - W_{кр.}} \right)^n. \quad (7)$$

Из выражений (2) и (7) получаем уравнение для действительной скорости в этих же пределах:

$$W_{\phi} = \frac{W_{кр.}}{m' + (1 - m') \left(\frac{W_{\phi} - W_{кр.}}{W_{ун.} - W_{кр.}} \right)^n}. \quad (8)$$

ПЕРЕХОДНАЯ ЗОНА «КИПАЩЕГО» СЛОЯ

Анализ уравнения (8) показывает, что выражаемая им функция $W_{\phi} = f(W_{\phi})$ не является постоянно возрастающей, а имеет точку перегиба (минимум) при некотором значении W_{ϕ}^1 . Величину W_{ϕ}^1 можно определить путем приравнивания нулю производной $\frac{dW_{\phi}}{dW_{\phi}}$ от указанной функции.

Для упрощения расчетов введем в выражение (8) следующие обозначения:

$$W_{\phi} - W_{кр.} = x; \quad W_{\phi} = x + W_{кр.} \quad (9)$$

Первая производная, взятая от функции (8), имеет следующий вид:

$$\frac{dW_{\phi}}{dW_{\phi}} = \frac{Kx^n - Knx^{n-1}(x + W_{кр.}) + m'}{(m' + Kx^n)^2}, \quad (10)$$

где K — коэффициент, определяемый выражением (6).

Приравняв нулю производную (10), имеем:

$$Kx^n - Knx^{n-1}(x + W_{кр.}) + m' = 0. \quad (11)$$

После ряда преобразований получаем окончательное выражение:

$$(1 - n)x^n - nW_{кр.}x^{n-1} + \frac{m'}{1 - m'}(W_{ун.} - W_{кр.})^n = 0, \quad (12)$$

где скорость фильтрации, входящая в x , есть искомая величина W_{ϕ} , и, следовательно, x представляет предел распространения переходной зоны.

Однако решение этого уравнения относительно переменной x представляет значительные трудности. Поэтому определение W_{ϕ} более удобно производить графически с помощью построения зависимости $W_{\phi} = f(W_{\phi})$, выраженной уравнением (8).

На рис. 1, б изображен пример построения такой зависимости (сплошная линия). На этом же графике пунктиром нанесена кривая, построенная по опытным точкам, для которых значение W_{ϕ} определялось из выражения (2) при экспериментальном определении порозности. Как видно из графика, обе кривые имеют точки перегиба, хотя и несколько отличающиеся одна от другой, вероятно, из-за неточности опытных данных (расхождение около 17%). При построении кривых по уравнению (8) все входящие в него постоянные величины ($W_{кр.}$; $W_{ун.}$; m ; n) были взяты непосредственно из опыта.

Уменьшение действительной скорости на участке изменения скорости фильтрации от $W_{кр.}$ до W_{ϕ} является следствием того, что в этот период увеличение порозности происходит быстрее, нежели рост скорости фильтрации.

После достижения действительной скоростью минимального значения (при $W_{\phi} = W_{\phi}^1$) величины W_{ϕ} и W_{ϕ} снова изменяются пропорционально друг другу, но в ином соотношении, нежели в неподвижном слое. Разные темпы роста скоростей W_{ϕ} и W_{ϕ} (рис. 1, б) приводят к их постепенному выравниванию, которое теоретически должно заканчиваться при расходе воздуха, обеспечивающем скорость витания, когда порозность слоя близка к единице.

Пределы распространения переходной зоны $x = W_{\phi} - W_{кр.}$ неодинаковы для различных видов «кипящего» слоя. Как видно из выражений (8) и (12), размеры ее определяются как режимом «кипения», обуславливающим значение предельных скоростей $W_{кр.}$ и $W_{ун.}$, так и характером изменения порозности, т. е. показателем степени n . При отсутствии опытных данных величины $W_{кр.}$ и $W_{ун.}$, необходимые для графического получения W_{ϕ} по уравнению (8), можно определить с помощью эмпирических формул, опубликованных в литературе [6, 7]. Но поскольку формулы, предлагаемые разными авторами, имеют значительные расхождения, этот вопрос необходимо подвергнуть дополнительному уточнению.

Подробное изучение влияния параметров «кипящего» слоя на величину n также должно явиться предметом дальнейших исследований. Однако при рассматривании закономерностей изменения порозности [5]

ориентировочно можно предполагать, что с увеличением размера частиц, составляющих слой, показатель степени n имеет тенденцию к росту, что приводит к расширению границ переходной зоны при уменьшении абсолютной величины снижения W_d в этих границах.

Рассмотренные особенности переходной зоны, выражающиеся в обратной зависимости между скоростями W_d и W_f (впервые отмечена И. А. Яворским [8]), являются причиной снижения интенсивности теплообмена при переходе неподвижного слоя в состояние «кипения». Как видно из рис. 1, б, в, точки перелома кривых $\alpha = f(W_f)$ и $W_d = f(W_{cp})$ лежат близко друг от друга. Это говорит о совпадении границ переходной области, определенной по результатам тепловых и гидродинамических исследований и подтверждает существование подобия между указанными процессами.

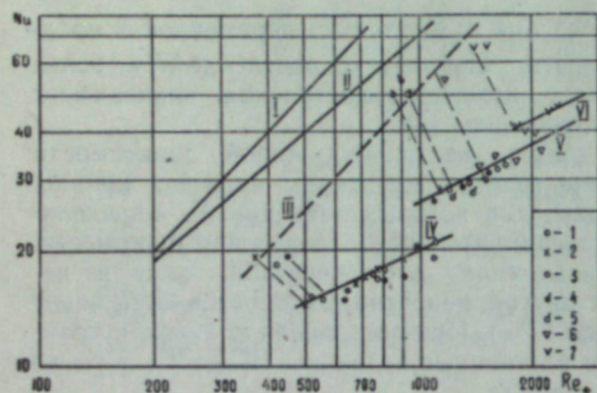


Рис. 3. Теплообмен в слое:

I, II — опыты с неподвижным слоем: (З. Ф. Чуханов и Е. А. Шапатина, С. С. Фурнас); III — опыты в переходной зоне «кипящего» слоя (М. С. Шарловская); IV, V, VI — опыты с «кипящим» слоем (М. С. Шарловская). 1, 2, 3 — фарфоровые шары $d = 4,63$ мм, $h_{cl} = 40, 60, 80$ мм; 4, 5 — фарфоровые шары $d = 6,87$ мм, $h_{cl} = 84$ и 110 мм; 6, 7 — фарфоровые шары $d = 8,9$ мм, $h_{cl} = 96$ и 148 мм.

На рис. 3 полученные нами опытные данные по теплообмену в «кипящем» слое и переходной зоне сравниваются с результатами исследований конвективного теплообмена в неподвижном слое [9]. Как видно из графика, в координатах $Nu - Re_d$ область опытных точек для «кипящего» слоя располагается ниже аналогичных кривых для неподвижного слоя. Опытные точки, характеризующие теплообмен в переходной зоне, выделяются в самостоятельную область, близко лежащую к кривым неподвижного слоя.

На рис. 4 построено соотношение между коэффициентом теплообмена и действительной скоростью обтекания частиц в безразмерных координатах $Nu - Re_d$, когда критерий Рейнольдса определяется по действительной скорости.

Как и следовало ожидать, в указанных координатах зависимость везде получается однозначная и перелома кривых не наблюдается. Следовательно, увеличение действительной скорости при всех режимах «кипания» приводит к увеличению интенсивности теплообмена, что полностью согласуется с физической сущностью рассматриваемого процесса.

Выводы

1. Путем исследования закономерности изменения действительной скорости потока в начальный период «кипания» подтверждено существование переходной зоны в «кипящем» слое, когда благодаря резкому увеличению порозности слоя, действительная скорость обтекания частиц изменяется в обратном отношении к скорости фильтрации.

2. Предложена эмпирическая формула, определяющая соотношение между действительной скоростью и скоростью фильтрации в пределах «кипания» слоя. Эта же формула может быть использована для определения границ распространения переходной зоны.

3. Переходная зона, в которой имеет место обратная зависимость между скоростями W и W_f , является характерной особенностью, присущей только «кипящему» слою. Наличием этой зоны объясняется характер изменения коэффициента теплообмена при переходе неподвижного слоя в состояние «кипания».

4. Переходная зона в «кипящем» слое является наименее выгодной с точки зрения интенсивности теплообмена, что необходимо учитывать при выборе режима «кипания» для теплообменников и других аппаратов, где применяется «кипящий» слой.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13/XI 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Kettenring, E. Manderfield, J. Shith, Heat and mass transfer in fluidized systems. Chem. Eng. Progr., vol. 46, № 3, 1950.
2. И. М. Федоров, Теория и расчет процесса сушки. Госэнергоиздат, 1955.
3. М. С. Шарловская, Исследование теплообмена в «кипящем» слое методом квазистационарного режима. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 7, 1958.
4. А. В. Лыков, Теория теплопроводности. ГИТТЛ, 1952.
5. W. Levis, E. Gilliland, W. Bauer, Characteristics of fluidized particles. Ind. and Eng. Chem. vol. 41, № 6, 1949.
6. Л. А. Акопян, А. Г. Касаткин, Гидродинамика слоя зернистого материала. Химическая промышленность, № 2, 1955.
7. О. М. Тодес, А. К. Бондарева, Особенности технологических процессов во взвешенном слое. Химическая наука и промышленность, т. II, № 2, 1957.
8. И. А. Яворский, Аэродинамика потока в дисперсной среде. Отчет ЗСФАН, 1955.
9. З. Ф. Чуханов, Теплообменник системы ЭНИН. Сб. Промышленная энергетика, изд. АН СССР, 1952.

Н. Г. КОЛОМИЕЦ, А. В. КОВАЛЕНКО.

БИОЛОГИЯ ЯЙЦЕЕДА — *Telenomus gracilis* Mayr
(Hymenoptera, Scelionidae)

Наездник *Telenomus gracilis* Mayr — один из периодически массовых видов фауны перепончатокрылых Сибири. В годы массовых размножений сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschtv. (Lepidoptera) он выступает в роли важнейшего регулятора численности вредителя, заражая его яйца на 75—90%. Это открывает возможность практически использовать паразита в биологической борьбе с шелкопрядом. Существует два взгляда в вопросе о путях использования теленомуса в борьбе с шелкопрядом. Одни ученые считают, что яйца вредителя, зараженные теленомусом, следует собирать в затухающих очагах и переносить их во вновь возникающие очаги. Другие предлагают искусственно размножать яйцееда в инсектариях.

Оба способа борьбы с вредителем имеют существенные недостатки. Первый предполагает к моменту обнаружения молодых очагов наличие в природе старых очагов, а сохранение последних противоречит главнейшему принципу лесозащиты — недопущению массовых размножений вредных насекомых. Второй способ сталкивается с необходимостью искусственного разведения таких вредителей, как сибирский или сосновый шелкопряд, поскольку размножение паразита на других хозяевах оказывается сложным или невозможным.

Не вступая в данной статье в споры о преимуществах и недостатках указанных способов, мы считаем, что так или иначе культурное лесное хозяйство нашей страны, чтобы оградить леса от нашествий шелкопряда, со временем должно будет поставить себе на службу полезных насекомых, и прежде всего *Telenomus gracilis*.

Первое описание самца теленомуса сделано Майром [1]. В 1903 г. тем же систематиком дан диагноз самки [2]. Дополненное описание теленомуса приведено Киффером [3]. Насекомое, весьма близкое к рассматриваемому нами виду, описал Матсумура [4] и назвал его *Holcaerus* (?) *dendrolimi* sp. n. В японской и китайской литературе о сибирском шелкопряде в качестве паразита яиц *Dendrolimus albolineatus* Mats. и *D. spectabilis* Butl. упоминается *Telenomus dendrolimi* Mats. и *Telenomus dendrolimusi* Chu.

В русской литературе *Telenomus gracilis* Mayr впервые встречается у И. В. Васильева [5]. В этой работе приведено изображение самца и некоторые сведения о биологии вида. Изображение преимагинальных фаз впервые дал В. О. Болдаруев [6]. Удовлетворительного описания вида в отечественной литературе не имеется, а биология его изучена слабо.

Наездники, находившиеся в нашем распоряжении и принимаемые за *Telenomus gracilis* Mayr, имеют черное продолговатое, длиной 1,0—1,2 мм, стройное тело. Голова поперечная, четырехугольная, длина ее вдвое меньше ширины. Глаза густоволосистые. Жвалы с зубцами на конце. Лоб гладкий и блестящий. Темя сильно блестящее в разбросанных точках и волосках, гладкое или очень тонко пунктированное. Усики у са-

мого края наличника черно-коричневые. У самки они 11-члениковые, булавовидные. Стебелек в 3 раза длиннее поворотного членика и в 4 раза длиннее первого членика жгутика. Длины 1—4-го члеников уменьшаются по направлению к булаве и соответственно относятся как 2:1, 7:1, 4:1. Четвертый членик почти шаровидный. Булава явственная, 5-члениковая, длина ее больше длины жгутика вместе с поворотным члеником. Первый членик булавы почти поперечный, средние — примерно квадратные, соединены не плотно, по длине равны первому членику жгутика. Все членики в белых волосках, длина которых достигает $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ диаметра члеников.

Усики самца 12-члениковые, во второй половине четковидные. Поворотный членик намного короче первого членика жгутика. Длина 1—3-го члеников жгутика примерно вдвое превышает их диаметр; эти членики сближены между собой. 6—11-й членики жгутика шаровидные, между собой они несколько разделены. Последний членик по длине равен двум предыдущим, имеет коническую форму. Все членики усика в белых волосках.

Ширина лба немного превышает высоту глаза. Среднеспинка поперечная, гладкая, без парасид, тонко пунктированная. Щитик полукруглый, блестящий, гладкий с отдельными точками вдоль заднего края. Стебелек брюшка поперечный, спадающий. Первый тергит в базальной половине исчерчен бороздками в виде полос. Второй тергит брюшка очень длинный, спереди исчерченный только у самки. Крылья прозрачные, ресничатые, длиннее брюшка. Ноги коричневые, вершина бедер, основание голени и лапки охряно-желтые. У живых экземпляров брюшко заметно длиннее спинки.

Распространение вида изучено недостаточно. На территории СССР он достоверно известен в Амурской, Читинской, Иркутской, Тувинской, Омской, Томской, Новосибирской, Кемеровской, Семипалатинской областях, Алтайском и Красноярском краях. По данным Киффера [3], вид встречается и в Австрии, где паразитирует в яйцах шелкопряда *Bombyx rubi* L. В Западной Сибири выведен из яиц *Dendrolimus sibiricus* Tschtv., *Dendrolimus pini* L., *Dasychira abietis* Schiff., *Orgyia antiqua* L. и *Deporaus betula* L. На первых двух видах чешуекрылых паразит отмечается в массе.

Отдельные черты биологии взрослых наездников освещаются в работах И. В. Васильева [5], С. С. Прозорова [7], В. О. Болдаруева [6] и нашими исследованиями [8—10]. Биология преимагинальных фаз не изучалась. На основе литературных источников и наших данных имеется возможность более полно осветить биологию этого вида.

Наблюдения за теленомусом проводились нами в природе и в лаборатории в период работы лесобиологической экспедиции ЗСФАН СССР в 1954—1957 гг.* Развитие теленомуса изучалось на живых объектах. Вскрытие зараженных яиц в первые сутки производилось через каждые 30 минут, через 2 часа, позднее через каждые сутки. Дополнительно изучались срезы зародышей, окрашенные гематоксилином и эозином.

Telenomus gracilis зимует в лесной подстилке в стадии окрыленно-го насекомого. Примерно со середины мая самки паразита выходят из мест зимовки и ведут открытый образ жизни; самцы в ранневесенний период нами не обнаружены. Бегают или совершая короткие перелеты, теленомус посещает хвойные и лиственные леса, поляны, огороды, пойменные луга. В июле, ко времени появления бабочек сибирского шелко-

* В сборе полевых материалов в 1956—1957 гг. и изготовлении препаратов принимала участие И. Т. Филатова.

пряда, теленомус накапливается в местах наибольшей численности куколок вредителя. Как только у бабочек начинается брачный период, паразиты переползают к ним под крылья, забираясь в густые длинные волоски на груди. Значительное количество паразитов концентрируется в длинных волосках у корня переднего крыла и в складке, образуемой анальной жилкой. Иногда еще на мокрой, не расправившей крылья бабочке их насчитывается до 40 экземпляров.

Летающие бабочки, как установлено специальными опытами, переносят на себе теленомусов на расстояние в несколько километров. Будучи прижатыми длинными волосками на груди и в складке крыла бабочки, теленомусы удерживаются на ней в течение 15—17 минут непрерывного полета.

В разгар размножения паразиты таким образом оказываются на месте откладки бабочками яиц и заражают их.

Источником пищи взрослого теленомуса служат нектароносные растения. В ранневесенний период теленомус питается на цветах ив и смородины, летом — на боярышнике, клевере, лабазнике, осенью — на клевере и черноголовнике. Кроме того, он, по-видимому, может питаться медвяной росой.

При отсутствии яиц для заражения самки теленомуса живут 5—6 месяцев. Самцы умирают в первую неделю после спаривания. В отсутствии самок они живут более месяца.

В яйцах шелкопряда, зараженных теленомусом, в природе паразитируют хальциды *Pachyneuron solitarius* Hrt. и *Eutelus matsukemushii* Mats. Первый из них широко распространен в лесах Тувы, второй повсеместно отмечался единично.

Авиацимическая борьба с применением ДДТ и ГХЦГ отрицательно сказывается на плотности популяции теленомуса. После опыливания с кроны одного дерева падало до 84 мертвых наездников. Однако полного истребления их не наблюдается, а вследствие наличия форезии (перелета на бабочках) процент заражения яиц в опыленных и неопыленных лесах оказывается одинаковым. В связи с наличием форезии у теленомуса утратило значение понятие старого и нового очага. В миграционных очагах зараженность яиц шелкопряда теленомусом бывает обычно такой же, как в первичных.

Перед яйцекладкой самки теленомуса производят тщательный выбор яиц шелкопряда, предпочитая свежееотложенные, не зараженные другой самкой. Заражают также одно-, двух- и трехдневные яйца, причем трехдневные менее охотно. Зародыш в них заключен в амниотической полости, имеет зачатки конечностей, сформированную нервную систему и среднюю кишку, но анатрепсис еще не начался и большая часть желтка не использована развивающимся зародышем.

Выбрав подходящее яйцо, самка широко расставляет задние ноги, вводя между ними брюшко. Передние крылья при этом она отводит назад и несколько в сторону, опирается их концами о поверхность яйца хозяина (рис. 1). Уколы яйцеклада неглубоки, отложенные теленомусом яйца всегда располагаются у поверхности, сразу под бластодермой яйца хозяина. Закончив яйцекладку, самка теленомуса производит характерные круговые движения по поверхности яйца, как бы заглаживая хорион яйца хозяина спинной стороной конца брюшка, продвинутого далеко вперед между широко расставленными задними ногами. Яйца, на поверхности которых самка не совершает таких движений, оказываются незараженными.

