

п-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

12

2
НОВОСИБИРСК

1961

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

12

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1961

СОДЕРЖАНИЕ
ТЕХНИКА

	Стр.
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	3
Ю. К. Брезгачев. Развитие электромеханической аппаратуры для техники и технологии	14
В. П. Козлов. Кинематики движущихся механизмов	24
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	30
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	37
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	42
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	48
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	53
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	64
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	72
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	78
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	82
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	87
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	92
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	97
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	98
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	101
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	105
Л. С. Попырин, Н. Т. Ефимов. Перспективы начальные параметры пара крупных конденсационных турбин в условиях Центральной Сибири	107

Писать разборчиво

Шифр П-31863

Автор Шуб С. Д.

Название Мех. науки

Том 12

Год издания и № 1961

Фамилия читателя Торбунин

Дата 28 июля 1961 г.

14/11

25/11

3/11

Л. С. ПОПЫРИН, Н. Т. ЕФИМОВ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАЧАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПАРА КРУПНЫХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

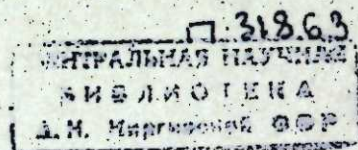
Начальные параметры паротурбинной установки относятся к числу основных факторов, определяющих эффективность сооружения мощных конденсационных электростанций. От правильного выбора начального давления и начальной температуры пара зависят как удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию, так и удельные капитальные затраты на сооружение электростанции.

С точки зрения термодинамики повышение начальных параметров пара всегда целесообразно, так как оно дает увеличение коэффициента полезного действия энергетической установки. Максимальные значения давлений и температур, которые могут быть использованы в паровых циклах, лимитируются материалом, из которого сделан пароперегреватель котла.

Однако при рассмотрении вопроса о целесообразности введения в крупную энергетику новых, более высоких параметров пара необходимо учитывать не только термодинамическую и техническую стороны вопроса, но и уделять большое внимание технико-экономическому обоснованию выгоды повышения параметров пара. Принимаемые к внедрению начальные параметры пара должны определяться с учетом намеченного в семилетнем плане развития народного хозяйства СССР коренного изменения структуры топливно-энергетического баланса страны и, в частности, повышения доли районов дешевого топлива.

Если для районов дорогого топлива (северо-запад и центр Европейской части Союза) целесообразно строительство станций на сверхвысокие параметры пара, вплоть до требующих некоторого применения дорогих аустенитных сталей, то для районов дешевого топлива может оказаться достаточным применение перлитных сталей. В районах Центральной Сибири с исключительно дешевым топливом выбор оптимальных начальных параметров пара для электростанций приобретает особо важное значение в связи с намечаемой большой программой развития энергетики.

Основными базами топливоснабжения тепловых электростанций Центральной Сибири являются Канско-Ачинский и Кузнецкий бассейны. Практически неограниченные возможности строительства угольных разрезов и высокие технико-экономические показатели добычи углей в Канско-Ачинском бассейне [1] создают благоприятные условия для концентрации конденсационной мощности. По данным Центрогипрошахта [2], при разработке только первоочередных участков Назаровского, Итатского, Боготольского, Ирша-Бородинского и Абанского месторождений, обладающих наилучшими показателями, можно довести ежегодную добычу угля в бассейне до 110—120 млн. т условного топлива при рас-



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401.

четных затратах* 1,5—2,5 руб. на добычу 1 т условного топлива. Вблизи каждого из указанных месторождений имеется возможность сооружения одной или нескольких конденсационных электростанций мощностью до 2,5—4 млн. квт. Угли открытых разработок Кузнецкого бассейна имеют несколько худшие экономические показатели (расчетные затраты на добычу 1 т у. т. составляют 4,5—5,0 руб.), поэтому их использование на новых электростанциях в районе Кузбасса будет ограниченным.