Можно предположить, что самка смазывает чем-то поверхность яйца, чтобы предотвратить повторное заражение. Однако, судя по количеству

теленомусов, вылетающих из яиц, зараженных в природе, повторное заражение все же бывает. В лаборатории мы наблюдали одновременно заражение яйца двумя самками теленомуса. В таких случаях из одного яйца шелкопряда вылетает до 25 теленомусов. Многократное заражение одного и того же яйца имеет место и у других наездников, например у *Mestocharis militaris* [11].

Одна самка теленомуса в течение 8 часов может заразить до 23 яиц. После истощения запаса половых продуктов она погибает. Откладка яиц активными самками заканчивается в течение одного дня, но иногда она растягивается до 16 дней, несмотря на наличие большого количества свежих яиц шелкопряда.

В течение жизни самка откладывает до 230 яиц. В одно яйцо хозяина откладывается от 3 до 12 яиц, чаще 10—11.

Яйцо *T. gracilis* (рис. 2, А) веретеновидной формы, несколько заострено на заднем и сильно сужено и вытянуто в длинный стебелек на переднем конце. Размеры яйца в микронах: длина со стебельком от 13,5 до 20, наибольший диаметр расширенной части от 2,1 до 3, диаметр стебелька — 0,9. Снаружи яйцо одето тонким, прозрачным, гладким хорионом. Протоплазма слабо зернистая, резко базофильная.

Через несколько минут после откладки яйца начинается дробление, и через 30 минут в центре его видны немногочисленные ядра, которые, продолжая делиться, передвигаются к периферии; через час небольшая часть их располагается в поверхностном слое плазмы. Ядра светлые,

пузырьковидные, бедны хроматином; они несколько различаются по размерам. Через 1 час 30 мин. большая часть ядер оказывается у поверхности яйца, где намечается разделение плазмы на клетки (рис. 3, А), но клеточные границы еще слабо выражены, борозды неглубоки, центральная часть плазмы становится оксифильной, количество ядер здесь уменьшается. В течение двух часов развития в передней части яйца, составляющей примерно $\frac{2}{3}$ длины его, бластодерма приобретает выраженное клеточное строение. В задней части выделяются два многоядерных участка плазмы (рис. 2, Б), которые у $2\frac{1}{2}$ -часового зародыша разделены на отдельные клетки.

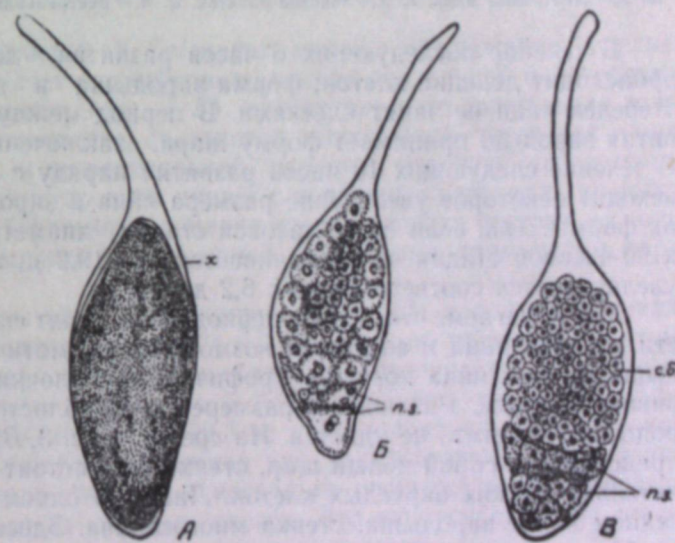


Рис. 2. Внешний вид живых зародышей *Telenomus gracilis* на ранних стадиях развития:

А — только что отложенное яйцо, Б — дробящееся яйцо через 2 часа после откладки, В — то же через 4 часа. х — хорион, п. з. — половой зачаток, с. б. — соматическая бластодерма.



Рис. 1. Позиция самки при откладке яиц.

Четырехчасовой зародыш отличается большим числом и более мелкими клетками бластодермы в передней части, которые ограничивают появившуюся здесь полость; на заднем конце резко выделяются две группы крупных клеток (рис. 2, В и 3, Б). По аналогии с развитием *Prestichia aquatica*, описанным Ивановой-Казас [11], можно предположить, что это половой зачаток, хотя он приобретает клеточное строение несколько позднее, чем соматическая бластодерма.

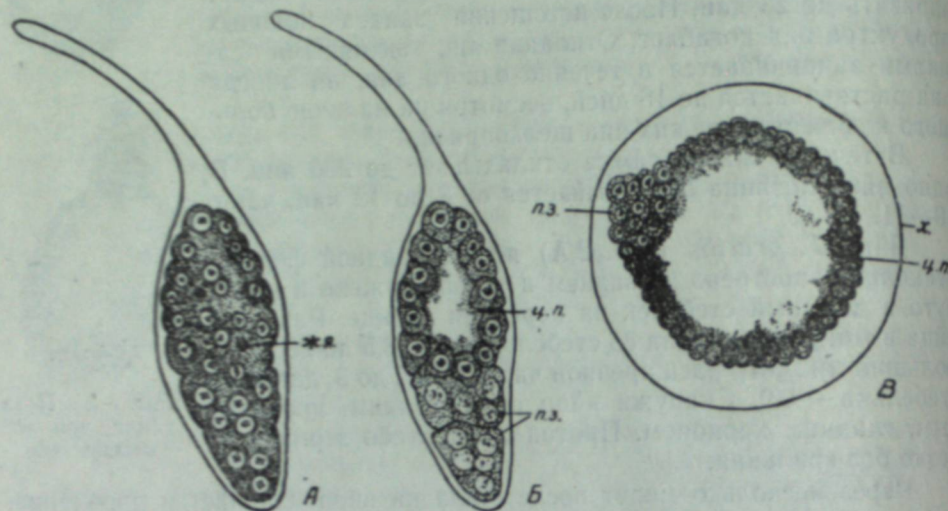


Рис. 3. Разрезы яйца *T. gracilis* разных сроков развития ($\times 560$):

А — стадия ранней бластодермы, через 1 час. 30 мин. после откладки. Б — 4-часовой зародыш. В — 19-часовой зародыш.
ж. я. — желточные ядра, п. з. — половой зачаток, ц. п. — центральная плазма, х. — хорион яйца.

В течение последующих 6 часов развития, до 10-часовой стадии, происходит деление клеток; форма зародыша и яйца не изменяется, стебелек яйца не занят клетками. В период между 10 и 12 часами развития зародыш принимает форму шара, заключенного в хорионе яйца. В течение следующих 10 часов развития наряду с делением клеток происходит некоторое увеличение размера яйца и зародыша без изменения их формы. Так, если на 12-часовой стадии диаметр яйца был 7,8 μ , то к 20-часовой стадии он увеличивается до 19,2 μ , а диаметр зародыша увеличивается соответственно с 6,2 до 9,4 μ .

Мы полагаем, что в этот период происходит изменение проницаемости хориона яйца и создается возможность осмотического питания зародыша за счет яйца хозяина. Трофические оболочки у зародыша не развиваются вовсе. Различий в размере клеток бластодермы на живых зародышах заметить не удастся. На срезах (рис. 3, В) видно, что зародыш представляет собой полый шар, стенка его состоит из одного слоя сравнительно мелких округлых клеток. Лишь на одном из полюсов, бывшем заднем конце зародыша, стенка многослойна. Здесь располагается группа более крупных клеток полового зачатка со слабо базофильной плазмой и крупными глыбками хроматина в центре пузырьковидных светлых ядер. Центральная плазма резко базофильна, расположена постенно в виде узкой полоски.

Суточный зародыш (рис. 4, А) удлиннен и изогнут на спинную сторону. На сагиттальных срезах видно, что стенка его тела, ограничивающая щелевидную первичную полость, состоит из двух-трех неправильно расположенных рядов клеток с многочисленными митозами. Разницы в толщине спинной и брюшной стенок нет. В передней части зародыша,

на выпуклой брюшной стороне видна небольшая впадина — зачаток стомодеума. На несколько более поздней стадии развития (рис. 4, Б) впадина превращается в хорошо заметное впячивание — переднюю кишку. Зачаток задней кишки образуется впячиванием заднедорзальной стенки зародыша.

Как известно, средняя кишка у большинства насекомых образуется из клеток, мигрирующих из дна проктодеума и стомодеума или из участков бластодермы, где впоследствии образуются эти впячивания. Иногда стомодеум и средняя кишка образуются путем инвагинации, или же средняя кишка формируется из клеток, мигрировавших из области



Рис. 4. Сагиттальные разрезы зародыша *T. gracilis* на ранней стадии закладки зародышевых листков (А, Б) и молодой личинки (В):

мез. — мезодерма, з. к. — задняя кишка, р. о. — ротовое отверстие, ср. к. — средняя кишка, п. з. — половой зачаток, сл. ж. — зачаток слюнной железы, ст. — стомодеум, эн. — энтодерма.

стомодеального впячивания. У *Telenomus gracilis* образование средней кишки происходит за счет пролиферации клеток дорзальной бластодермы передней части зародыша (рис. 4, Б), вследствие чего дорзальная стенка в этом участке истончается, становится однослойной, тогда как в задней части зародыша и на вентральной стороне бластодерма остается утолщенной. Соединение средней кишки с передней происходит до выхода личинки из яйца. Сформировавшаяся средняя кишка состоит из крупных клеток с базофильной протоплазмой и богатыми хроматином ядрами (рис. 4, В).

Выход личинки из яйца при температуре 25° и влажности около 80% происходит в период между 24 и 36-м часами развития. К этому времени зародыш становится грушевидным, суженным к переднему и расширенным к заднему концу (рис. 5, А). Длина его — от 13,7 до 17,2 μ , наибольший диаметр — от 7,9 до 12,3 μ , наименьший (у переднего конца) — 3,2 μ . Вентралатерально, позади рта, располагаются два впячивания стенки тела в виде трубочек с несколько расширенными концевыми отделами, состоящими из крупных клеток. Это зачатки слюнных желез, открывающихся самостоятельным протоком каждая.

На поперечных срезах через среднюю часть такого зародыша и молодой личинки видно, что мезодерма образуется путем миграции вдоль средней линии утолщенной брюшной бластодермы (рис. 6, Г). Мезодермальные клетки не образуют сомитов.

Справа и слева от срединной линии в брюшной бластодерме хорошо видны валики, тянущиеся вдоль всего тела зародыша. Клетки их округлы, с резко базофильной протоплазмой и связаны с эктодермой. Это за-

чатки брюшной нервной цепочки. В передней части тела у личинки, только что вышедшей из яйца, имеется два дорзолатеральных утолщения эктодермы (рис. 6, А), которые в среднедистальной части погружаются под эктодерму в виде направленных назад неглубоких, слепо замкну-

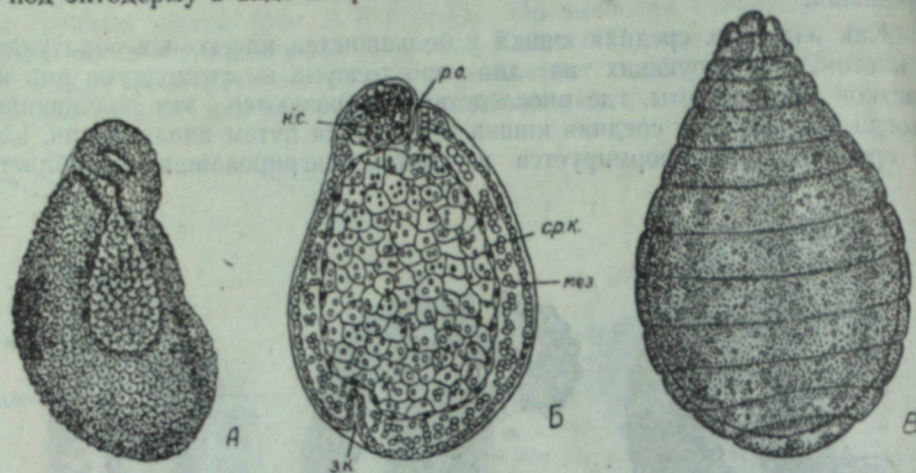


Рис. 5. Внешний вид живых зародышей *T. gracilis*:

А — только что вышедшая из яйца личинка, Б — личинка через 48 часов развития, В — сегментированная двухсуточная личинка.
р. о. — ротовое отверстие, н. с. — нервная система, ср. к. — средняя кишка, мез. — мезодерма, з. к. — задняя кишка.

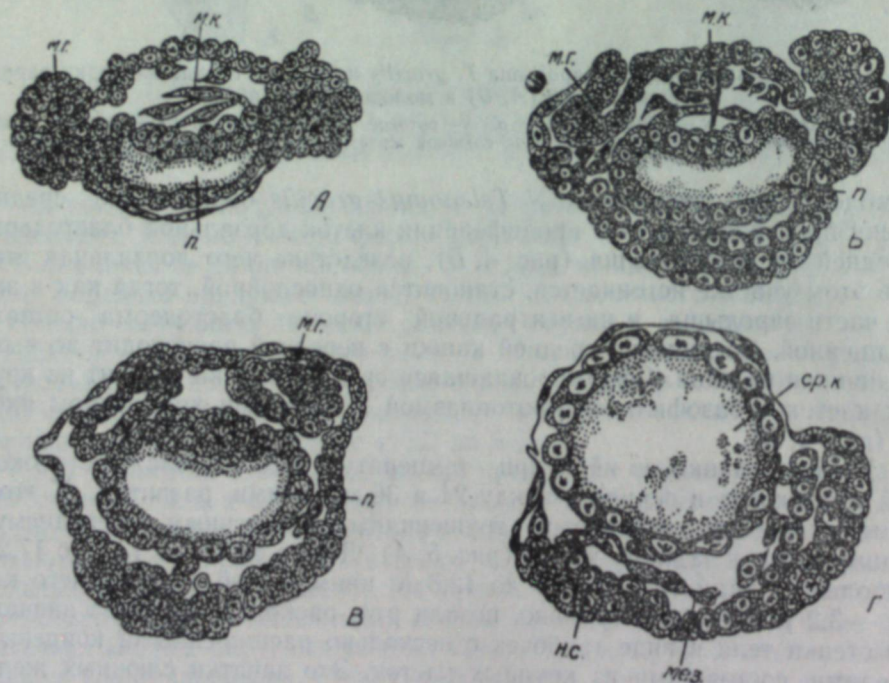


Рис. 6. Поперечные срезы молодой личинки *T. gracilis* (×560):

А — у переднего конца, Б, В — на уровне передней кишки, Г — на уровне средней кишки.
м. з. — зачатки мозговых ганглиев, п. — пищевод, м. к. — мышечные клетки, мез. — мезодерма, н. с. — зачатки брюшной нервной цепочки, ср. к. — средняя кишка.

тых кармашков, сообщающихся, на этой стадии и на несколько более поздней, с внешней средой щелевидными отверстиями (рис. 6, Б, В и 7). В дальнейшем эти впячивания дифференцируются и дают мозговые ганглии.

Молодая, вышедшая из яйца личинка (рис. 5, А) грушевидной формы, сужена к переднему концу. Рот, смещенный несколько на выпуклую брюшную сторону, ведет в короткий пищевод. Твердых хитиновых частей около рта нет. Они появляются в виде сильно хитинизированных бугорков по бокам рта у двухсуточной личинки. Пищевод немного сжат дорзовентрально, дорзальная стенка его вогнута, вентральная выпукла. Обе стенки состоят из крупных почти кубических клеток с крупными ядрами. В начальной своей части пищевод прилегает к вентральной стенке тела (рис. 6, Б), с дорзальной стороны к нему примыкают крупные вытянутые клетки — это мышечные клетки, обеспечивающие ритмические глотательные движения, которые появляются сразу после вылупления личинки.

Пищевод ведет в слепо замкнутую среднюю кишку, состоящую на этой стадии из довольно крупных полигональных клеток с крупными богатыми хроматином ядрами, причем наиболее крупные, часто округлые клетки образуют дно кишки. По длине кишечник составляет $\frac{2}{3}$ длины тела личинки; по мере наполнения его желтком яйца хозяина стенка средней кишки растягивается, клетки становятся плоскими, вытянутыми. После 48 часов развития общая длина личинки равна 42,8 м, наибольший диаметр — 29,6 м, а длина средней кишки 33 м; между кишечником и стенкой тела сохраняется первичная полость, содержащая мезодермальные клетки (рис. 5, Б). Через 60 часов развития кишечник растягивается настолько, что почти полностью вытесняет первичную полость тела. Стенка его не обнаруживает клеточного строения. Она имеет вид тончайшей перепонки с единичными веретеновидными ядрами, клеточные границы не видны. Вследствие сильного растяжения средней кишки личинка пузыревидно вздувается, клеточные границы в стенке тела также исчезают.

Задняя кишка не отличается от эмбриональной. Слюнные железы тоже эмбрионального характера, но они очень быстро дифференцируются, преобразуясь в типичный железистый орган трубчатого типа. У основания задней кишки со стороны, обращенной к брюшной стенке тела, располагается довольно большая группа крупных округлых клеток с крупными глыбками хроматина в центре ядра. Это клетки полового зачатка (рис. 4, В), который у личинки суточного возраста оказывается разделенным на два компактных зачатка, окруженных мезодермальной оболочкой. Клетки эти сохраняют эмбриональный характер. Половой зачаток, выделившийся еще на стадии дробления яйца, настолько быстро дифференцируется, что у куколок, за пять-семь дней до вылета имаго в половых железах созревают половые клетки, яйца и сперматозоиды. Последнее обеспечивает спаривание сразу после вылета имаго.

Молодая личинка не сегментирована и неподвижна, в стенке ее тела не обнаруживаются дифференцированных мышечных элементов, за исключением мышечных клеток, связанных с пищеводом. Первые признаки сегментации появляются у личинки к концу первых суток, когда выделяются один головной и два грудных сегмента; двухсуточная ли-

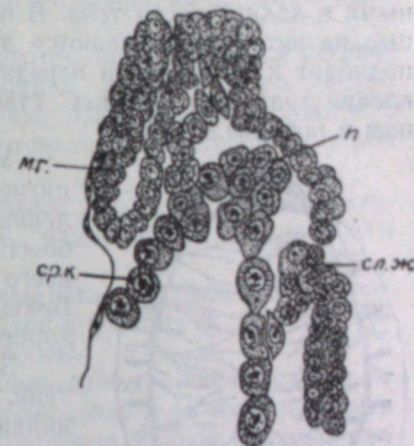


Рис. 7. Сагиттальный срез переднего конца молодой личинки

м. з. — зачаток мозгового ганглия, сл. ж. — слюнная железа, п. — клетки пищевода, ср. к. — средняя кишка.

чинка (рис. 5, В) полностью сегментирована. Всего насчитывается 13 сегментов: 1 головной, 3 грудных и 9 брюшных. Общая длина тела 1,232 мм, наибольший диаметр — 0,792 мм.

На живых личинках хорошо видны 9 пар дыхалец, расположенных на 2 и 3-м грудных сегментах и на 1—7-м брюшных. Трахейная система (рис. 8) представлена двумя главными боковыми стволами, соединенными в задней части тела. В передней — стволы раздваиваются, наружные их ветви заканчиваются дыхальцами, а внутренние, разветвляясь, подходят к пищеводу и переднему концу тела. Многочисленные разветвления трахей от главных стволов направляются к внутренним органам и покровам тела.

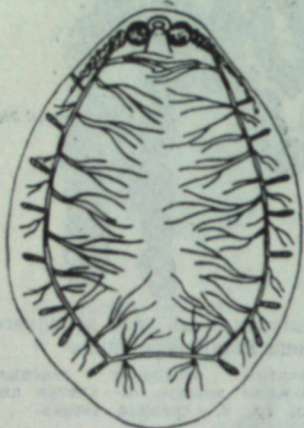


Рис. 8. Схема трахейной системы двухсуточной личинки.

У двухсуточной личинки уже есть мальпигиевы сосуды и, в стенке тела, немногочисленные веретеновидные мышечные клетки, обеспечивающие перистальтические движения всего тела, направленные спереди назад. Брюшная нервная цепочка и мозговые ганглии хорошо развиты.

Зачатки имагинальных дисков головы, антенн, грудных ног и крыльев появляются у личинки 2½-суточного возраста; у 3-суточной личинки эти зачатки уже очень хорошо дифференцированы, и в стенке тела ее видны немногочисленные поперечнополосатые мышечные волокна. К этому времени питание личинки и перистальтические движения тела прекращаются. Личинка переходит в состояние предкуколки.

Фаза личинки длится трое суток, за этот период личинка линяет два раза.

Фаза предкуколки длится около трех суток. В течение первых суток рассасывается значительная часть пищи, содержащейся в средней кишке; зачатки конечностей удлиняются и сегментируются, полностью разрушаются личиночные слюнные железы; более дифференцированной становится нервная система. В начале вторых суток предкуколичной фазы личиночный эквизий отделяется по всей поверхности, намечается внешнее расчленение на голову, грудь и брюшко, но между грудью и брюшком пока слабо выраженное. Личиночная средняя кишка довольно значительна по объему.

Во второй период формируется дефинитивная средняя кишка, которая соединяется с задней. Личиночный кишечник, заключенный теперь в полость дефинитивного, резко сокращается в объеме. Появляются и дифференцируются зачатки омматидиев и спинной кровеносный сосуд; зачатки яичников преобразуются в яйцевые трубки; значительно более развитой становится мускулатура, особенно в грудном отделе; к концу периода зачатки крыльев и грудных конечностей сильно удлиняются, тело разделяется на отделы.

Куколичная фаза длится 8—9 дней. За это время наибольшего развития достигает трахейная система и мускулатура, окончательно формируется кишечник, в половых железах начинают развиваться половые клетки.

Сроки развития яйцеда от откладки яйца до выхода взрослого насекомого зависят от температуры и влажности. При влажности около 80% и температуре 25° развитие заканчивается на 16—17-й день, при 17—19° — на 24—27-й день, а при 4—8° длится около четырех месяцев.

Затенение яиц, как и полная темнота, не оказывает влияния на развитие теленомуса, оно протекает так же успешно, как и на свету. Выход всех наездников происходит, как правило, через одно отверстие в хорионе яйца, редко через два.

Соотношение полов в поколениях из партий яиц, собранных в лесу, не одинаково. Оно колеблется от 1 : 1 до 1 : 3, с преобладанием самок. Отродившиеся наездники сразу приступают к спариванию и откладке яиц.

Самки теленомуса, собранные весной, охотно заражают яйца шелкопряда и дают обоеполое потомство. В условиях лабораторного опыта девственные самки, изолированные от самцов, тоже успешно заражают предложенные им яйца вредителя, но в потомстве отрождаются только самцы.

Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что самки зимуют оплодотворенными, и чисто партеногенетическое размножение у теленомуса исключается.

Подводя итог исследованию, можно отметить, что биология *Telenomus gracilis* Mayr в некоторой степени сходна с биологией других яйцедов [12, 13], хотя имеет и отличительные черты.

Паразит отличается широким географическим распространением. Он известен по всему ареалу сибирского шелкопряда и за его пределами. В Сибири теленомус является важнейшим паразитом таких опасных вредителей леса, как сибирский и сосновый шелкопряды, и спорадически паразитирует на некоторых других видах лесных чешуекрылых.

Яйца теленомуса, несмотря на очень малые размеры и отсутствие желтка, дробятся по поверхностному типу. Эмбриональный период сильно укорочен и упрощен, в образовании тела зародыша участвует вся бластодерма. Эмбриональный органогенез ограничивается образованием лишь небольшого количества мезодермальных клеток, закладкой органов пищеварения и выделением эмбриональных зачатков нервной системы. На ранних стадиях развития зародыш питается осмотически. Отродившаяся личинка, несмотря на чрезвычайно примитивное строение, питается активно, заглатывая пищу. Ранняя и быстрая дифференциация клеток полового зачатка, особенно в фазе куколки, приводит к тому, что половые продукты созревают еще за несколько дней до вылета имаго. Последнее обеспечивает готовность теленомуса к спариванию и яйцекладке вскоре после окрыления.

Простота размножения яйцеда в лабораторной обстановке, короткий период развития и большая продолжительность имагинальной фазы делают теленомуса перспективным видом для искусственного размножения.

Практическое использование может иметь и такая интересная адаптация у теленомуса, как форезия. Пользуясь ею, можно легко собирать маточный материал теленомуса, выставляя в лесу садки с бабочками шелкопряда, и расселять теленомуса по возникающим очагам вредителя, выпуская его в местах наибольшего скопления гусениц и куколок шелкопряда.

Дальнейшие исследования следует направить на изыскание способов накопления больших количеств свежих яиц шелкопряда, их заражения и выяснения режима хранения, обеспечивающего выращивание жизнеспособного потомства к заданному времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Mayr, Verhandl. Gesellsch. Bot. und Zool. Wien, vol. 29, 1879.
2. G. Mayr, Verhandl. Gesellsch. Bot. und Zool. Wien, vol. 53, 1903.
3. I. Kiefer, Tierreich, Im Aufgab der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Hymenoptera, Proctotrupidae, Scelionidae. Berlin und Leipzig, 1926.
4. S. Matsumura, On the tree species of *Dendrolimus* (Lepidoptera), which attack Spruce- and Fir-trees in Japan with their Parasites and Predaceous Insects. Ежегодник зоологического музея АН СССР, т. XXVI, вып. 1—2, 1925.
5. И. В. Васильев, Шелкопряд сосновый (*Dendrolimus pini* L.) и кедровый (*Dendrolimus segregatus* Butl.), их образ жизни, вредная деятельность и способы борьбы с ними. Тр. Бюро по энтомологии, т. V, № 7, 1913.
6. В. О. Болдаруев, Развитие *Telenomus gracilis* Mayr. (Hymenoptera, Scelionidae) и *Ooencyrtus pinicola* (Mats.) (Hymenoptera, Encyrtidae) яйцеедов сибирского шелкопряда. Энтомологическое обозрение, т. XXXVI, № 1, 1956.
7. С. С. Прозоров, Сибирский шелкопряд в пихтовых лесах Сибири. Тр. Сиб. лесотехнич. ин-та, т. VII, вып. III, 1952.
8. А. В. Коваленок, И. Т. Филатова, Некоторые данные по биологии и развитию теленомуса. Доклады VII науч. конф., посвящ. 40-летию Великой Октябрьской социалистической революции. Изд. Томск. гос. ун-та, вып. 3, 1957.
9. Н. Г. Коломнец, Новые данные о паразитах сибирского шелкопряда. Лесное хозяйство, № 7, 1957.
10. Н. Г. Коломнец, Состояние и задачи биологической борьбы с сибирским шелкопрядом. Изв. вост. филиалов АН СССР, № 9, 1957.
11. О. М. Иванова-Казас, Приспособления к паразитизму в эмбриональном развитии наездника *Prestwichia aquatica* (Hymenoptera). Зоол. журнал, т. 29, вып. 6, 1950.
12. И. А. Рубцов, Яйцееды вредной черепашки в Таджикистане. Сталинабад, 1944.
13. О. М. Иванова-Казас, Эмбриональное развитие наездника (*Mestocharis militaris* R.-Kors, (Hymenoptera, Chalcidae). Энтомологическое обозрение, т. XXXII, 1952.

Т. П. НЕКРАСОВА, Н. Г. САКОВИЧ

ПЛОДОНОШЕНИЕ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ

СООБЩЕНИЕ 1. БИОЛОГИЯ ЦВЕТЕНИЯ И ПЛОДОНОШЕНИЯ

В Западной Сибири пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.) широко распространена на большей части таежной зоны и в горных районах Алтая, Кузнецкого Алатау и Салаира. Общая площадь лесов с преобладанием пихты сибирской составляет здесь около 10,1 млн. га, а площадь всего ее ареала — около 27 млн. га [1].

Темнохвойная тайга, значительную часть которой занимает пихта, эксплуатируется интенсивно, однако возобновляются вырубки очень медленно [2]. В Маслянинском лесхозе Новосибирской области пихтовые лесосеки последних 10 лет и некоторые более старые возобновляются лишь на 10% площади. Встал вопрос об их искусственном облесении хвойными породами.

Наличие полноценных семян является первым важнейшим условием успешного лесовозобновления. Отсюда ясна необходимость глубокого изучения плодоношения пихты. Однако имеющиеся в литературе материалы по этому вопросу крайне скудны и касаются, главным образом, только размеров урожаев.

Учитывая это, лаборатория леса ЗСФАН СССР провела в 1956—1957 гг. соответственные исследования и получила возможность на основе полученных материалов охарактеризовать закономерности плодоношения у пихты. В 1956 г. работы проводились в Маслянинском лесхозе, на северо-западном предгорье Салаира — на северной границе горного ареала пихты, а в 1957 г. в окрестностях Томска — вблизи южной границы ее равнинного ареала в Западной Сибири.

Типы побегов и особенности их размещения в кроне

В течение своей жизни пихта проходит последовательные фазы развития: вегетативную (ростовую), пока дерево еще не начинает плодоносить, женскую, знаменующуюся появлением шишек на верхних ветвях, и смешанную (женскую и мужскую), когда на дереве присутствуют и шишки и мужские соцветия. В первый год цветения некоторые деревья минуют женскую фазу, на их ветвях появляются одновременно и шишки и пыльниковые соцветия, но деревьев с одними мужскими соцветиями в этот период развития мы не встречали.

В районе нашего исследования пихта вступает в плодоношение с 26—30 лет. На это указывали и другие исследователи [3]. Единично, в условиях лучшего светового режима, встречались плодоносящие 15—18-летние пихты.

Женская генеративная фаза у различных деревьев имеет продолжительность от 2 до 10 лет. Фаза смешанного цветения практически длится до конца жизни дерева.

Остался невыясненным вопрос, имеется ли фаза исключительно

мужского цветения и заключительная вегетативная фаза, которые можно было бы предполагать у очень старых деревьев.

Половые формы, подобные описанным для сосны [4], у пихты не встречаются. Все деревья, находившиеся в апогее плодоношения, всегда имели как шишки, так и пыльниковые соцветия, только в различных количественных соотношениях.

В период плодоношения на ветвях пихты формируются уже не только ростовые, но и комбинированные побеги. Разнообразие побегов может быть сведено к трем типам:

1) ростовые, имеющие только ростовую почку на конце и укороченные побеги (хвои);

2) ростовые + женские, с ростовой почкой на конце, хвоей и несколькими женскими генеративными почками;

3) ростовые + мужские, с ростовой почкой, хвоей и многочисленными мужскими генеративными почками.

В дальнейшем для упрощения мы будем называть их просто ростовыми (р), женскими (♀) и мужскими (♂) побегами.

В размещении побегов разного типа по кроне дерева наблюдается строгая закономерность. С ростом дерева на нем увеличивается число порядков ветвления, которые сочетаются между собой в известной последовательности.

Распределение побегов в кроне оказывается связанным с возрастом ветвей и порядком ветвления.

В вертикальном направлении крона пихты сверху вниз довольно четко делится на ярусы: женский, смешанный, мужской и ростовой. В женском ярусе располагаются только шишки, в смешанном — в известном порядке шишки и пыльниковые соцветия, в мужском — только пыльниковые соцветия, а в нижнем, ростовом, ярусе — одни вегетативные побеги.

Иногда между женским и смешанным ярусами имеется несколько мутовок ветвей чисто ростовых, т. е. появляется еще разделяющий их ростовой ярус, который может занимать от 2 до 8 мутовок скелетных ветвей.

Границу между ярусами можно проследить на примере анализа кроны 87-летней модельной пихты. Здесь женский генеративный ярус занимал 1—6-ю мутовки скелетных ветвей, смешанный — 7—10-ю, мужской — 11—39-ю и последний, ростовой, ярус включал всего лишь одну 40-ю мутовку ветвей. Ниже шли сухие сучья.

Таблица 1

Процентное соотношение побегов разного пола на ветвях (по данным 6 моделей)

Возраст скелетных ветвей (лет)	Процент побегов		
	женских	мужских	ростовых
5	74	0	26
6	47	0	53
7	36	17	47
9	12	45	43
12	0,5	70,5	29
18	0	24	76
25	0	0	100

У более молодых деревьев эти границы иные. Так, женский ярус у 25—30-летних деревьев занимает 1—3-ю мутовки скелетных ветвей, а у деревьев старше 40 лет — уже 1—6-ю мутовки. Мужской ярус у молодых деревьев охватывает 6—10-ю мутовки, у 40-летних спускается до 20-й, а у 87-летней пихты — до 39-й мутовки.

В общем с повышением возраста дерева протяженность каждого яруса увеличивается и границы его сдвигаются книзу.

В массе шишки у пихты встречаются только на ветвях первых шести мутовок, и лишь единичные попадают на ветвях более старших, но не старше 12 лет (табл. 1).

Такая же закономерность в размещении генеративных органов наблюдается и в горизон-

тальном направлении на каждой скелетной ветви. Как удачно сказано у Е. И. Гусевой [5], работавшей с цитрусовыми, «существует морфологический параллелизм между развитием и строением кроны в целом и ее основных сук и второстепенных крупных скелетных ветвей с их разветвлениями».

У вершины скелетной ветви, на ветвях главным образом первого и второго порядков, образуются шишки. Мужские соцветия в большинстве возникают на ветвях второго и третьего порядков, имеющих и больший собственный возраст. В общем, шишки занимают побеги ближе к вершине основной ветви, а пыльниковые соцветия — ближе к ее основанию.

Чем старше главный сук, тем все ближе и ближе к вершине его подвигаются мужские побеги, охватывая постепенно ветви все более низших порядков, пока, наконец, они не займут всех ветвей вплоть до конечного побега самой скелетной ветви. Теперь уже нет места для шишек, смена в обратном порядке не идет.

При анализе ветвей можно восстановить их историю за ряд лет, пользуясь следами, по которым легко определить, какого пола был данный побег в прошлом. Выясняется, что у пихты существуют следующие 8 типов смен побегов:

$$\begin{array}{l} \text{р — р} \quad \text{♀ — ♀} \quad \text{♂ — ♂} \\ \text{р — ♀} \quad \text{♀ — р} \quad \text{♂ — р} \\ \text{р — ♂} \quad \text{♀ — ♂} \end{array}$$

Для каждого генеративного яруса характерно преобладание определенных типов смен побегов. В женском ярусе преобладают смены ростовых побегов на женские и женских на женские, и лишь на последних ветвях этого яруса женская сексуализация начинает ослабевать и большой процент смен выражает переход от женских побегов к ростовым.

В мужском генеративном ярусе преобладают смены ростовых побегов мужскими и мужское цветение в течение нескольких лет подряд. На нижних ветвях, как и в женском ярусе, наблюдается угасание мужской сексуализации, преобладают смены мужских побегов на ростовые.

В смешанном ярусе ко всем перечисленным типам смен побегов добавляются случаи, когда на женском основании в следующем году возникает мужской побег, но чаще этот переход совершается через промежуточный ростовой побег. Обратная смена мужского побега женским не наблюдалась.

В пределах выявленных закономерностей количественная сторона смен пола побегов связана с погодой. При благоприятной погоде преобладают смены ростовых побегов на мужские и женские, при неблагоприятной — наоборот, мужских и женских побегов на ростовые. О том, какая именно погода благоприятствует генеративным процессам, сказано ниже.

Характер размещения мужских и женских побегов в кроне и определенная последовательность в сменах пола побегов дают некоторые материалы для выводов о причинах их различной сексуализации. Мы видели, что побеги с женскими шишками возникают на верхних, самых молодых скелетных ветвях, а побеги с мужскими соцветиями сдвигаются ниже, на ветви более старые. В пределах одной и той же скелетной ветви женские побеги занимают ветви главным образом первого и второго порядков, а мужские — второго, третьего и даже четвертого порядков. Все это говорит о том, что женская сексуализация связана с по-

вышенной жизнеспособностью и, в широком смысле слова, с лучшими условиями питания, которые полнее осуществляются на ветвях, расположенных ближе к наиболее молодым, растущим вершинам дерева в целом или отдельной скелетной ветви.

Связь женской сексуализации побегов с общей повышенной их жизнедеятельностью иллюстрируется данными о длине побегов разного типа из одной и той же части кроны, но из разных частей кроны, у шести модельных деревьев пихты в возрасте от 32 до 50 лет (табл. 2).

Таблица 2

Длина побегов разного типа, см

Части кроны	Типы побегов		
	женский	мужской	ростовой
Верхняя	6,0	нет	4,4
Средняя	4,4	3,3	4,3
Нижняя	нет	3,5	3,8

Наиболее сильными оказываются побеги с женскими генеративными органами, наименее сильными — побеги с мужскими соцветиями. Среди побегов одного типа более энергично растут побеги из верхних частей кроны. Аналогичные

данные для сосны были получены ранее Н. С. Котеловой [6] и для дуба Л. Я. Полозовой [7].

Измерение длины побегов у старой 87-летней пихты показало также и значение порядков ветвления. Длина побегов уменьшается от низших порядков к высшим, и параллельно падает сила женской сексуализации. Женские побеги первого порядка имели длину 7,1 см, а второго — только 3,1 см. В средней части кроны длина мужских побегов первого порядка была 5,0 см, второго — 3,2 см, третьего — 2,3 см. Ростовые побеги обнаружили ту же зависимость от порядков ветвления, их длина была соответственно 5,1, 2,8 и 2,2 см.

Биологическое значение порядков ветвления выявлено в работе Е. И. Гусевой [5], которая на материале по цитрусовым показала, что с порядками ветвления связаны сила роста, долговечность и урожайность побегов. Мы видим, что это справедливо и для пихты сибирской. Но кроме порядка ветвления, тип побега зависит еще и от возраста той ветви, на которой он возникает. Это обстоятельство, бросающееся в глаза при работе с долголетними хвойными, не подчеркнуто Е. И. Гусевой, возможно потому, что эта закономерность не может отчетливо проявиться у цитрусовых, вступающих в плодоношение уже на четвертом году жизни.

Таким образом, сексуализация побегов у пихты сибирской связана с их положением в кроне, т. е. с возрастом скелетной ветви и собственным возрастом и порядком той ветви, на которой возникает данный генеративный побег. Женскую сексуализацию имеют наиболее молодые ветви низших порядков.