Для определения оптимальных начальных параметров пара мощных конденсационных электростанций в районах дешевого топлива необходимо детально сравнить технико-экономические показатели турбин, котлов и другого оборудования блоков одинаковой мощности, рассчитанных на ряд вариантов начальных параметров пара. Как известно, изменение начальных параметров пара связано с изменением капитальных затрат на котлоагрегат, турбину, трубопроводы и другое оборудование блока, а также с изменением тепловой экономичности блока. Важным условием правильного выбора оптимального варианта начальных параметров пара является достаточная обоснованность методики оценки этих величин в сравниваемых вариантах и приведения последних к одинаковому энергетическому эффекту.

В настоящей статье изложены методика и результаты выполненных в 1960—1961 гг. исследований по определению оптимальных начальных параметров пара мощных КЭС для условий Центральной Сибири. За основу принято, что котлоагрегат имеет одинаковый расход топлива во всех рассматриваемых вариантах начальных параметров пара. Если принять еще постоянной температуру уходящих газов и прямоточный бесепараторный тип котла, то будет одинаков и полезный отпуск тепла котлоагрегатом во всех вариантах. Расход пара вследствие неодинакового содержания в нем тепла и разных температур питательной воды, а также наличия или отсутствия промежуточного перегрева будет различным в рассматриваемых вариантах. При таком подходе обеспечивается неизменность оборудования: для получения, хранения и подачи топлива; для пылеприготовления и сжигания топлива; тяго-дутьевой установки котла; золоулавливания, золошлакоудаления и т. п. В то же время оборудование станции для подачи питательной воды, выработки пара в котле, передачи пара и использования его в турбинной установке будет изменяться. Различие в начальных параметрах пара, определяющее изменения термического к.п.д. цикла, внутреннего относительного к.п.д. турбины, к.п.д. вспомогательного оборудования, расхода электроэнергии на собственные нужды и т. д., приведет к разнице в полезной мощности блока. Для уравнивания рассматриваемых вариантов по мощности в качестве замещающей установки принимается дополнительная мощность конденсационной электростанции с агрегатами такого же типа и мощности. Указанная методика расчетов дает более точные результаты, чем обычно применяемая методика сравнения вариантов при одинаковой установленной мощности блока и разных расходах топлива на блок, так как исключает из рассмотрения целый ряд элементов, связанных с подачей, приготовлением, сжиганием топлива и удалением продуктов его сгорания, оценка приращения стоимости которых может быть сделана лишь весьма приближенно.

В работе рассмотрены четыре варианта начальных параметров пара, наиболее вероятных для станций в районах дешевого топлива:

* Расчетные затраты на 1 т у. т. представляют собой сумму себестоимости 1 т у. т. и отчислений, получающихся путем деления капитальных затрат для добычи 1 т у. т. в год на нормативный срок их окупаемости.

- 1) 90 ата 535° С без промежуточного перегрева;
- 2) 130 ата 565° С с промежуточным перегревом до 565° С;
- 3) 240 ата 565° С с промежуточным перегревом до 565° С;
- 4) 240 ата 580° С с промежуточным перегревом до 565° С.

Расчеты выполнены для трех значений единичных мощностей блоков: 200, 400 и 600 Мвт, которые почти полностью охватывают диапазон единичных мощностей конденсационных блоков, возможных к установке в ближайшие 10—15 лет. При проведении этих расчетов выдержано условие соизмерности рассматриваемых вариантов, т. е. коэффициенты полезного действия, коэффициенты запаса, степень недогрева, запас прочности и т. п. принимались по одной определенной методике во всех случаях. В то же время в каждом варианте отдельные определяющие его параметры и схемы включения основных элементов принимались наилучшими для этого варианта. Последнее относится к выбору конечных параметров турбинной установки, температуры питательной воды, числа регенеративных отборов, типа привода питательного насоса, конструкции части низкого давления турбины и т. п. Все расчеты выполнены для полной нагрузки блока.

Для определения удельного расхода тепла на отпущенный киловатт-час как основного показателя тепловой экономичности в работе проделаны детальные расчеты тепловых схем блоков мощностью 200, 400 и 600 Мвт. При составлении тепловой схемы блока 200 Мвт на начальные параметры пара 130 ата 565/565° С были использованы материалы Ленинградского металлического завода по турбине ПВК-200. Расчетная схема noticeably отличается от схемы, принятой заводом. Тепловые схемы блоков 200 Мвт на параметры 90 ата 535° С, 240 ата 565/565° С и 240 ата 580/565° С по сравнению с тепловой схемой блока с турбиной ПВК-200 имеют следующие особенности:

а) блок на параметры пара 90 ата 535° С: отсутствует промежуточный перегрев пара; подогревателей низкого давления три, часть низкого давления турбины имеет три выхлопа в конденсатор;

б) блоки на параметры пара 240 ата 565/565° С и 240 ата 580/565° С: подогревателей высокого давления четыре.