К аналогичному выводу пришли французские исследователи, изучавшие один из видов кипарисовика [8].

Морфология и развитие репродуктивных почек

Рост побегов у пихты начинается в третьей декаде мая. Так, в 1957 г. 19 мая побеги были еще скрыты в шарообразных, плотно закрытых чешуйками и смолой почках, размер которых составлял всего 0,3 см. 28 мая почки набухли, уменьшилась их засмоленность, а с 5 июня началось освобождение их от наружных чешуек. К этому времени почки увеличились до 1,0 см. Окончательное освобождение от чешуек произошло 9 июня. Побеги приобрели вид сжатых

светло-зеленых кисточек длиной до 2,5 см. В течение июня побег с хвоей на его конце удлинился до 6 см. В июле темп роста уменьшился, но все же побеги выросли еще — в среднем до 8 см. В августе рост прекратился.

Весна в 1957 г. была холодной. В годы с более теплой весной (например, в 1956 г.) фенологические явления проходили на 10—15 дней раньше, но за лето эта разница постепенно сглаживалась.

Зачатки репродуктивных органов закладываются у пихты на побегах текущего года после того, как заканчивается их интенсивный рост. Мужские пыльниковые соцветия закладываются несколько раньше женских.

В 1956 г. появление пыльниковых соцветий было отмечено 20 июня, а в 1957 г. — 7 июля. На этой ранней стадии они имеют вид мелких (менее 1 мм) светло-зеленых бугорков, рассеянных в значительном количестве на нижней стороне годичного побега, главным образом от основания до середины побега и лишь в небольшом количестве — близ его вершинки. Эти бугорки образованы зачаточными чешуйками, прикрывающими меристематическую ткань. Уже через месяц меристематический бугорок оказывается расчлененным, возникают зачатки будущих микроспорофиллов. В конце вегетационного сезона зачаточные мужские шишки имеют до 2 мм в высоту, чешуйки становятся более плотными, почка покрывается смолой и в таком виде зимует. Под покровом смолы и чешуек находится уже вполне дифференцированный зачаток мужской шишки с пятью рядами спирально расположенных микроспорофиллов желтого цвета. В начале мая продолжается их рост и развитие, возникают еще два верхних ряда микроспорофиллов. 20 мая при их раздавливании выделялась пыльца. В последних числах мая — начале июня наступает цветение.

Женские репродуктивные почки появляются на побегах через 7—10 дней после мужских (в 1956 г. — 28 июня, в 1957 г. — между 15—20 июля). Возникают они на наиболее сильных годичных побегах первого или второго порядков в верхней части кроны. На побегах бывает обычно от одной до трех-четырех почек, но иногда и больше. На ранних стадиях развития в июле женские почки имеют вид расплывчатого бугорка или легкого вздутия. Почка вначале погружена в ткань побега. В это время она, как и мужская, состоит из недифференцированного конуса нарастания и чешуек (рис. 1). Дифференциация идет очень быстро в течение июля и августа. Конус вытягивается, на основании его закладываются первые ряды эмбриональных кроющих чешуек, число которых затем постепенно увеличивается, так что к осени их оказывается не менее пяти. Через некоторое время у основания кроющих чешуек закладывается валик — зачатки будущих семенных чешуек. Происходит и заметный рост женских почек. 20 сентября 1957 г. они достигали 0,6 см и ясно выделялись на побегах. Таким образом, к зиме в женской почке оказываются заложенными все основные элементы будущей шишки. Однако окончание формирования происходит в мае следующего года. В мае женская почка сильно удлиняется, приобретает вид маленькой цилиндрической шишки. За неделю до цветения она имеет длину всего лишь 1,5 см и выглядит мохнатой от массы шиповидных отростков, кроющих чешуй, которые в этот момент в несколько раз больше семенных, а последние только намечены в виде валиков у их основания.

К моменту цветения кроющие чешуйки отгибаются перпендикулярно к стержню шишки, обеспечивая этим доступ пыльцы к семязачаткам. Пыльцевходы последних загнуты к наружной стороне чешуек и широко раскрыты.

Шишка в момент цветения имеет длину около 3 см, она зеленого цвета, на ощупь мягкая, рыхлая.

После опыления кроющие чешуйки смыкаются, рост их приостанавливается и постепенно семенные чешуйки их перерастают. Уже 30 июня семенные чешуйки оказываются вдвое длиннее кроющих. К концу лета разница в их размерах еще больше увеличивается, так что кроющие чешуйки совершенно закрываются черепитчато налегающими друг на друга семенными.

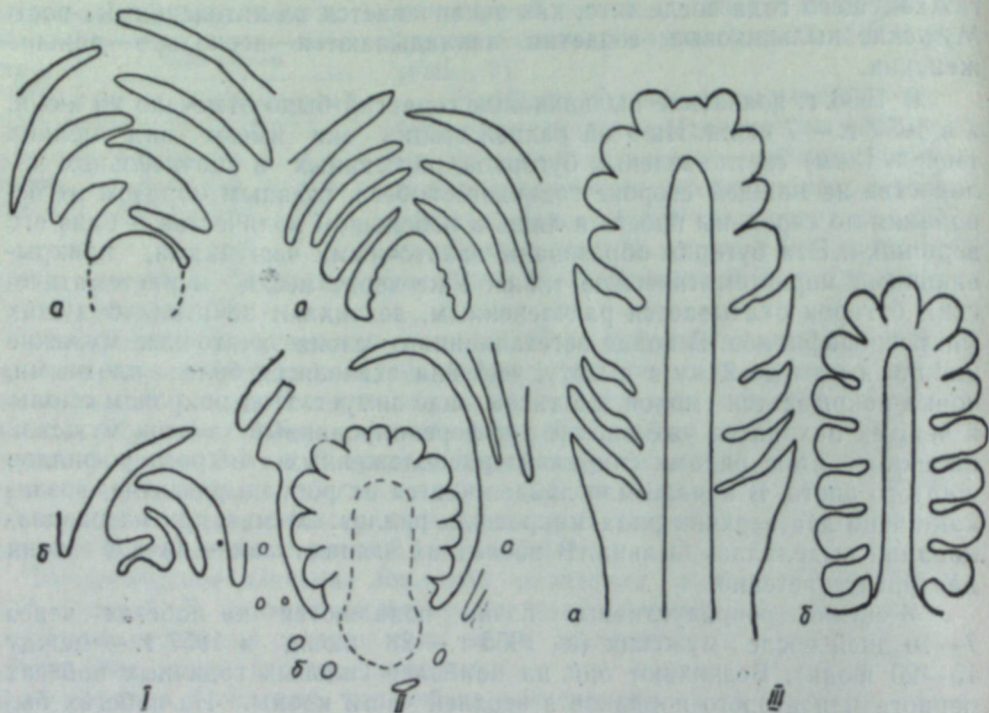


Рис. 1. Этапы развития репродуктивных органов у пихты сибирской (а — женских, б — мужских):

I — 28 июня. Начальная стадия формирования, заложен меристематический бугорок и чешуйки;
II — 16 августа. Начало дифференциации, закладка семенных чешуек и микроспорофиллов;
III — 12 сентября. Заложены все основные элементы будущих шишек.

Летучка семени окрашивается и начинает свободно отделяться от ткани чешуйки в середине июля. К концу июля из семян легко выделяется зародыш.

Рост шишек продолжается до конца июля. Заметное выделение смолы начинается уже в конце июня. Семена созревают в сентябре, в конце сентября шишки рассыпаются.

Сроки прохождения отдельных этапов в период эмбрионального развития генеративных органов показывают, что решающие процессы протекают главным образом в мае — июне. Отметим это как важный факт для дальнейших выводов по вопросу о влиянии погоды на урожай.

Биология цветения

Цветение пихты сибирской совпадает с цветением сосны или начинается лишь на несколько дней раньше. На Алтае пихта цветет в середине мая [9].

В наших условиях в 1956 г. цветение началось 30 мая, в 1957 г. — 5 июня. В обоих случаях оно продолжалось по 4 дня.

Более детальные наблюдения над цветением были проведены в 1957 г. в окрестностях Томска. Здесь пихта встречается в составе кедровых и сырых смешанных елово-пихтово-осиновых лесов.

Май в 1957 г. был холодным. 18 и 19 мая выпадал снег, 23 мая — снежная крупа. Средняя суточная температура выше 5° установилась лишь с 25 мая, но и позднее было еще три заморозка: 28 мая, с температурой $-5,0^{\circ}$, 1 июня $-3,5^{\circ}$ и 2 июня $-1,5^{\circ}$. Правда, в кронах деревьев температура всегда была выше: в первые два заморозка — соответственно $-2,0^{\circ}$ и $0,5^{\circ}$, а последнего заморозка на уровне вершин деревьев не было. В лесу мерзлота в почве окончательно исчезла лишь около середины июня.

Таким образом подготовка к цветению у пихты проходила в неблагоприятных температурных условиях. Теплых дней со средней температурой выше 15° перед цветением было всего 5, но и они прерывались двумя холодными днями. В почве в это время еще была мерзлота.

5 июня начали пылить отдельные соцветия на некоторых деревьях, 6 июня утром пылили уже многие деревья, а днем началось массовое цветение. 7 июня цветение стало ослабевать, а 8 оно закончилось, многие мужские шишки в соцветиях засохли.

В общем, цветение в 1957 г. было слабым. Однако причиной этого была не холодная весна, а неудовлетворительная по количеству закладка генеративных почек в предшествующее лето 1956 г. К выяснению причин этого явления мы вернемся несколько позже.

В период цветения, 6 и 7 июня, была сделана попытка выяснить, сколько пыльцы пихты находится в воздухе и как далеко она распространяется.

Мы выбрали пылящую пихту на полянке и вокруг нее на разных расстояниях развесили пыльцеуловители — рамки из плотного картона с вложенными в них 10 предметными стеклами. Стекля смазали вазелином. Рамки развесили на разной высоте на растущих вокруг пихты единичных осинках, стекла повернули в сторону пихты.

При просматривании стекол учет пыльцы велся нами в 5 полях зрения на каждом стекле, а всего в 50 полях зрения по каждому пыльцеуловителю.

6 июня, в момент массового цветения, был теплый солнечный день со слабым, меняющим направление ветром. За час работы пыльцеуловителей на них оказалось (в пересчете на 1 см^2 поверхности) от 6,3 до 27,4 зерен. Максимальное количество пыльцы было на уровне вершины пихты (около 10—11 м высоты) на расстоянии всего 5 м от пылящего дерева. На том же расстоянии, но на высоте 2 м было всего 10,5 зерен. На расстоянии 10 м от дерева на высоте 6 м количество пыльцевых зерен снижалось до 6,3.

На следующий день, когда интенсивность цветения уже спала, количество пыльцы на этих же высотах и расстояниях от дерева понизилось до 0,5—1,0 зерна на 1 см^2 . На расстоянии 30 м от дерева на уровне его вершины оказалось всего лишь 0,4 зерна.

Приведенные данные показывают, что пыльца пихты сибирской далеко не разлетается, и, следовательно, успешное перекрестное опыление возможно только в сомкнутых насаждениях с расстояниями между деревьями не более 5 м.

Из характеристики цветения и данных по учету пыльцы видно, что в 1957 г. условия для опыления пихты были неудовлетворительны.

Сама же по себе пыльца была вполне развитой и жизнеспособной. В этом нас убеждают результаты проращивания. Проращивалась только свежая пыльца. Были испробованы два способа: растворы сахара с добавлением 1 или 2% агара и способ висячей капли. В том и другом случае стекла с пыльцой помещались в эксикатор или чашки Петри, которые ставились в теплое место. Однако отсутствие термостата не позволило создать оптимальные условия температуры. Проращивание проводилось при комнатной температуре, меняющейся в течение суток.

Подсчет проросших зерен производился через каждые сутки в 10 произвольно взятых полях зрения, при увеличении в 56 раз. За проросшие принимались те зерна, пыльцевая трубка которых по длине была больше высоты тела зерна (рис. 2).

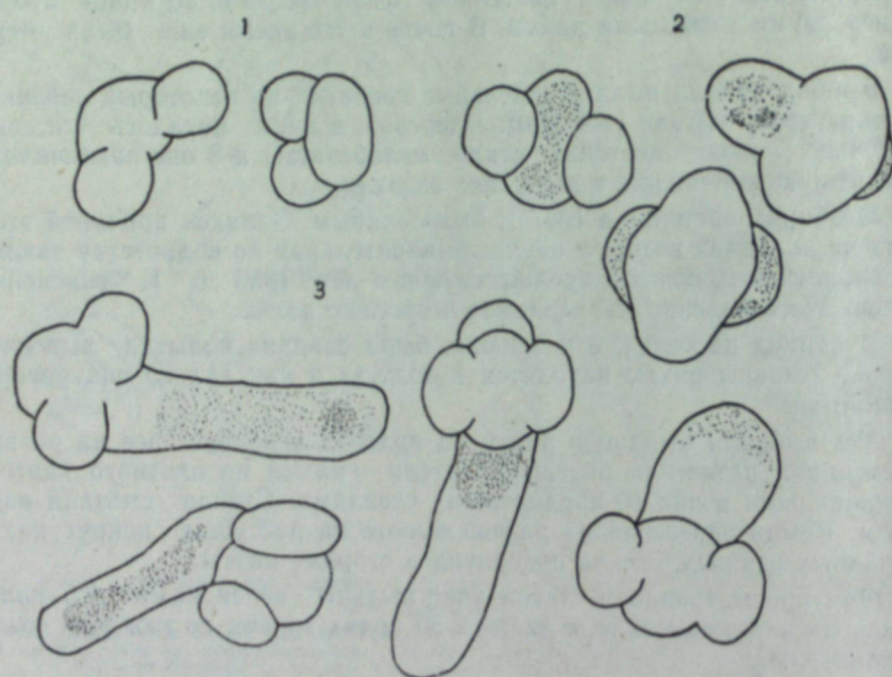


Рис. 2. Проращивание пыльцы пихты сибирской в 30-процентном растворе сахара с добавлением 2% агара:
1 — в начале проращивания, 2 — в стадии набухания, 3 — в конце проращивания.

Через сутки после начала проращивания слегка набухшие живые зерна имели длину тела 114 м, высоту 57 м, а длина пыльцевой трубки у проросших зерен была 180—220 м.

Продолжительность проращивания пыльцы в опытах оказалась различной — от двух до четырех суток. По-видимому, это объясняется неравномерной температурой. В отдельных случаях пыльца только набухла, но пыльцевые трубки так и не вырастали. Из всех вариантов опытов наиболее четкие и достоверные результаты были получены при проращивании пыльцы с добавлением в раствор сахара 2% агара. При этом в зависимости от концентрации сахара были получены следующие результаты:

Процент концентрации сахара	1	10	20	30
Процент всхожести пыльцы	6,0	62,0	66,0	94,0

Как видим, в данном случае оптимальной оказалась концентрация сахара в 30%. Однако в другом нашем опыте, проведенном по методу висячей капли, в некоторых камерах имелось до 90% пыльцевых зерен, вполне проросших уже на вторые сутки на чистой дистиллированной воде.

Столь противоположные результаты не позволяют сделать определенных выводов об оптимальной среде для проращивания пыльцы пихты. Но они дают право говорить о высокой степени жизнеспособности пыльцы. Если бы это было не так, нам не удалось бы получить 90—94% всхожести даже в отдельных вариантах опыта.

Проращивание пыльцы пихты в 1956 г. дало в общем те же результаты.

Наблюдения в течение двух лет показали, как много значит для урожая количество пыльцы. В 1956 г. в Маслянинском лесхозе на участках смешанного леса и на одиночно стоящих пихтах мужские шишки в пыльниковых соцветиях на очень ранней стадии развития были повреждены тлями. Это вызывало их засмоление и последующее засыхание. В некоторых случаях большинство мужских шишек на побегах осталось нераскрывшимся. Специальные подсчеты на модельном дереве показали следующее:

раскрылось 100% мужских шишек	— у 3% соцветий
» 50% » »	— у 9% »
» единичные » »	— у 59% »
не раскрылись совершенно »	— у 29% »

Таким образом, продуктивными оказалось всего лишь около 10% соцветий.

Недостаток пыльцы вызвал недоопыление молодых шишек, которые затем засохли и постепенно опадали.

В чистых пихтовых насаждениях, где поражение тлями не наблюдалось, опыление прошло нормально и урожай был повышенным.

В 1957 г. недостаток пыльцы пихты в окрестностях Томска был обусловлен слабой закладкой мужских генеративных почек в предыдущее лето 1956 г., когда пихта обильно плодоносила. В такие годы закладка новых генеративных почек у всех древесных пород всегда снижается.

Результаты недоопыления были учтены в 1957 г. Было выбрано 9 деревьев с шишками и проведено наблюдение над ними. Несмотря на тщательный еженедельный осмотр специальных расчищенных площадок под модельными пихтами, в течение всего лета на них не было обнаружено опада завязи. Между тем в бинокль можно было видеть, что шишки не растут. 3 августа со всех этих деревьев шишки были сняты и взрезаны. Оказалось, что среди них не было ни одной, поврежденной птицами или насекомыми. Однако большая часть из них остановилась в развитии и засохла. Из 9 деревьев у одного засохло 15% шишек, у двух — по 33%, у одного — 66% и у пяти деревьев — все 100% шишек. В среднем, из всего урожая с этих 9 деревьев погибло 65% шишек. Таков результат недоопыления.

Недостаток пыльцы у пихты в 1957 г. не был единственной причиной неурожая шишек, так как не только мужских, но и женских генеративных почек летом 1956 г. было заложено очень мало. Тем не менее, потенциально возможный урожай шишек был снижен более чем вдвое вследствие недоопыления.

Таким образом, представление об обилии пыльцы нередко бывает преувеличено. Оно справедливо, главным образом, для семенных лет. С количественной стороны мужское цветение у пихты подвержено таким же колебаниям, как и женское. Между ними существует известная корреляция.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20/II 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Крылов, Природа лесов Западной Сибири и направление использования и улучшения лесных богатств. Тр. по лесному хозяйству Зап. Сибири, вып. 3, изд. ЗСФАН СССР и НТОЛеспром, Новосибирск, 1957.
2. Т. П. Осипова, Растительность и возобновление в пихтовых лесах Зап. Сибири. Тр. по лесному хозяйству, вып. 2, изд. ЗСФАН СССР и ВНИТОЛес, Новосибирск, 1955.
3. О. Г. Каппер, Хвойные породы. Гослесбумиздат, М.—Л., 1954.
4. Л. Ф. Правдин, Половой диморфизм у сосны обыкновенной. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. III, 1950. *
5. Е. И. Гусева, Биологические основы обрезки цитрусовых культур для получения высоких и устойчивых урожаев, Краснодар, 1951.
6. Н. В. Котелова, Влияние самоопыления и перекрестного опыления на качество семян и сеянцев сосны обыкновенной. Научно-технич. информация, № 20, Московский лесотехнический ин-т, М., 1956.
7. Л. Я. Полозова, Взаимоотношения процессов плодоношения и роста в годичном цикле развития побега дуба черешчатого. Автореферат дисс., Ин-т леса АН СССР, М., 1956.
8. Курто, Байо, К распределению полов у одного вида *Chamaecyparis*. Реферативный журн., № 13, серия биол., 1957.
9. Коптев, О лесоботанических признаках хвойных пород, произрастающих в Алтайском горном округе. Газета лесоводства и охоты, № 49, 1956.