Главной особенностью тепловых схем блоков мощностью 400 Мвт в отличие от блоков мощностью 200 Мвт является паровой привод питательного насоса, принятый во всех вариантах начальных параметров пара для блоков мощностью 400 и 600 Мвт, так как он имеет существенные преимущества по сравнению с электроприводом при переходе к большим мощностям блоков. Приводная турбина включена параллельно цилиндру среднего давления главной турбины.

В связи с большими расходами пара в конденсатор для блока мощностью 400 Мвт на 90 ата 535° С и стремлением сохранить одновальную конструкцию турбоагрегата турбина в этом варианте рассчитана на более высокое конечное давление и большую потерю с выходной скоростью последней ступени (табл. 1), что в условиях Сибири экономически оправдывается [1].

Повышение мощности турбоагрегата до 600 Мвт вызывает необходимость применения двухвальной установки. Число цилиндров возрастает, соответственно увеличивается количество выхлопов в конденсатор. Принимается, что оба вала турбины работают со скоростью 3000 об/мин.

В расчетах учитывались особенности тепловых схем различных вариантов. Внутренние относительные к.п.д. отдельных частей главной турбины определялись по методике фирмы «Дженерал электрик» с поправкой на число оборотов [3]. Согласно этой методике, расход тепла на турбину одинаков во всех вариантах начальных параметров пара, при-

Таблица 1

Показатели	Блок мощностью 200 Мвт			Блок мощностью 400 Мвт			Блок мощностью 600 Мвт		
	90 535	130 565 565	240 580 565 260 0,035 9,3 12340	90 535	130 565 565	240 580 565 260 0,035 9,3 33960	90 535	130 565 565	240 580 565 260 0,035 9,3 23930
Начальное давление пара, ата	90	130	240	90	130	240	90	130	240
Начальная температура пара, °С	535	565	580	535	565	580	535	565	580
Температура промежуточн. перегрева, °С	—	565	565	—	565	565	—	565	565
Температура питательной воды, °С	215	240	260	215	240	260	215	240	260
Конечное давление пара, ата	0,035	0,035	0,035	0,040	0,035	0,035	0,040	0,035	0,035
Потери с выходной скоростью, ккал/кг	6,6	9,3	8,6	9,2	9,3	8,6	9,2	9,3	8,6
Увеличение отпущенной мощности блока, кгт	0	0	7310	0	0	16360	0	0	3700
Увеличение отпущенной мощности блока, ка, кгт	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Снижение удельного расхода тепла на отпущенный киловатт-час, %	0	6,1	3,4	0	8,0	3,55	0	7,4	3,55
Снижение удельного расхода тепла на отпущенный киловатт-час, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0

чем изменение тепловой экономичности турбины сказывается прежде всего на ее электрической мощности. Для определения полезной мощности блока была рассчитана мощность механизмов собственных нужд: питательных, циркуляционных и конденсатных насосов. Конечным этапом расчета явилось определение изменения удельных расходов тепла на отпущенный киловатт-час (см. табл. 1).

Как видно из результатов расчета (см. табл. 1), переход от параметров пара 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С снижает удельный расход тепла по блоку на 6,1—8,0%. При этом эффект от повышения начальных параметров составляет 6,9—7,3%, а остальное (т. е. снижение экономичности на 0,8% и повышение экономичности на 0,7%) связано с различием в конечных параметрах установки. Дальнейшее повышение начального давления пара со 130 до 240 ата при неизменной температуре пара (565/565°С) увеличивает экономичность на 3,4—3,55%. Повышение температуры свежего пара с 565°С до 580°С при давлении 240 ата дает дальнейший рост экономичности на 0,5—0,55%. Суммарное снижение удельного расхода тепла при переходе от начальных параметров пара 130 ата 565/565°С к 240 ата 580/565°С составляет 3,9—4,1%, а с учетом разницы в конечных параметрах 3,7—4,0%.

Институт Теплоэлектропроект в своих расчетах оптимальных начальных параметров пара [4, 5] приводит следующие цифры: удельный расход условного топлива на отпущенный киловатт-час снижается на 11,2% при переходе от 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С для блока мощностью 100 Мвт и на 7,1% при переходе от 130 ата 565/565°С к 240 ата 580/565°С для блока мощностью 200 Мвт. Как видно, значения, взятые Теплоэлектропроект, на

50—75% превышают средние значения, полученные в наших расчетах. В значительной степени столь существенное расхождение объясняется несопоставимостью принятых Теплоэлектропроект исходных данных по экономичности оборудования. Так, в проекты паровых турбин, выполненные заводами с большим разрывом во времени, заложены разные данные по к.п.д. проточной части. В более поздних проектах паровых турбин на повышенные и сверхвысокие начальные параметры пара заводы исходили из более высоких к.п.д. проточной части. Например, к.п.д. части среднего давления турбин увеличен с 87,2% для турбины ПВК-200 до 89,5% для турбины СВК-300, хотя увеличение мощности при достаточно длинных соплах и лопатках части среднего давления не столь значительно влияет на изменение к.п.д. Аналогично к.п.д. котлоагрегатов для блоков одинаковой мощности на разные начальные параметры пара имеют расхождения, достигающие 2,5%, а к.п.д. теплового потока — расхождения до 1%. Нам представляется методически правильным при выборе оптимальных начальных параметров пара исходить из одинакового совершенства выполнения оборудования во всех сравниваемых вариантах.

Переход к более высоким начальным параметрам пара связан с утяжелением и утяжелением тепломеханического оборудования, с необходимостью применять более дорогие высоколегированные стали, а в конечном счете — с удорожанием блока.

Изменение стоимости котлоагрегата при различных начальных параметрах пара определено путем тепловых, механических и экономических расчетов котлоагрегата. За основу был принят котлоагрегат Подольского завода ПК-33 производительностью 640 т/час на параметры пара 140 ата 570/570°С с П-образной компоновкой. Во всех рассматриваемых вариантах начальных параметров котлоагрегат состоит из одних и тех же основных элементов, и только в варианте начальных параметров пара 90 ата 535°С отсутствует промежуточный пароперегреватель.

Определение величины поверхностей нагрева котлоагрегата показало, что с повышением начальных параметров пара испарительная поверхность котлоагрегата уменьшается, а пароперегревательная увеличивается. Последнее связано с возрастанием расхода тепла на перегрев пара.

Как показали расчеты, при повышении начальных параметров пара происходит постепенное вытеснение углеродистой стали перлитными и аустенитными сталями. Так, если в варианте начальных параметров пара 90 ата 535°С вес стали Ст. 20 составляет около 82% от веса испарительных и перегревателей поверхностей нагрева, то в варианте на 240 ата 580/565°С он равен 64%.

При определении капиталовложений в котлоагрегат во всех рассматриваемых вариантах начальных параметров пара в пределах точности производимых расчетов допущено равенство затрат на каркас, обмуровку, футеровку, горелки и прочие элементы котлоагрегата, не зависящие от изменения параметров пара. Затраты же на арматуру, гарнитуру и другие элементы, зависящие от параметров пара, но не определенные прямым путем, учитываются введением 10-процентной поправки от суммы затрат по котлоагрегату. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Одним из наиболее ответственных и дорогих элементов паросиловой установки является главный паропровод от котла к турбине. Переход к более высоким параметрам пара вызывает необходимость применения более качественных сталей для трубопроводов блока, что неизбежно ведет к повышению капитальных затрат. Расчеты показали, что при изготовлении паропровода на параметры пара 90 ата 535°С и 130 ата

Таблица 2

Технико-экономические показатели сопоставления блоков при переходе на более высокие начальные параметры пара