Л. В. ПОПОВ

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ

Лесная подстилка многими учеными [1, 2] признавалась средой, неблагоприятной для прорастания семян древесных растений. Е. Ф. Зябловский писал: «Впрочем, семена всякого почти дерева того только требуют, чтобы они не по траве и листу разбросаны были, но чтобы им голой земли коснуться можно было» [3, стр. 16]. Гильдеман [4] считал, что неблагоприятным для лесовозобновления «ложем» является не только опад трав и древесных пород, но и «несовершенный чернозем».

Одновременно с этим другие ученые [5, 6 и др.] указывали, что лесная подстилка является удобрением лесных почв, но использование лесной подстилки в качестве удобрения при лесоразведении не было актуальным ни в конце XVIII, ни в XIX столетии, так как лесокультурные работы были в то время незначительны. Поэтому в русской лесоводственной литературе в течение почти всего прошлого столетия вопрос о свойствах лесной подстилки как удобрения не поднимался.

Западноевропейские лесоводы в XIX в. также не использовали лесную подстилку в качестве удобрения лесных почв. М. Е. Ткаченко [7] указывает, что в 1856 г. Котта отстаивал мнение о возможности улучшения роста леса путем перемешивания подстилки с минеральной частью почвы. Однако высказывания Котта нашли экспериментальное подтверждение лишь через полстолетия в работах А. Мёллера.

Многими отечественными и иностранными учеными установлена аккумуляция в лесной подстилке больших запасов питательных веществ. В связи с этим лесное хозяйство стало перед дилеммой: во многих случаях лесная подстилка препятствует лесовозобновлению, поэтому ее нужно удалять, но она же является удобрением лесных почв, и, следовательно, ее целесообразно использовать в этом направлении. Появилось стремление изменить взаимное расположение верхнего минерального горизонта почв и подстилки так, чтобы семена попадали в среду, благоприятную для прорастания, а подстилка использовалась бы как удобрение. Это особенно важно на песчаных почвах с малым содержанием гумуса.

Удобрение песчаных почв лесной подстилкой обстоятельно изучал в начале XX в. немецкий лесовод А. Мёллер [8—11], сначала под руководством Раманна, а затем частично самостоятельно, частью с Хаузендорфом.

В своих опытах Мёллер высаживал сеянцы сосны в ящики с песком и туда же помещал лесную подстилку в различных вариантах. Рост сеянцев при этом улучшался. Наилучший рост их был в ящиках, где подстилка перемешивалась с песком.

Воззрения Мёллера разделяли Гессельман [12—14] в Швеции и Лайтакари [15] в Финляндии. Но эти ученые, как и Мёллер, улучшение питательного режима почвы объясняли только перемешиванием подстилки с песчаными почвами, не учитывая при этом изменения водных свойств почвы.

В противоположность им, Хольмбек и Мальмстрем, исследуя почвы на вырубках из-под лишайниковых боров Северной Швеции, обратили внимание и на водный режим и нашли, что при искусственном обводнении подобное перемешивание улучшает лесовозобновление.

Эксперименты, поставленные в естественных условиях как Мёллером, так и германскими опытными станциями, показали, что перемешивание подстилки с песчаными почвами далеко не всегда является наилучшим способом подготовки таких почв под лесные культуры и не всегда содействует естественному лесовозобновлению. Причину различия в успешности поставленных им лабораторных и полевых опытов Мёллеру найти не удалось. Он не заметил в своих производственных опытах одной важной, на наш взгляд, закономерности, которая заключалась в том, что перемешивание подстилки с верхним горизонтом песчаной почвы улучшало рост сеянцев сосны только в условиях избыточного увлажнения. В условиях недостаточного увлажнения результаты были отрицательные.

Большое значение для жизни растений имеют капиллярные свойства почвы. Одним из первых это отметил П. С. Коссович [17], который указывал, что для изучения снабжения растений водой весьма важно выяснить водоподъемную способность почв.

Капиллярное поднятие воды в лесной подстилке исследовал впервые С. П. Кравков [18]. Он нашел, что только в нижней, сильно разложившейся части подстилки возможно капиллярное поднятие воды, средняя и верхняя части ее этими свойствами не обладают. Следует отметить, что С. П. Кравков проводил эксперименты не с подстилкой в целом, а отдельно с ее подгоризонтами при нарушении, к тому же, их естественного сложения.

Г. А. Сычев [19] считал, что отсутствие капиллярного поднятия воды к поверхности почвы, является основной причиной невозобновляемости вырубок из-под лишайниковых сосняков Рожнова бора. Немаловажное значение этой особенности подстилки при обработке лесных почв придавал также Н. Е. Декатов [20].

Вместе с тем при изучении влияния обработки на свойства лесных почв не уделялось должного внимания изменению капиллярного поднятия воды в обработанной почве в связи с различным положением лесной подстилки [21—23].

Ниже мы приводим описание экспериментов, выполненных с подстилкой из ельника-черничника южной части Карелии (Виданское лесничество Петрозаводского лесхоза).

Ельник-черничник — III класса бонитета, ста двадцатилетнего возраста, состав его 9Е IС+Б,О, полнота 0,8. В подлеске единично представлена рябина. В травяно-кустарничковом ярусе (проективное покрытие 0,7) преобладает черника.

Моховой покров имеет проективное покрытие 0,3—0,4 и состоит преимущественно из *Pleurozium Schreberi* (Mitt.) и *Hylocomium proliferum* (Lindb.).

Почва — среднеподзолистая, маломощная, супесчаная на скелетной валунной супеси.

Лесная подстилка мощностью 6 см, рыхлая, дифференцирована на три подгоризонта;

A_0^1 — неразложившийся лесной спад с преобладанием хвоя и отмерших частей мхов. Мощность 1,5 см;

A_0^2 — слабо разложившийся слой, пронизанный грибами грибов. Мощность 2,5 см;

A_0^3 — сильно разложившийся слой темно-бурой окраски из аморфного гумуса с включением корней черники и ели. Мощность 2 см.

Чтобы получить представление о водоподъемной способности взятой нами подстилки, была сделана попытка капиллярного насыщения образцов ее. Образцы помещались с помощью бура Малянова в металлические банки, (диаметр их равен диаметру бура), имеющие отверстия в дне. Банки ставились в сосуд с водой так, чтобы образцы подстилки нижней поверхностью были погружены в воду. Предварительно была определена влажность подстилки на глубинах 0—1 см, 2,5 и 5 см. Чтобы вода не испарялась с поверхности подстилки, банки закрывались бумагой.

Капиллярное поднятие воды устанавливалось определениями влажности на тех же глубинах. Первое определение проводилось через час после начала опыта; второе — через сутки, третье — через 10 дней и четвертое — через месяц.

Таблица 1
Влажность подстилки в % к абсолютно-сухому весу
в среднем из трех измерений

Подгоризонт	Глубина см	Влажность почвы				
		исходная	через 1 час	через 1 сутки	через 10 дней	через месяц
A_0^1	0,1	15,5	15,7	23,2	25,1	30,3
A_0^2	2,5	32,6	28,6	37,0	48,5	114,9
A_0^3	5	48,8	297,4	475,8	531,0	578,1

Из полученных данных табл. 1 видно, что увеличение влажности средней и, особенно, верхней части подстилки происходит медленно. Это говорит о том, что передвижения воды из нижней в верхнюю часть подстилки практически не происходит. Одновременно отметим, что влажность нижней части подстилки, находящейся непосредственно у воды, продолжала постепенно увеличиваться после десятидневного насыщения. Основной причиной этого является изменение влагоемкости подстилки при длительном намачивании.

Н. Ф. Созыкин [24], исследовавший это явление, показал, что чем суше подстилка, тем меньше ее первоначальная влагоемкость и тем дольше она увеличивается при длительном намачивании. Это явление еще больше снижает и без того слабую водоподъемную способность подстилки.

Чтобы установить влияние перемешивания лесной подстилки с верхним супесчаным горизонтом почвы на его капиллярные свойства, был поставлен опыт в стеклянных трубках. Трубки диаметром 4 см и высотой 30 см набивались почвой в следующих вариантах: 1 — супесь (гор. A_1, A_2); 2 — смесь подстилки с супесью в отношении 1 : 3 по объему; 3 — то же в отношении 1 : 2 по объему; 4 — то же в отношении 1 : 3 по объему с некоторым уплотнением; 5 — то же в отношении 1 : 2 по объему с некоторым уплотнением.

Для предотвращения капиллярного подъема воды между стенками трубок и почвой стенки слегка смазывались ружейным маслом.

Механический состав супеси (горизонт A_1, A_2) представлен на табл. 2.

Как установлено опытами Вольни и других исследователей [17, 25, 26], первоначальная влажность почвы существенно влияет на скорость и высоту капиллярного поднятия воды в ней. Чтобы исключить влияние

этого фактора, почва предварительно высушивалась до воздушно-сухого состояния.

Таблица 2

Механический состав супеси				
Количество частиц, %				
Скелет	1—0,25 мм	0,25—0,05 мм	0,05—0,01 мм	< 0,01 мм
14,7	38,6	23,5	9,9	13,3

Трубки ставились нижним концом в воду. Поднятие воды в них отмечалось через определенные промежутки времени по хорошо заметному изменению окраски почвы. Опыт произведен с десятикратной повторностью. По его данным построены кривые высот капиллярного поднятия воды в трубках (рис. 1). Перед началом и после окончания опыта определялась влажность почвы в трубках (табл. 3).

Таблица 3

Влажность почвы в % к объему в среднем из десяти определений

Вариант набивки трубок	Высота от поверхности воды, см	Объемная влажн., %	
		исходная	конечная
1 супесь	28	4,1	26,2
	18	4,1	34,3
	10	4,1	43,6
2 смесь подстилки с супесью в отношении 1 : 3	28	3,0	5,8
	18	3,0	24,3
	10	3,0	35,8
4 смесь подстилки с супесью в отношении 1 : 3 с уплотнением	28	3,7	20,4
	18	3,7	29,7
	10	3,7	40,0

Выбор высот (10, 18 и 28 см) для определения влажности смеси в трубках объясняется следующим. До высоты 10 см конечная влажность смеси изменялась слабо. Высота 28 см — это верхняя часть смеси в трубках, так как после насыщения водой произошла осадка смеси (почти на 1 см) в вариантах без уплотнения. Влажность в средней части трубок определялась на высоте 18 см. На этой высоте получены меньшие расхождения между поверхностями, чем на высотах 13 и 15 см. Очевидно, на высоте около 13—15 см довольно резко менялась влажность смеси, что при некоторой неравномерности набивки трубок приводит к довольно значительным расхождениям во влажности между повторностями. Вместе с тем, невозможно заполнить трубки во всех повторных опытах совершенно одинаково. А это и явилось, видимо, причиной недопустимых расхождений между повторностями во влажности на высоте 13 и 15 см.

В табл. 3 не приведены данные о влажности в трубках с подстилкой и супесью в отношении 1 : 2 (варианты 3 и 5), так как определения влажности в них дали расхождения больше допустимых.

Изображенные на рис. 1 кривые и данные табл. 3 показывают, что перемешивание верхнего супесчаного горизонта с лесной подстилкой приводит к значительному ухудшению капиллярного поднятия воды в

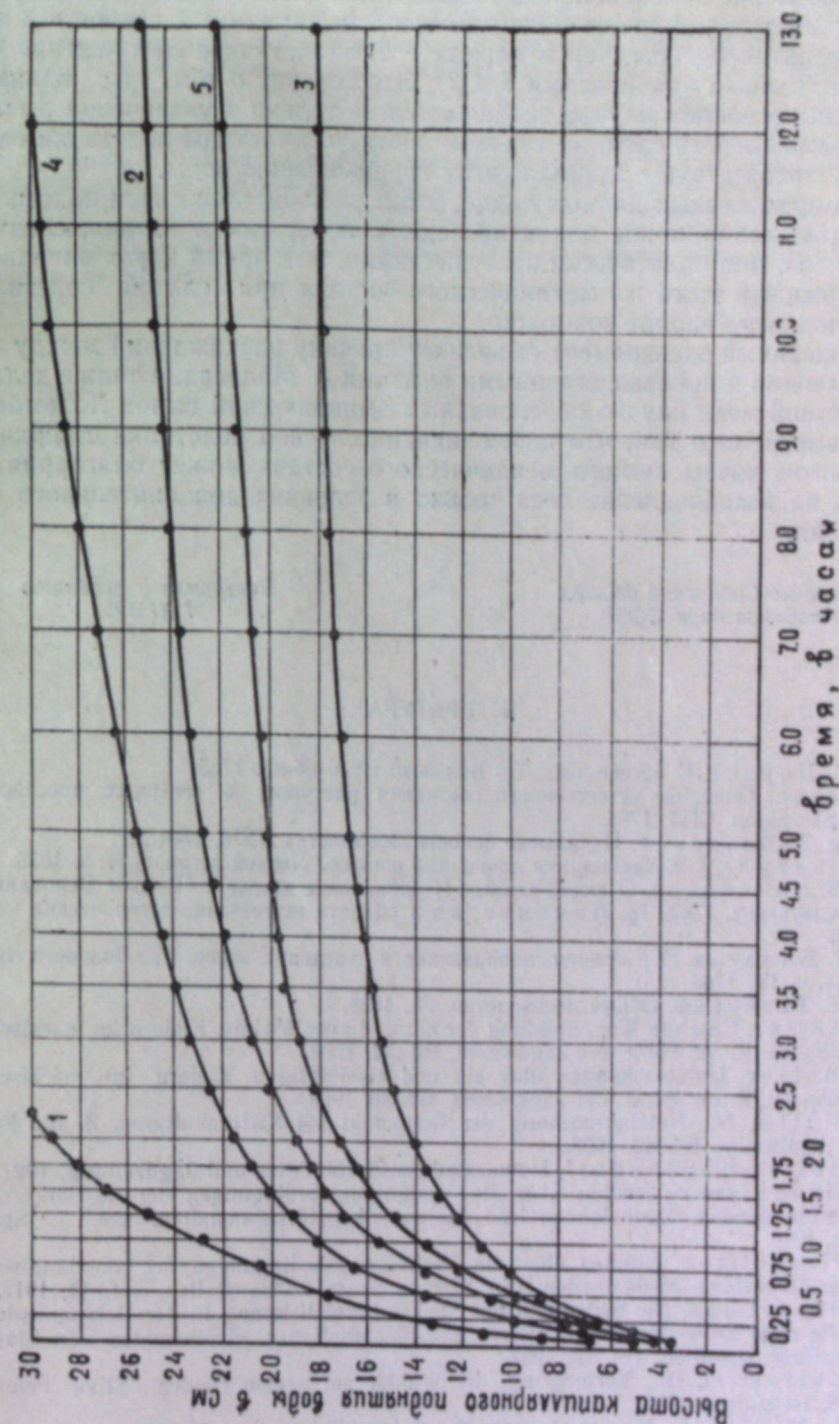


Рис. 1 Кривые высот капиллярного поднятия воды в трубках (по номерам вариантов опыта).

этом слое, причем это ухудшение находится в прямой зависимости от рыхлости перемешанного слоя и от доли участия в нем подстилки.

Уплотнение перемешанного с подстилкой слоя супеси только частично улучшает капиллярное поднятие воды (в варианте 4 скорость и высота поднятия больше, чем в варианте 2, аналогичное соотношение наблюдается между вариантами 5 и 3). Это говорит о том, что влияние подстилки в данном случае заключается не только в увеличении рыхлости перемешанного слоя, но также и в том, что частицы подстилки сами по себе препятствуют капиллярному передвижению воды.

Из приведенных данных видно, что в рыхлом слое смеси подстилки с супесью капиллярное поднятие воды к поверхности из нижеследующих горизонтов практически неосуществимо, в то время как в минеральном горизонте этого же механического состава при снятой подстилке такое поднятие вполне возможно.

Описанный эксперимент объясняет причину расхождений между лабораторными и производственными опытами А. Мёллера, а также делает в известной мере научно обоснованным эмпирический вывод Хольмбека и Мальмстрема о том, что перемешивание лесной подстилки с верхним горизонтом почвы легкого механического состава может благоприятно влиять на возобновление леса только в условиях дополнительного увлажнения.

Восточно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27/XI 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Нартов, О посеве леса. Тр. Вольного экон. об-ва, 1765.
2. Фокель, Описание естественного состояния растущих в северных российских странах лесов. СПб, 1766.
3. Е. Ф. Зябловский, Начальные основы лесоводства, СПб, 1804.
4. Гильдеман, О возделывании почвы для посевов. Лесной журнал, № 9, 1835.
5. М. В. Ломоносов, О слоях земных (Прибавление второе к Первым Основаниям Металлургии), 1763. Тр. Ломоносова в области естественно-исторических наук, 1911.
6. А. Т. Болотов, О рублении, поправлении и заведении лесов. Тр. Вольного экон. об-ва, ч. IV, 1766.
7. М. Е. Ткаченко, Общее лесоводство, Л., 1939.
8. A. Möller, Über die Wurzelbildung der ein und zweijährigen Kiefern im märkischen Sandboden. Z. für Forst und Jagdwesen, Bd. 34, 1902.
9. A. Möller, Untersuchungen über ein und zweijährigen Kiefern im märkischen Sandboden. Z. für Forst und Jagdwesen, Bd. 35, 1903.
10. A. Möller, Die Nutzbarmachung des Rohhumus bei Kiefernkulturen. Z. für Forst und Jagdwesen, Bd. 40, 1908.
11. A. Möller, Hausendorf, Humusstudien. Z. für Forst und Jagdzeitung, 1921.
12. H. Hesselman, Studien über die Verjüngungsbedingungen der norrländischen Kiefernfernheiden. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalten, vol. 7, Stockholm, 1910.
13. H. Hesselman, Studien über die Verjüngungsbedingungen der norrländischen Kiefernfernheiden. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalten, vol. 13, 1917.
14. H. Hesselman, Die Bedeutung der Stickstoffmobilisierung in der Rohhumusdecke für die erste Entwicklung der Kiefern und Fichtenpflanze. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalten, vol. 23, 1927.
15. E. Laitakari, Die Verjüngung der Walder auf armen Heiden. Silva Fennica, № 46, Helsingfors, 1938.
16. B. Holmbäck, C. Malmström, Nogra markförbättrings försök på nordsvenska tallhedar. Meddelanden från Statens Skogsförningsinstitut, № 3656, 1947.
17. П. С. Коссович, Водные свойства почвы. Журнал опытной агрономии, кн. 2, 3, СПб, 1904.
18. С. П. Кравков, Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании. Мат. иссл. русских почв, вып. 21, СПб, 1912.