Наименование величин	Переход от 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С для блоков мощностью, Мвт			Переход от 130 ата 565/565°С к 240 ата 580/565°С для блоков мощностью, Мвт			Переход от 240 ата 580/565°С к 240 ата 580/565°С для блоков мощностью, Мвт		
	200	400	600	200	400	600	200	400	600
	I. Дополнительные затраты, руб/квт, по:								
котлоагрегату	0,81	0,80	0,80	1,47	1,47	1,47	0,42	0,42	0,42
турбине	1,01	0,64	0,49	0,49	0,31	0,24	0,18	0,12	0,09
генератору	0,21	0,20	0,24	0,15	0,085	0,11	0,02	0,015	0,02
трубопроводам	0,45	0,45	0,41	0,27	0,27	0,27	0,13	0,13	0,13
питательным насосам	0,19	0,22	0,21	0,44	0,51	0,47	0,01	0,01	0,01
регенеративной установке	0,03	0	0	0,19	0,19	0,19	0	0	0
химводоочистке	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07	0,06	0	0	0
конденсатору	0,06	-0,07	-0,06	-0,035	-0,035	-0,035	-0,005	-0,005	-0,005
системе водоснабжения	-0,08	0,14	0,13	-0,045	-0,035	-0,035	-0,005	-0,005	-0,005
Всего с добавкой в раз- мере 10% на неучтенные затраты, руб/квт	2,86	2,66	2,48	3,30	3,14	3,01	0,82	0,75	0,73
II. Уменьшение капитальных затрат в ре- зультате экономии стоимости выте- сняемой мощности, руб/квт	4,05	4,80	4,15	2,28	2,33	2,10	0,34	0,34	0,30
III. Суммарное изменение капитальных за- трат по блоку с учетом стоимости вы- тесняемой мощности, руб/квт	-1,19	-2,14	-1,67	+1,02	+0,81	+0,91	+0,48	+0,41	+0,43
IV. Годовая экономия топлива, т у. т./год	30200	78400	108700	16650	33200	47800	2400	5100	7420
V. Минимальные расчетные затраты на топливо, при которых экономически оправдывается переход к более высо- ким параметрам пара, руб/т у. т.	0	0	0	4,45	3,7	2,8	12,1	9,75	10

565°С можно ограничиться применением перлитной стали марки 12 ФМФ. Исходя из условия применения только перлитных сталей, в качестве материала для паропровода на параметры 240 ата 565°С и 240 ата 580°С принята сталь 15 Х1М1Ф. Вследствие допущения низких напряжений при температурах 565 и 580°С паропровод, изготовленный из этой стали, по условиям прочности должен иметь толщину стенки, равную соответственно 49 и 62 мм при внутреннем диаметре 178 мм. Это требует установки специальных сверленных труб, сложных в изготовлении и имеющих высокую стоимость. Итоговые данные по увеличению капитальных затрат трубопроводы блока (острого пара, промежуточного перегрева, питательным) приведены в табл. 2.

Изменение стоимости паровых турбин при переходе от 130 ата 565/565°С к 240 ата 580/565°С и 240 ата 580/565°С определяется в основном разницей в стоимости цилиндров высокого давления турбины и систем подвода острого пара к турбине. Температура пара перед частью среднего давления во всех вариантах одинакова (565°С), а поэтому, несмотря на некоторую разницу в значениях давления пара перед частью среднего давления, существенного различия в выполнении цилиндров среднего давления и цилиндров низкого давления не будет. При переходе от 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С, кроме увеличения стоимости цилиндра высокого давления, имеет место значительное различие в выполнении, а следовательно, и в стоимости среднего давления. Усложнение цилиндра среднего давления в варианте начальных параметров пара 130 ата 565/565°С вызвано подводом пара с высокой температурой к цилиндру после промежуточного перегрева в котле.