19. Г. А. Сычев, О возобновлении сосны на боровой почве. Лесопромышленный вестник, № 40—43, 1905.
20. Н. Е. Декатов, Простейшие мероприятия по возобновлению леса при концентрированных рубках, 1936.
21. Н. Н. Степанов, Влияние различных способов обработки на физико-химические свойства лесной подстилки и почвы в хвойных насаждениях, ВНИИЛХ, 1934.
22. Н. М. Глухов, Физические свойства песчаных лесных почв в связи с разными способами их обработки. Изв. Поволжского лесотехнич. ин-та, вып. 3, 1934.
23. И. И. Гентимуров, Д. Д. Осин, Влияние обработки почвы под лесные культуры на ее лесорастительные свойства. Тр. ВНИИЛХ, т. 1, вып. 24, М., 1941.
24. Н. Ф. Созыкин, Гидрологическое значение лесной подстилки и физические свойства лесных почв. Водный режим в лесах. Тр. ВНИИЛХ, вып. 18, 1939.
25. Т. В. Локоть, Влажность почвы в связи с культурными и климатическими условиями. Университетские изв., № 8—11, Киев, 1903.
26. С. П. Кравков, О процессах движения воды и солей в почве. Журнал опытной агрономии, кн. 1, СПб, 1900.

Н. М. САВЕЛЬЕВ, Г. Н. ГОРБАЛЕВА, И. Л. КЛЕВЕНСКАЯ

О РОЛИ КЛУБЕНЬКОВ НА КОРНЯХ ЗЛАКОВ

В конце 30-х годов В. П. Ногтеву [1] на корнях многолетнего злака лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*) удалось обнаружить своеобразные утолщения — клубеньки, морфологически отличные от соответствующих образований у бобовых растений. В этих клубеньках, как утверждал автор, поселяются особые бактерии, способные фиксировать молекулярный азот воздуха.

Поскольку клубеньки у лисохвоста лугового найдены на растениях, вывезенных из различных географических пунктов нашей страны, В. П. Ногтев считает, что данный морфологический признак является видовым.

Чтобы выяснить наличие таких клубеньков у лисохвоста в лесостепи Западной Сибири, мы произвели в 1951 г. анализ корней лисохвоста лугового, а также лисохвоста солончакового (*A. ventricosus*) на питомнике дикорастущих трав под Новосибирском. У обоих видов на концах корневых ответвлений были обнаружены характерные образования — клубеньки, причем существенных различий между ними ни по форме, ни по величине не было.



Рис. 1. Корень волоснеца сибирского с клубеньками.

В окрестностях участка, где был расположен питомник трав, дикорастущий лисохвост не встречался. Поэтому мы предположили, что найденные бактерии переселились на лисохвост с какого-то другого вида злаков. Это предположение оправдалось в процессе дальнейших поисков. В том же 1951 г. клубеньки были обнаружены нами у волоснеца сибирского (*Clinelymus sibiricus*) (рис. 1).

Но и волоснец сибирский в дикорастущем виде на лугах, прилегающих к питомнику трав, не встречался. Поэтому в 1952 г. были предприняты дальнейшие поиски. Нам удалось выявить клубеньки на корнях мятлика лугового (*Poa pratensis*), который в большом количестве встречался на расположенных вокруг питомника лугах.

Таким образом, корневые клубеньки дополнительно открыты нами на трех видах злаков: лисохвосте солончаковом, волоснеце сибирском и мятлике луговом. Это позволяет утверждать, что наличие клубеньков не является видовым признаком, как считал В. П. Ногтев.

При сравнительном морфологическом изучении клубеньков выявилось, что у отмеченных злаков они имели различную форму и величину.

Наиболее крупными клубеньками обладали лисохвосты луговой и солончаковой (до 7—8 мм длины и 1,2—1,4 мм поперечного сечения). У волоснеца сибирского они были несколько мельче (4—5 мм длины и 0,5—0,6 мм в диаметре). И еще мельче у мятлика лугового: 2—3 мм длины и 0,5—0,6 мм в диаметре.

В молодом возрасте клубеньки светлые, полупрозрачные, с тонкими эластичными оболочками, которые при надавливании разрываются и выделяют студенистую массу. В более позднем возрасте клубеньки приобретают буровато-темную, иногда почти черную окраску, что связано с отмиранием и слущиванием эпидермиса и образованием пробковеющей экзодермы. Под микроскопом в коровой паренхиме клубеньков (по крайней мере, осенью) отмечается большое количество крахмальных зерен.

Микроскопирование показало, что содержимое клубеньков у отмеченных видов злака состоит из одинаковых по форме микробных палочек длиной 1,0—1,5 м и поперечным сечением 0,5—0,7 м.

Чтобы выявить азотфиксирующую способность этих бактерий, мы заложили весной 1952 г. вегетационный опыт. Для этого корни лисохвоста лугового, выкопанные осенью 1951 г. и хранившиеся в течение зимы в сухом и прохладном помещении, тщательно отмыли в водопроводной воде, затем их подвергли двухминутной дезинфекции в растворе сулемы (1 : 1000), перенесли на 1—2 минуты в этиловый спирт и окончательно промыли в стерильной воде. Дезинфицированные с поверхности клубеньки раздавливали стерильным шпателем в стерильной водопроводной воде, после чего суспензию перенесли в питательную среду.

Для приготовления питательной среды бралось 50 г морковного сока и 10 г сахарозы на 1 л водопроводной воды.

После посева микробов в питательную среду культура выдерживалась в термостате (при 28° С) в течение трех суток, до сильного помутнения, что свидетельствовало о достаточном размножении микроорганизмов. В дальнейшем полученная суспензия использовалась для инокуляции семян.

Для опыта были использованы семена лисохвоста солончакового и волоснеца сибирского. Опыт закладывался в стерильных глиняных вазонах одинаковой емкости и формы. В каждый сосуд набивалось по 4,3 кг прокаленного речного песка. Для удобрения применялась питательная смесь Д. Н. Прянишникова [2], из которой был исключен азот.

Посев семян был произведен 26 апреля 1952 г. В опытных сосудах семена заражались приготовленной культурой микробов — по 3 капли на каждое семя. Контрольные сосуды засеивались незараженными семенами. Опыт был поставлен в трехкратной повторности по каждому варианту.

После появления всходов в каждом сосуде было оставлено по 6 растений. Полив производился кипяченой водопроводной водой по весу, из расчета поддержания влажности субстрата на уровне 60 % от полной влагоемкости.

Через полторы-две недели после появления всходов опытные растения от инокулированных семян волоснеца и лисохвоста отличались более энергичным ростом, повышенной кустистостью, крупностью листьев, интенсивностью окраски и т. д. (рис. 2).

14 августа 1952 г. был произведен учет урожая растительной массы (табл. 1).

Приведенные данные показывают, что нанесение на семена лисохвоста и волоснеца суспензии клубеньков положительно сказалось на развитии растений, что обеспечило значительные прибавки урожая надземной массы и корней (рис. 3).

Таблица 1

Влияние инокуляции семян
на урожай растительной массы волоснеца и лисохвоста

Растение и вариант опыта	Вес воздушно-сухой массы г на сосуд			
	надземная часть	подземная часть	общий вес	то же, %
Волоснец: контроль	2,74	1,47	4,21	100
» опытный	4,03	2,09	6,12	145
Лисохвост: контроль	0,31	0,18	0,49	100
» опытный	0,68	0,35	1,03	210

Несмотря на то, что инокуляция опытных растений производилась суспензией, взятой из клубеньков лисохвоста лугового, на корнях волоснеца сибирского и лисохвоста солончакового можно было видеть четко выраженные клубеньки. На корнях же контрольных растений этих видов злаков никаких признаков образования клубеньков не обнаружено.

Поскольку из питательной смеси был исключен азот, можно предполагать, что испытывавшиеся нами микроорганизмы, поселившись в корнях злаков, обладали способностью связывать молекулярный азот воздуха и за счет этого питать растения азотистой пищей.



Рис. 2. Лисохвост солончаковый два растения справа — контрольные, незараженные, два слева — опытные.

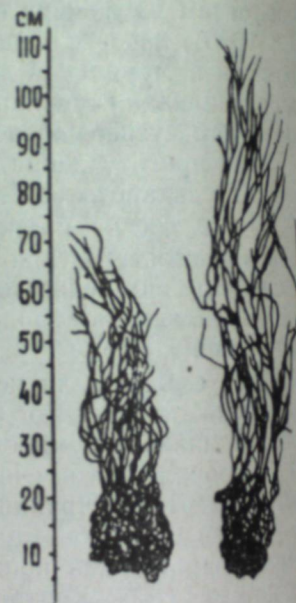


Рис. 3. Контрольные (слева) и опытные (справа) растения волоснеца сибирского после изъятия из сосудов.

Можно ожидать, что клубеньковые бактерии поселяются не только на отмеченных нами четырех видах злаков, но и на других травянистых растениях.

Чтобы выяснить влияние содержимого клубеньков на рост и развитие волоснеца сибирского и лисохвоста лугового в полевых условиях, мы заложили в июле 1952 г. соответственный опыт. Работы проводились на земельном участке Ботанического сада Западно-Сибирского филиала АН СССР. Почва участка (среднеподзоленная супесь, с мощностью гумусного слоя 15—16 см) в предшествующем году была поднята плугом и затем в течение первой половины лета, до посева, была дважды обработана конным культиватором. В течение последних пяти лет никаких удобрений на опытный участок не вносилось, вследствие чего посевы

не были в достаточной степени обеспечены минеральным питанием, в частности азотным.

Посев злаков производился на делянках размером 48 м² каждая, при четырехкратной повторности.

Для бактеризации семян выкапывались корни волоснеца сибирского. Из них отбиралась фракция мелких корневых ответвлений с клубеньками, которая после отмывки в воде измельчалась и растиралась в фарфоровой ступке. Образовавшаяся кашка перед посевом тщательно перемешивалась с семенами, которые высевались на опытных делянках. Контрольные делянки засевались незараженными семенами.

В период вегетации существенной разницы в темпах развития растений на контрольных и опытных посевах не наблюдалось. Что же касается ростовых процессов, то нужно отметить, что опытные растения резко отличались от контрольных большей кустистостью, облиственностью, высотой травостоев и т. д.

В июле 1953 г. был произведен учет урожая сена, показавший следующие результаты (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что инокуляция семян способствовала повышению урожая сена волоснеца сибирского на 4,3 ц/га, или 25,6%, и лисохвоста лугового — на 3,3 ц/га, или 24%.

Это, безусловно, имеет большое народнохозяйственное значение. Открываются перспективы широкого использования в качестве азотонакопителей не только бобовых растений, но и некоторых злаков. В частности, волоснец сибирский в восточных районах Сибири находит применение на больших производственных площадях как хороший компонент для травосмесей в полевых и кормовых севооборотах. Кроме того, возникает весьма заманчивая идея заставить соответственные расы данных бактерий поселяться в корнях хлебных злаков, в связи с чем отпала бы необходимость удобрять их азотом. Решение этой проблемы и ставится в задачу ближайшего времени.

Выводы

1. В. П. Ногтевым были открыты на корнях лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*) специфические клубеньки, которые, по его мнению, свойственны только этому злаку.

2. Нами в 1951—1952 гг. найдено, что аналогичные клубеньки образуются на корневых разветвлениях мятлика лугового (*Poa pratensis*), волоснеца сибирского (*Clinelymus sibiricus*) и лисохвоста солончакового (*Alopecurus ventricosus*).

3. Исследования показали, что приготовленная из клубеньков лисохвоста лугового суспензия бактерий, размноженных в искусственной питательной среде, успешно образовала клубеньки на корнях лисохвоста солончакового и волоснеца сибирского, выращенных в сосудах со стерильным речным песком.

4. В условиях песчаной культуры с питательной смесью Д. Н. Прянишникова, из которой был исключен азот, волоснец и лисохвост в результате бактеризации семян имели вполне нормальный рост и развитие растений. В этих же условиях контрольные растения характеризовались

Таблица 2

Эффективность бактеризации семян лисохвоста лугового и волоснеца сибирского

Растение и вариант опыта	Урожай сена	
	ц/га	%
Волоснец: контроль	16,8	100
» опытный	21,1	125,6
Лисохвост: контроль	13,9	100
» опытный	17,2	124,0

слабо развитой корневой системой, не имели клубеньков и отличались сильно подавленным ростом надземных органов.

Это позволяет считать, что живущие в корнях злаков бактерии обладают способностью связывать молекулярный азот воздуха, подобно клубеньковым бактериям бобовых растений, что имеет большое народнохозяйственное значение, так как открывает возможность целенаправленного использования в качестве азотонакопителей не только бобовых культур, но и некоторых злаков.

5. Внесение при посеве вместе с семенами волоснеца сибирского и лисохвоста лугового свежесобранных и растертых корней с клубеньками злака (волоснеца) обеспечило на малоплодородной дерново-подзолистой почве прибавку урожая сена, в сравнении с посевом контрольных (неудобренных) растений этих же видов, в 3,3—4,3 ц/га, или 24—25,6%.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27/II 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Ногтев, Происхождение и функция клубеньков на корнях лугового лисохвоста. ДАН СССР, т. XXV, № 2, 1939.
2. Д. Н. Приишников, Агрохимия. М., 1938.

И. Ф. БЕЛИКОВ

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ ФОТОСИНТЕЗА У СОИ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ЗАТЕНЕНИИ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА

Ранее [1—3] нами было отмечено, что у растения сои в начальный период ее жизни до образования бобов ассимиляты поступают от взрослых листьев к молодым, а также к корням и другим органам и тканям, где обычно в это время протекают активные процессы роста и развития. Взрослые листья при этом не обмениваются продуктами ассимиляции. Это мы наблюдали у растений, которые после подкормки их радиоактивной углекислотой оставались в почве непродолжительное время. Другими исследователями такие же явления обнаружены у сои [4, 5], подсолнечника [6] и томатов [7].

В связи с этим возник вопрос, будут ли обмениваться продуктами фотосинтеза листья сои, закончившие рост, когда растения останутся в почве на продолжительное время? Какое влияние на передвижение продуктов фотосинтеза окажет затенение части ассимиляционного аппарата? Ответ на эти вопросы представляет интерес и для практиков сельского хозяйства, в частности для обоснования норм высева семян и способов посева сои на почвах различного плодородия.

В 1955—1957 гг. были проведены специальные опыты с применением метода меченых атомов. Соя сорта Приморская 529 выращивалась на опытной площадке Ботанического сада ДВФАН СССР в 19 км от Владивостока, с площадью питания 60×10 см. Листья соответствующих узлов подкармливались радиоактивной углекислотой ($C^{14}O_2$), без отделения их от растений, с помощью прибора, описанного нами ранее [8]. Экспозиция — 10—20 минут. У листьев опытных растений брались диски диаметром 19 мм, и с помощью торцового счетчика определялась активность их поверхности.

Опыты 1955 года. 26 июля, до наступления фазы цветения, растение сои было подкормлено радиоактивной углекислотой ($C^{14}O_2$) через лист восьмого узла главного стебля. В момент подкормки опытное растение имело восемь взрослых листьев, рост которых к этому времени был окончен, и девятый молодой растущий лист с малой ассимиляционной поверхностью. После подкормки растение оставалось в почве до 14 сентября. К этому времени оно уже имело 17 узлов на главном стебле, 25 узлов и листьев на пяти ветвях. На всех узлах растения образовались бобы. В нижнем ярусе опало шесть листьев. Полученные данные представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что через три дня после подкормки радиоактивный углерод в надземной массе находился в основном в подкормленном листе восьмого узла и листовых пластинках растущего листа девятого узла главного стебля. В листьях нижнего яруса, уже сформировавшихся к тому времени, радиоактивного углерода имелось всего до 3% от наличия его в листе восьмого узла. К 6 августа на главном стебле образовалось вновь три листа. Радиоактивный углерод в листьях нижнего

Таблица 1

Распределение радиоактивного углерода в ассимиляционном аппарате сои по ходу роста в имп. мин. на диск листовой пластинки

Узлы снизу вверх	Даты взятия проб			
	29/VII	6/VIII	27/VIII	14/IX
17	—	—	6	8
16	—	—	8	9
15	—	—	19	18
14	—	—	19	15
13	—	—	10	14
12	—	26	13	3
11	—	30	27	33
10	—	48	181	165
9	739	194	43	36
8	1010	649	672	507
7	17	6	4	4
6	1	17	3	—
5	8	16	—	—
4	30	3	—	—
3	13	3	—	—
2	1	2	—	—
1	—	—	—	—

24 до 735 имп. мин. на диск. Радиоактивный углерод затем был отмечен в появившихся бобах.

Изложенное выше свидетельствует о том, что взрослые листья не обмениваются друг с другом своими ассимилятами. Подобное явление было отмечено исследователями и у других растений [9—11]. А. Л. Курсанов и его сотрудники [12—14] показали, что часть ассимилятов направляется в корни, где они обогащаются продуктами корневой деятельности. До 40% этих обогащенных ассимилятов возвращается в надземную массу для дальнейших превращений.

По нашим данным, у сои ассимиляты поступают только в растущие органы и ткани — листья, побеги, бобы и др. Во взрослые листья из корней ассимиляты не возвращаются. Это видно из того, что радиоактивный углерод нами там не обнаруживался или отмечался в незначительном количестве.

Далее, требовалось установить, как происходит распределение продуктов фотосинтеза между органами и тканями надземной массы растения, если затенить часть ассимиляционного аппарата. Будут ли продукты фотосинтеза поступать при этом в затененные листья от листьев, находящихся на свету? Одни ученые [15, 16] отмечали, что в затененную часть листа ассимиляты не поступают, другие [17] считали, что в некоторых случаях это имеет место. Мы решили проверить это на растении сои при искусственном затенении, используя для этой цели радиоактивный углерод (C^{14}).

Опыты 1956 года. Во время массового цветения, 10 августа, два растения сои были закрыты колпаком из плотной темной бумаги. С южной стороны, у стен колпаков, были сделаны прорезы, через которые у обоих растений были выведены на свет листья седьмого узла. В результате у каждого растения освещался только один лист. Обмен воздухом происходил свободно. Через три дня (13 августа) у опытных растений листья, находившиеся на свету, были подкормлены радиоактивной углекислотой.

В затенении растения находились пять дней (до 15 августа). Мы полагали, что в течение этого времени листья израсходовали запасные

яруса по-прежнему практически отсутствовал. В листьях восьмого и девятого узлов количество C^{14} резко уменьшилось, особенно в листе девятого узла; но он появился во вновь образовавшихся листьях десятого, одиннадцатого и двенадцатого узлов. Через три недели, 27 августа, вновь была взята проба. К этому времени на главном стебле образовалось еще пять новых листьев. У всех у них был также обнаружен радиоактивный углерод, но уже в меньших количествах.

В те же даты брались пробы-диски у листьев боковых побегов. Было обнаружено, что радиоактивный углерод находился в молодых растущих листьях всех пяти ветвей — от

вещества и нуждались в продуктах питания для поддержания своей жизнедеятельности. Вместо зеленых они стали бледно-зелеными. Особенно этиолированными оказались молодые растущие листья главного стебля и боковых побегов. Такими они оставались до уборки (7 сентября). Даже листья, вновь появившиеся после того, как сняли затенение, были значительно бледнее, чем такие же листья у незатеняемых растений. Через 10 минут после снятия укрытия у обоих опытных растений были взяты пробы-диски листовых пластинок. Пробы брались и в последующие дни. Полученные по ним данные представлены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что у растений сои при длительном голодании большей части ассимиляционного аппарата направление движения ассимилятов не изменилось: как и у растений, находящихся на свету, ассимиляты поступали к молодым, растущим листьям, а взрослые их не получали. Весьма интересно отметить, что у обоих растений от листа седьмого узла ассимиляты двигались к молодым, растущим листьям десятого узла мимо листьев восьмого и девятого узлов, которые в это время сильно голодали.

В связи с этим возникла необходимость проследить за движением и перераспределением продуктов фотосинтеза в самой листовой пластинке. Будут ли ассимиляты свободно передвигаться из одной части листовой пластинки в другую, при условии, если одну часть листа поставить в неблагоприятные условия светового режима? В природе, как известно, не только отдельные листья, но и листовая пластинка одного и того же листа освещаются солнцем неравномерно. Так, листья в посевах сои, кукурузы и других растений в различных местах освещаются светом от 0,9 до 90 тысяч люксов. Естественно, и процесс фотосинтеза в различных частях листа должен протекать не с одинаковой активностью. Соответственные наблюдения мы провели в следующий вегетационный период.

Опыт 1957 года. В начале сентября у четырех растений сои была затенена часть листовой пластинки темной бумагой. В таком виде листья подкармливались радиоактивной углекислотой. У двух растений подкормленные листья были удалены через сутки, у двух других через семь.

Как показал опыт, в затененной части листа процесс фотосинтеза не проходил, так как $C^{14}O_2$ не усваивалась. В освещенных же частях листа она поглощалась в большом количестве. Ассимиляты из освещенных частей листовой пластинки двигались по проводящим путям затененной части листа, не заходя в паренхимную ткань последней, хотя эта ткань явно голодала. После семидневного затенения листовая пластинка начала желтеть и постепенно отмирать, в то время, как рядом проходили ассимиляты в другие органы и ткани.

Это говорит о том, что если листовая пластинка по каким-либо причинам перестает вырабатывать продукты ассимиляции, то она не полу-

Таблица 2

Активность листовых пластинок у сои при затенении растений в имп. мин.

Узлы снизу вверх	Опытные растения					
	пер			второе		
	15/VIII	18/VIII	24/VIII	15/VIII	18/VIII	24/VIII
14	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—
12	—	—	64	—	—	37
11	—	—	71	—	35	39
10	121	286	65	28	—	30
9	11	138	11	10	1	9
8	4	—	—	10	14	—
7	2499	556	315	2252	614	530
6	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	3	1	—
3	5	—	—	—	3	—

чают их и от других участков ткани того же листа. Следовательно, не только листья, но и участки листовой пластинки, а возможно, и клетки не «делятся» продуктами фотосинтеза. То небольшое количество радиоактивного углерода, которое было обнаружено нами и М. К. Чайлахяном [17] во взрослых листьях, при подкормке одного из них радиоактивной углекислотой, не дает основания считать, что взрослые листья обмениваются друг с другом продуктами ассимиляции. Поступившие продукты не обеспечивают нормальной деятельности затененного листа. Вот поэтому листья нижнего яруса в загущенных посевах быстро желтеют и преждевременно отмирают.

Выводы

1. В начальных фазах развития у растения сои продукты ассимиляции от взрослых листьев поступают только в растущие органы и ткани — листья, побеги и другие точки роста. Искусственное затенение части ассимиляционного аппарата не влияет на общее направление движения ассимилатов. Взрослые листья не обмениваются друг с другом ассимилятами даже при длительном голодании некоторых из них. Поэтому в излишне загущенных посевах листья нижнего яруса преждевременно отмирают.

2. Листовая ткань для поддержания своей жизнедеятельности использует только «местный» материал, т. е. выработанный этой же тканью. Если нарушается фотосинтетический процесс (при затенении) у одной части листовой поверхности, другая часть этого же листа, находящаяся на свету, не будет обеспечивать ее продуктами фотосинтеза. Последними не «делятся» не только взрослые листья, но и отдельные участки листовой пластинки, а возможно, и клетки.

3. Радиоактивный углерод, введенный в листовую пластинку в виде $C^{14}O_2$, задерживается в ней в течение длительного времени. Дольше он задерживается в листьях старых и меньше в молодых. Радиоактивный углерод, введенный в листья, переходит только в растущие органы и ткани, а в органы, закончившие свой рост, он не переходит даже в порядке обмена.

Дальневосточный филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ф. Беликов, Передвижение продуктов фотосинтеза у растений сои и вопросы урожайности. Тезисы докладов на Всес. научно-техн. конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в народном хозяйстве и науке. Изд. АН СССР, 1957.
2. И. Ф. Беликов, О движении и распределении продуктов фотосинтеза у сои в период вегетации. Физиология растений, т. 2, вып. 4, 1955.
3. И. Ф. Беликов, Распределение продуктов фотосинтеза у сои при частичном удалении бобов и листьев. ДАН СССР, т. 117, № 5, 1957.
4. S. Aronoff, Translocation from soybean leaves. II (plant Physiology, 1955, vol. 30, N 2).
5. И. И. Гунар, Е. Е. Крастина, Распределение продуктов ассимиляции углерода по органам в онтогенезе сои. Доклады ТСХА, вып. XXIX, 1957.
6. А. А. Прокофьев, Л. П. Жданов, А. М. Соболев, Некоторые закономерности поступления веществ из листьев в репродуктивные органы. Физиология растений, т. 4, вып. 5, 1957.
7. А. И. Литвиненко, Ассимиляция меченых продуктов фотосинтеза подвоя при межродовой и внутривидовой прививке. Агробиология, № 3, 1957.

8. И. Ф. Беликов, О локальном использовании продуктов фотосинтеза. ДАН СССР, т. 102, № 2, 1955.
9. N. Deleano, Über d. ableitung d. Assimilate und d. intakten durch d. chloroformierten d. plasmolysierten Blatstiele d. Laubblätter. Jahrd Bot., 49, 1911.
10. O. A. Leonard, Transformation of sugars in sugar beet and corn leaves and in-veitase activity. Am. J. Bot. 25, 1938.
11. Th. Weevers, Die Ergebnisse einiger Ringelungsversuche und ihre Bedeutung für die Stoffwanderung. Res. Trav. Bot. Niederl., 25, 1928.
12. А. Л. Курсанов, Круговорот органических веществ в растении и деятельность корневой системы, Вопросы ботаники, № 1, 1954.
13. Н. А. Приступа, А. Л. Курсанов, Исходящий ток ассимилатов и его связь с поглощающей деятельностью корня. Физиология растений, т. 4, вып. 5, 1957.
14. А. Л. Курсанов, Корневая система растений как орган обмена веществ, Изв. АН СССР, сер. биол. № 6, 1957.
15. G. S. Rabideau, G. O. Burr, The use of the C^{14} isotope as a tracer for transport studies in plants. Am. J. Bot., 32, 1945.
16. E. Phillis, T. G. Mason, The palat distribution of sugar in the foliage leaf. Ann. Bot., 47, 1933.
17. М. К. Чайлахян, Р. Г. Бутенко, Передвижение ассимилатов из листьев в побеги при дифференцированном фотопериодическом режиме листьев. Физиология растений, т. 4, вып. 5, 1957.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Е. В. ПОЛЯКОВА

ЯБЛОННАЯ МЕДЯНИЦА (*PSYLLA MALI* SCHMB.) В УСЛОВИЯХ ПРИБАЙКАЛЬЯ

Яблонная медяница — *Psylla mali* Schmb. широко распространена во всей Европе, Северной Японии, Северной Америке, Австралии. В СССР она встречается почти повсеместно. В Прибайкалье яблонная медяница обнаружена как в садах, так и в естественных зарослях дикой сибирской яблонной — *Malus Pallasiana* Jur.

Развитие яблонной медяницы в Прибайкалье проходит так же, как и в других областях, а поэтому мы остановимся только на особенностях ее биологии в здешних условиях.

И. А. Порчинский [1] указывал, что яблонная медяница развивается (в первую очередь) на рябине и, возможно, на груше. Н. А. Кулагин [2], И. И. Журавлев и Г. Е. Осмоловский [3] отметили яблонную медяницу как вредителя для боярышника, сливы, смородины и других пород деревьев. В условиях Прибайкалья медяница встречается в стадии личинки только на яблонях (преимущественно на дикой сибирской), если даже они растут в тесном соседстве с рябиной, грушами уссурийской и лукашевой, боярышником, сливой и пр.

Некоторые исследователи вводят в заблуждение наличие в садах и лесах Прибайкалья другого вида медяницы этого же рода, вероятно, до сих пор еще не описанного. Этот вид медяницы (условно нами обозначенный как *Psylla* sp.) имеет совершенно другую биологию (зимует в стадии имаго), он развивается не только на яблоне, но и на груше и боярышнике. Отличается этот вид от яблонной медяницы окраской и незначительно строением. Поэтому смешивать их не следует, хотя личинки того и другого вида очень сходны.

В Европейской части Советского Союза и в Западной Европе личинки яблонной медяницы выходят из яиц за 2—3 дня до распускания почек и некоторое время сидят на их верхушках в ожидании появления зелени. В этот период личинок легко уничтожить любым контактным ядом.

В Прибайкалье личинки яблонной медяницы выходят из яиц, когда почки уже раскрыты. Переход их на молодые листочки совершается постепенно и удобного момента для уничтожения вредителя не создается.

Развитие личинок продолжается 34—37 дней, затем они окрыляются, превращаясь во взрослое насекомое, а через 10—12 дней частично разлетаются на другие деревья, но все же большинство их остается на яблонях. К моменту яйцекладки (начало сентября) листолюбки снова концентрируются на яблонях (главным образом дикой сибирской и довольно многочисленных родственных ей ранетах). Яйцекладка продолжается до наступления холодов. Яйца откладываются на наиболее шероховатые места стволов и ветвей деревьев. Поэтому старые деревья заражаются сильнее, чем молодые с гладкими побегами. В. Шпейер [4] отмечал, что плотность заселения деревьев яйцами медяницы зависит от сроков сбрасывания листьев различными сортами: чем дольше дерево сохраняет листья, тем оно сильнее привлекает медяниц для яйцекладки, так как наличие листьев дает надежную защиту от осеннего ветра. В условиях Прибайкалья этой зависимости нет, поскольку здесь развитие яблонной медяницы связано главным образом с одной лишь дикой сибирской яблоней, которая сбрасывает листья значительно раньше крупноплодных яблонь. Определяющим в данном случае являются сроки внесения проветривания, которое у сибирской яблонной начинается на 5—6 дней раньше, чем у крупноплодных.

Таким образом, в условиях Прибайкалья из средств борьбы с вредителем наиболее рациональным будет уничтожение яиц обычными овицидными инсектицидами. В уничтожении медяницы в Прибайкалье большую роль играют ее естественные враги: насекомые из семейства *Coccinellidae* (которых нами было насчитано до 9 видов), а также *Syrphidae*, хищные клопы и др.

Восточно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12/VII 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Порчинский, Рябина и яблоня в садах средней и северной России в связи с живущими на них вредными насекомыми, СПб, 1912.
2. Н. М. Кулагин, Вредные насекомые и меры борьбы с ними, т. 1, 1927.
3. И. И. Журавлев, Г. Е. Осмоловский, Главнейшие вредители и болезни зеленых насаждений. Изд. Мин. Ком. хоз-ва, РСФСР, М.—Л., 1949.
4. W. Speyer, Der Apfelblattsauger *Psylla mali* Schmidberger. Berlin, 1929.
5. А. Н. Швецова, Главнейшие вредители плодово-ягодных культур и меры борьбы с ними в Омской области. Омск, 1938.

П. А. БОРОДОВСКИЙ, Н. В. ВОХМЯНИН

ГЕНЕРАТОРНАЯ ЛАМПА С МНОГОКРАТНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

В генераторе Баркгаузена — Курца (см. [1]) электроны колеблются в постоянном электрическом поле со случайным распределением потенциала, каким оно оказывается между электродами триода. Вследствие этого колебания электронов около сетки являются ангармоническими, что не позволяет получить многократное их торможение в высокочастотном поле.

Если электроды лампы выбрать такой формы, чтобы создаваемое ими поле было гиперболическим, то электроны в таком поле будут совершать гармонические колебания и могут многократно тормозиться высокочастотным полем [2].

На рис. 1 показана система электродов для получения гиперболического поля с вращательной симметрией:

$$V = K \left(\frac{r^2}{2} - z^2 \right) + V_0. \quad (1)$$

В направлении оси z приложено однородное магнитное поле B , ограничивающее движение электронов в направлении оси r .

Уравнения движения электронов, без учета влияния пространственного заряда, будут иметь следующий вид:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = -\omega_c r \frac{d\theta}{dt} + \frac{\omega_0^2}{2} r, \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) = \omega_c \frac{dr}{dt}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\omega_0^2 z, \quad (4)$$

где

$$\omega_0 = \sqrt{2 \frac{e}{m} K}, \quad \omega_c = \frac{e}{m} B. \quad (5)$$

Полагая, что начальные скорости электронов равны нулю и в начальный момент электрон находится в точке r_0, θ_0, z_0 , можно найти решение уравнений (2, 4):

$$r = \frac{\omega_c r_0}{\Omega} \sqrt{1 - 2 \frac{\omega_0^2}{\omega_c^2} \cos^2 \frac{\Omega}{2} t}, \quad (6)$$

$$\theta = \theta_0 + \frac{\omega_c t}{2} - \arctg \left(\frac{\omega_c}{\Omega} \operatorname{tg} \frac{\Omega}{2} t \right). \quad (7)$$

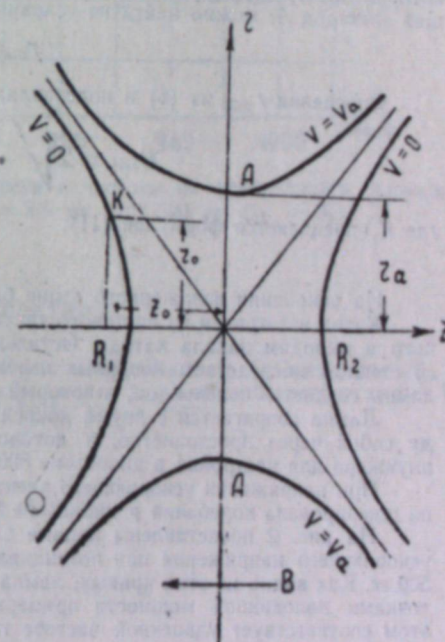


Рис. 1. Гиперболические электроды.

$$z_1 = -z_0 \cos \omega_0 t \quad (8)$$

где

$$\Omega = \sqrt{\omega_c^2 - 2\omega_0^2} \quad (9)$$

Из этих уравнений следует, что электрон совершает гармонические колебания по оси z и одновременно поворачивается вокруг магнитных силовых линий, описывая в плоскости $r-\theta$ циклоидальные движения.

Частота гармонических колебаний электронов.

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{2 \frac{e}{m} K} \quad (10)$$

Полагая, что при $r=r_a$, $z=0$, $V=V_a$, а при $r=r_0$, $z=z_0$, $V=0$, можно найти из (1), что

$$K = \frac{2V_a}{r_a^2 - r_0^2 + 2z_0^2} \quad (11)$$

Таким образом, частота гармонических колебаний зависит от напряжения и расстояний между электродами лампы. Наименьшее, «критическое» магнитное поле, при котором электроны могут совершать гармонические колебания, не попадая на ускоряющий электрод A ; можно найти из условия

$$r_{\max} \leq r_a \quad (12)$$

Определяя $r_{\max}$ из (6) и подставляя в (12), получим

$$B_{\text{crit}} = 2\sqrt{\frac{m}{e} K} \sqrt{\frac{r_a}{r_a^2 - r_0^2}} \quad (13)$$

где K определяется формулой (11).

На основании изложенного выше была сконструирована генераторная лампа.

Катод изготовлен из листового тантала толщиной в 50μ в виде кольца, приваренного к выводам накала катода. Остальные электроды сделаны из меди и соединены со стеклом посредством коварных переходов. Однородное магнитное поле вдоль оси лампы создается соленоидом, в который помещается лампа при работе.

Лампа сопрягается с двумя коаксиальными резонаторами, которые связаны между собой через пространство, в котором колеблются электроны. Резонаторы имеют плунжера для настройки в диапазоне 800—1000 мГц.

При напряжении ускоряющего электрода в 800—1000 в и токе около 5—6 ма лампа генерировала колебания в диапазоне 850—950 мГц.

На рис. 2 представлены кривые зависимости выходной мощности и частоты от ускоряющего напряжения при потенциале отражателей — 5 в и магнитном поле около 500 гс. Как видно из этих кривых, лампа имеет диапазон электронной настройки между точками половинной мощности примерно 3%. Частота генерируемых колебаний при этом соответствует удвоенной частоте гармонических колебаний электронов и определяется формулой.

$$f = k\sqrt{U_a} \quad (14)$$

где k — коэффициент, зависящий от расстояний между электродами лампы. Для данной конструкции лампы $k = 30$ и $\frac{\text{мГц}}{\sqrt{\text{в}}}$ и рассчитанная по формуле (14) зависимость (пунктирная линия на рис. 2) хорошо совпадает с экспериментальными данными.

Возбуждение колебаний с частотой, равной удвоенной частоте гармонических колебаний электронов, обусловлено тем, что высокочастотное поле имеет параболическое распределение потенциала по оси лампы (т. е. одинаковое с распределением постоянного электрического поля).

Если вместо двух связанных резонаторов подключить колебательную систему (например, отрезок двухпроводной линии) к отражателям R_1 и R_2 , то высокочастотное поле будет практически однородным и лампа генерирует колебания, частота которых равна частоте гармонических колебаний электронов.

Диапазон электронной настройки в этом случае получается значительно шире 15—20%, но отдаваемая мощность меньше.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28/III 1958

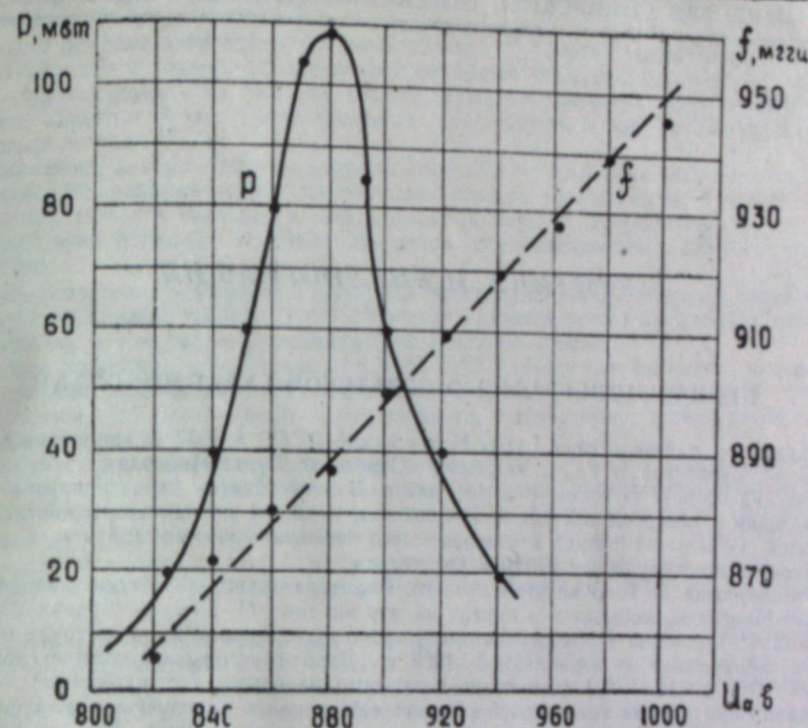


Рис. 2. Зависимость генерируемой мощности и частоты от ускоряющего напряжения при $U_{R1} = U_{R2} = -5$ в, $I_a = 5,5$ ма, $B \approx 500$ гс, $Q_L = 50$.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Калинин, Дециметровые и сантиметровые волны, т. 1, Связьиздат, М., 1939.
2. П. А. Бородавский, Применение гармонических колебаний электронов для генерации сверхвысоких частот, ЖТФ, т. XXVII, № 10, 1957.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

ЦЕННАЯ МОНОГРАФИЯ О СОВЕТСКОЙ БУРЯТ-МОНГОЛИИ

Книжным издательством Бурят-Монгольской АССР в 1957 г. выпущена монография Б. Р. Буянтуева и Г. М. Раднаева «Советская Бурят-Монголия (экономико-географический обзор)» объемом 19,2 печ. листа. В книге дается характеристика природных условий и ресурсов, населения и культуры, отраслей народного хозяйства Бурят-Монголии. Отдельный раздел посвящен характеристике административных районов (аймаков) и промышленных центров республики.

Монография Б. Р. Буянтуева и Г. М. Раднаева значительно пополнила сведения о Бурят-Монголии, имевшиеся в книгах на эту же тему М. Помуса (издана 20 лет назад) и Н. Н. Ознобина (1956 г.). Авторы широко использовали в своем труде новейшие данные, полученные за период 1952—1956 гг. Бурят-Монгольской комплексной экспедицией СОПСа АН СССР (совместно с другими научными учреждениями), которые составили капитальный трехтомный сборник «Материалов по изучению производительных сил Б.-М. АССР». Они и сами были участниками экспедиции. Все это позволило авторам дать весьма полную и обстоятельную работу по экономической географии Бурят-Монголии с учетом новейших данных по природным условиям, полезным ископаемым, народному хозяйству и культуре республики.

Раздел «Природные условия и природные ресурсы», написанный на основе последних геолого-географических исследований Бурят-Монголии, позволяет получить достаточно полное представление об этих вопросах. Важным достоинством раздела следует считать то, что естественные условия и богатства описываются с точки зрения использования их человеком, дается их народнохозяйственная оценка. Сообщается много новых интересных данных, характеризующих месторождения полезных ископаемых, их запасы. Здесь приводятся и другие ранее неопубликованные сведения. Однако местами, нам кажется, в разделе имеются излишние физико-географические подробности; представляется также ненужным в такой работе описание каждого месторождения полезных ископаемых.

В разделе о населении и культуре подробно характеризуются численность, развитие, состав населения, а также рост его материального благосостояния и культурных достижений за годы Советской власти.

Наибольшее место в книге отведено, как и следовало это сделать, народному хозяйству: промышленности, сельскому хозяйству, пушно-звероводческому хозяйству, транспорту.

Авторы убедительно показали, как Бурят-Монголия из отсталой окраины царской России, края с кустарной промышленностью и кочевым животноводством, с почти поголовной неграмотностью, превратилась в крупную автономную Советскую республику с высоко развитой культурой, промышленностью и сельским хозяйством. Объем ее промышленного производства в 1956 г. превысил уровень 1913 г. в 53 раза.

В работе дается общий очерк народного хозяйства, в котором показаны месторождения с другими районами. К сожалению, авторы осветили эти вопросы слишком скупо, неотчетливо показали современную и перспективную специализацию хозяйства Б.-М. АССР.

Обстоятельно написан подраздел «Промышленность». Сначала здесь характеризуется развитие промышленности республики в целом, показывается рост производства и технической его оснащенности, изменения в отраслевой структуре, размещении, усиление концентрации и др. Затем изложение ведется по отдельным отраслям. Как правило, авторы анализируют состояние и развитие промышленности на конкретных и богатых фактических материалах. Однако в отдельных местах преобладает простое описание того, что есть. Недостаточно освещен вопрос о кооперировании и специализации промышленности.

Также в экономическом плане дана характеристика сельского хозяйства Бурят-Монголии. Поскольку основной его отраслью в республике является овцеводство, то

большое место уделено этой отрасли животноводства. В работе совершенно правильно подчеркивается, что в течение последних лет на основе принятых партий и правительством решений наметился быстрый подъем сельского хозяйства, прежде всего общественного животноводства. Бурят-Монголия превращается в крупный район тонкорунного овцеводства.

К сожалению, авторы книги не уделили достаточного внимания вопросам природно-экономического районирования сельскохозяйственного производства, которые имеют важное практическое значение и еще в должной мере не разработаны. В то же время в ряде мест излишнее внимание отводится организационным и агрозоотехническим вопросам.

Весьма подробное освещение получило в книге пушно-звероводческое хозяйство. И это вполне оправдано, так как Бурят-Монголия является одним из крупных поставщиков пушнины, в том числе ценнейшего баргузинского соболя.

В работе характеризуется транспорт Б.-М. АССР. Показано развитие и современное состояние железнодорожного, водного, автомобильного и воздушного транспорта, приведены ценные материалы о грузообороте, о расширении транспортной сети, ее совершенствовании и т. д.

В целом раздел «Народное хозяйство» отличается богатством фактических материалов, которые удачно и умело использованы авторами. Характеризуя отрасли народного хозяйства республики, авторы приводят последние статистические данные (за 1956 г.); наряду с достижениями они показывают также недостатки, нерешенные вопросы. В книге освещаются перспективные задачи развития экономики, ставятся вопросы о необходимости более полного использования природных ресурсов Бурят-Монголии.

В разделе «Внутренние экономико-географические различия» авторы дают краткую характеристику каждого из 23 аймаков Б.-М. АССР. При этом все аймаки они разбивают на 4 группы, исходя из общности и различий в их природных и экономических условиях. То, что авторы решили охарактеризовать каждый аймак в отдельности, представляется, на наш взгляд, оправданным. Однако характеристика аймаков получилась однообразной и схематичной. Следовало бы, характеризуя тот или иной аймак, сосредоточить внимание на наиболее существенных и интересных его природных и хозяйственных сторонах, не пытаясь приводить всех данных.

Следует также отметить, что авторы недостаточно четко изложили вопрос о районировании Бурят-Монголии. Они не высказали своей точки зрения по выдвинутому в других работах схеме районирования. А в экономико-географической работе, какой является рецензируемая книга, это следовало бы сделать.

В книге имеется ряд неточностей и спорных положений. Так, говоря о возможности использования гидроэнергии р. Селенги, авторы пишут: «По предварительным соображениям специалистов-энергетиков, на Селенге, в районе ее среднего течения (в пределах СССР) можно создать крупнейшую гидроэлектростанцию мощностью до одного миллиона киловатт и с годовой выработкой электроэнергии свыше 7 млрд. квт-час (стр. 57; подчеркнуто нами. — Г. Т.).»

Целесообразность строительства гидроэлектростанций подобной мощности на Селенге представляется весьма спорной, так как это потребовало бы сооружения весьма высокой и широкой плотины. А при плотине подобной высоты подверглась бы затоплению значительная часть Гусиноозерского угольного месторождения, часть железной линии Улан-Удэ — Наушки и весьма большая часть освоенных и наиболее ценных угодий в пойме Селенги. По-видимому, экономически более целесообразным является строительство здесь электростанции значительно меньшей мощности, что потребует более низкой плотины, а следовательно, и не вызывает такого большого затопления.

В разделе о промышленности, говоря о перспективах развития угольной промышленности Б.-М. АССР, авторы правильно указывают, что весьма перспективными являются Тугуйские месторождения углей (стр. 152). Однако в разделе «Полезные ископаемые» приводятся такие данные о суммарных общегосударственных запасах по двум месторождениям Тугуйской депрессии (около 40 млн. т) (стр. 27), которые не подтверждают перспективности этих месторождений. Последние геологоразведочные работы говорят о том, что запасы углей в районе Тугуйской депрессии составляют до 1 млрд. т, что, конечно, указывает на их большое промышленное значение в будущем.

В разделе «Народное хозяйство», говоря о влиянии близлежащих районов на рост производительных сил Б.-М. АССР, авторы правильно отмечают важное значение для республики развитие Иркутско-Черемховского энергетического комплекса. Но они не указали, что весьма большое влияние на развитие производительных сил Б.-М. АССР окажет и их восточный сосед — Читинская область в связи со строительством в будущем крупного комбината черной металлургии, свинцово-цинкового металлургического комбината и ряда других предприятий. Производственные связи между Бурят-Монгольской АССР и Читинской областью в дальнейшем будут все более углубляться.

В книге имеется ряд других более мелких недостатков и упущений, встречающихся

стилистические погрешности. Так, в таблицах и тексте приводятся данные о теплотворной способности углей, без указания на рабочее топливо или органическую массу она рассчитана.

На стр. 27 сказано: «Уголь здесь представлен различными цветами». Подобную терминологию никак нельзя признать удачной.

На стр. 188 в таблице «Рост поголовья продуктивного скота» в графе «кол. крупного рогатого скота на 1955 г.» стоит цифра 415,6 тыс. голов, а в графе с данными на 1956 г. просто прочеркнуто, так что можно подумать, что крупного рогатого скота вообще не было (хотя дело лишь в том, что у авторов не было под рукой данных).

Таблицы в одних случаях имеют заголовки, а в других — нет, и не сразу разберешь, о чем они говорят. Но это все мелочи. Общее же содержание книги позволяет сказать, что авторы вполне справились с поставленной задачей, написав ценную монографию о Советской Бурят-Монголии.

Книга хорошо иллюстрирована. Карты, помещенные в работе, довольно удачны и дополняют текст.

Совет по изучению производительных сил
Академии наук СССР

Г. Л. Тарасов

НИКОЛАЙ АНДРЕЕВИЧ ЧИНАКАЛ

(к 70-летию со дня рождения)

В угольной промышленности Советского Союза при разработке мощных крутопадающих пластов угля широкое применение получила щитовая система («щиты Чинакала»). В настоящее время в крупнейшем месторождении Кузбасса — Прокопьевско-Киселевском — этой системой добывается до 60—70% угля, что позволяет получать ежегодную экономию в сотни миллионов рублей.

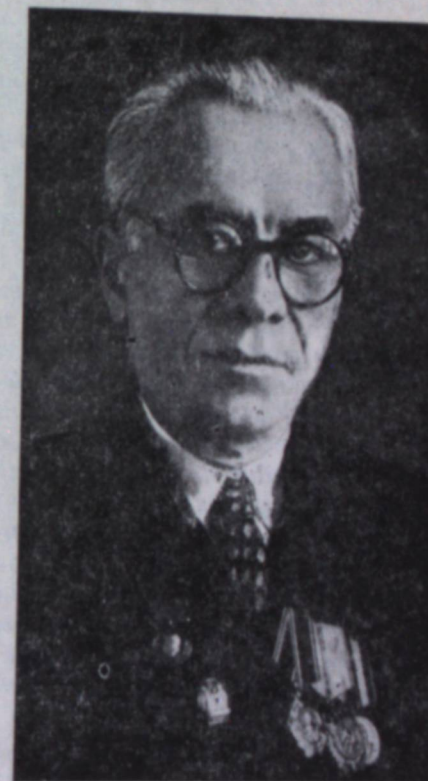
Автор этой прогрессивной системы разработки, член-корреспондент Академии наук СССР Н. А. Чинакал широко известен, как один из видных деятелей советской горной науки.

Николай Андреевич Чинакал родился 20 ноября 1888 г. в деревне Нур-Али Евпаторийского района Крымской области в семье крестьянина. Отлично окончив реальное училище в Симферополе, он в 1907 г. по конкурсу был принят в Днепропетровский (Екатеринославский) горный институт, который закончил в 1912 г. с похвальными отзывами.

В период 1912—1918 гг. Н. А. Чинакал работал в Донбассе. Он прошел там трудный путь от помощника врубмашиниста до заведующего рудником Алексеевского горного общества в Макеевке. Здесь он и встретил Октябрьскую социалистическую революцию. В 1918 г. при активном участии Н. А. Чинакала на этом руднике был создан профсоюз угольщиков, который одним из первых в Донбассе организовал перевод шахтеров на 8-часовой рабочий день.

В 1921 г. шахтеры Макеевского рудника направили Н. А. Чинакала делегатом на Всероссийский съезд горнорабочих в Москве, где он был избран членом и зам. зав. экономическим отделом Центрального Комитета профсоюза горнорабочих.

В конце 1921 г. Н. А. Чинакал был назначен членом комиссии при Совете Труда и Обороне для разработки плана восстановления Донбасса, а затем в течение 5 лет (1923—1928) руководил отделом механизации комбината «Донуголь».



В 1924—1925 гг. вместе с группой видных специалистов горного дела Н. А. Чинакал был командирован ВСНХ в США, Англию и Германию для изучения опыта добычи угля. Результаты своих наблюдений Н. А. Чинакал опубликовал в виде самостоятельной главы в монографии акад. А. А. Скопинского «Современные угольные рудники Северной Америки и Великобритании и проблема механизации производства на рудниках Донбасса» (Харьков, 1925).

С 1930 г. по настоящее время Н. А. Чинакал работает в Западной Сибири. С 1930 по 1936 г. он был зам. главного инженера проектного бюро и главным инженером проектного управления Кузбассугля, где под его руководством были выполнены и реализованы 11 проектов строительства новых шахт.

В 1935 г. Николай Андреевич разработал принципиально новую, щитовую систему добычи угля на мощных пластах крутого падения.

Идея щитового крепления является весьма оригинальной: в ней впервые вес крепи и давление обрушенных пород использованы для перемещения щитовой крепи вслед за продвижением забоя.

Внедрение щитовой системы Н. А. Чинакала послужило началом к созданию в горном деле нового перспективного направления в системах разработки мощных крутопадающих пластов. По определению акад. Л. Д. Шевякова, щитовая система «...принадлежит к оригинальным созданиям советской горной техники». Французский профессор Пок так охарактеризовал ее значение: «С использованием щитов, передвижного деревянного крепления, шагающего крепления старая система защиты шахтера — деревянное крепление одиночными деревянными стойками — уже почти готова отжить свой век. Это, без сомнения, является одним из наиболее необычайных событий в истории горного искусства и науки» (П. Пок, Разработка мощных пластов на рудниках. Выступление на конгрессе, посвященном 100-летию горно-металлургического общества. *Revue de L'Industrie minerale*, avril, vol. 37, № 639, 1956).

Кроме улучшения технико-экономических показателей добычи угля, щитовая система значительно облегчает труд шахтеров, освобождает их от тяжелых и трудоемких работ по креплению призабойного пространства и создает более безопасные условия работы.

Щитовая система получила высокую оценку Советского Правительства. За внедрение этой системы Н. А. Чинакал совместно с группой новаторов производства был удостоен высокого звания лауреата Сталинской премии.

Не останавливаясь на достигнутых результатах, Н. А. Чинакал продолжает дальнейшее совершенствование щитовой системы. Проводимые под его руководством научно-исследовательские работы в лаборатории систем разработки Института горного дела ЗСФАН СССР позволили дать новые, более экономичные конструкции щитов, внедрение которых значительно расширило область применения щитовой системы как в СССР, так и в демократических странах (Болгария и др.).

В период с 1940 по 1944 г. Н. А. Чинакал заведовал кафедрой нового шахтного строительства в Томском политехническом институте им. С. М. Кирова.

Когда в 1943 г. возникла необходимость создания в Западной Сибири специальной научной базы Академии наук СССР, Н. А. Чинакал принял активное участие в работе Правительственной комиссии по организации Западно-Сибирского филиала Академии наук СССР в Новосибирске.

С 1944 г. до 1957 г. Н. А. Чинакал являлся директором Горно-геологического института, а с 1957 г. — Института горного дела ЗСФАН СССР.

Здесь под его руководством осуществляются важные научные исследования: 1) совершенствование щитовой системы разработки, расширение ее применения с целью получения дешевого угля для промышленности; 2) организация работ по изучению возможностей создания самостоятельной железорудной базы для металлургии Западной Сибири; 3) изучение нефтеперспективных структур Сибирской платформы и др.

Неутомимый новатор в науке, хороший организатор комплексных научных исследований в горном деле, Н. А. Чинакал является и активным общественником. Многие годы Николай Андреевич участвовал в работе инженерно-технических обществ. Он член центрального правления и председатель Западно-Сибирского правления НТО Горное, член партбюро ИГД ЗСФАН СССР, руководит философским кружком.

Особое внимание уделяет Николай Андреевич воспитанию молодых научных кадров в Сибири; многие под его руководством успешно защитили кандидатские диссертации.

За многолетнюю плодотворную работу и выдающиеся достижения в развитии горной науки и техники Н. А. Чинакал награжден орденами Ленина и Трудового Красного Знамени и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне».

Вся многосторонняя научная, производственная, педагогическая и общественная деятельность Н. А. Чинакала является ярким примером беззаветного служения своему народу.

П. Т. Приходько,
В. Т. Дзюбенко

ОТ КОМИССИИ
ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ СССР

Для изучения научной и общественной деятельности академика В. А. Обручева намечено собрать всю его обширную переписку. В связи с этим лиц, имеющих письма В. А. Обручева, просим передать оригиналы или копии с них в Отдел истории геологии Геологического института АН СССР (Москва, В-17, Пыжевский переулок, 7).

Собранные письма после их систематизации и изучения будут сданы на хранение в архив Академии наук СССР.

О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Надо читать	По чьей вине
6	Табл. 1	9,4	97,4	Т И П О Г Р А Ф И И
17	18 снизу	Г. Люксом	Г. Люксом	
22	11 снизу	$W(y_m - y_{m-1}) =$ $= L(x_{m-1} - x_{m-2})$	$W(y_m - y_{m-1}) =$ $= L(x_{m-1} - x_{m-2})$	
35	4 снизу	$\frac{2-}{4}$	SO_4^{2-}	
59	Табл. 3	Машина ПМС-18	Машина ПМС-1 В	
62	Табл. 4	235.	285	
66	1 снизу	700 z	~ 700 z	
93	20 снизу	(при $W_\phi^1 = W_\phi$)	$W_\phi = W_\phi^1$	
94	9 сверху	$W_g = f(W_{cp})$	$W_g = f(W_\phi)$	
119	Табл. 1	A_0^2	A_0^3	

Технический редактор Н. М. Потоцкая. Корректор О. Д. Соколова.

МН 03227. Подписано к печати 24 октября 1958 г. Тираж 1200. Заказ 149. Формат бумаги 70 × 108/16 = 4,5 бум. л., 12,33 печ. л., 12,55 изд. л.

Новосибирское книжное издательство. Красный проспект, 18. Типография № 1 Полиграфиздата. Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

Цена 7 р.