Изменения в стоимости котлоагрегата, трубопроводов и турбины наиболее существенны при повышении начальных параметров пара; кроме того, увеличиваются капитальные затраты и в ряде других элементов: в генераторе из-за повышения установленной мощности установки; в питательных насосах из-за повышения давления питательной воды; в подогревателях регенеративной установки из-за изменения их числа, расхода пара и давления питательной воды; в химводоочистке из-за изменения требований к качеству добавочной воды; в конденсаторе и системе водоснабжения из-за уменьшения расхода пара в конденсатор. Отнесенные на 1 квт установленной мощности, эти изменения капитальных затрат приведены в табл. 2, из которой видно, что для блока с постоянной теплопроизводительностью котлоагрегата переход от параметров пара 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С повышает стоимость установленного киловатта на 2,48—2,86 руб/квт, а переход от 130 ата 565/565°С к параметрам пара 240 ата 580/565°С — на 3,01—3,30 руб/квт. Дальнейшее повышение температуры свежего пара на 15°С при давлении 240 ата увеличивает стоимость установленного киловатта еще на 0,73—0,82 руб/квт.

В табл. 3 для блока мощностью 200 Мвт приведено относительное увеличение капитальных затрат на элементы КЭС, зависящие от начального давления пара. Из этой таблицы видно, что переход к более высоким начальным параметрам пара весьма существенно сказывается на стоимости оборудования, особенно котлов, турбин, питательных насосов и трубопроводов.

После приведения рассматриваемых вариантов к одинаковому энергетическому эффекту (к одинаковой отпущенной мощности) оказывается, что указанное удорожание установленного киловатта мощности компенсируется значительной экономией капитальных затрат, получаемой в результате вытеснения дополнительной мощностью в варианте с более высокими начальными параметрами пара (см. табл. 1) такой же мощ-

ности на других станциях системы. Суммарное изменение капитальных затрат по блоку с учетом стоимости вытесняемой мощности (см. табл. 2) получилось отрицательным при переходе к параметрам пара 130 ата 565/565°С и положительным при переходе к 240 ата 580/565°С. Это означает, что переход от 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С является наиболее эффективным, т. е. дает не только эконо-

Таблица 3

Увеличение капиталовложений на элементы электростанции, зависящие от начальных параметров пара, в процентах от полной их стоимости для блока мощностью 200 Мвт

Затраты, %	Переход от 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С	Переход от 130 ата 565/565°С к 240 ата 580/565°С
1. По элементам котла, находящимся под давлением (без экономайзера)	30	58
2. В целом по котлу	14	31
3. По турбине	30	16
4. По трубопроводам	73	40
5. По питательным насосам	41	74
В среднем по п.п. 2—5	24	29
6. По генератору	5,5	5
7. По регенеративной установке	6,5	54
8. По химводоочистке	64	61
9. По конденсатору	— 7	— 5
10. По системе водоснабжения	— 4	— 2,5
В среднем по п.п. 2—10	15,5	22

мию топлива, но и экономии капитальных затрат. Переход же к параметрам пара 240 ата 580/565°С и 240 ата 565/565°С требует дополнительных капиталовложений, и целесообразность его должна определяться получаемой при этом экономией топлива.

По данным Теплоэлектропроекта, переход к рассматриваемым более высоким начальным параметрам пара во всех случаях требует дополнительных вложений: в размере 2,0 руб/квт для блока мощностью 100 Мвт при переходе от 90 ата 535°С к 130 ата 565/565°С и в размере 5,0 руб/квт для блока мощностью 200 Мвт при переходе от 130 ата 565/565°С к 240 ата 580/565°С. Как видно, и здесь имеется значительное расхождение между полученными нами результатами (см. табл. 2) и данными Теплоэлектропроекта. Причина расхождения та же, что и при оценке энергетического эффекта — несопоставимость использованных Теплоэлектропроектом проектов на основное тепломеханическое оборудование, выполненных с разрывом в несколько лет. Для иллюстрации этого укажем, что удельный расход аустенитной стали (кг/квт) в проектах котлов для блоков с параметрами пара 130 ата 565/565°С в два раза выше, чем в проектах котлоагрегатов для блоков на 240 ата 580/565°С [6].

Минимальные расчетные затраты на топливо, при которых экономически оправдывается удорожание оборудования при переходе к параметрам пара 240 ата 565/565°С и 240 ата 580/565°С, найдены с исполь-

зованием формулы определения срока окупаемости дополнительных капиталовложений

$$\tau = \frac{\Delta K}{\Delta T}$$

где ΔK — дополнительные капиталовложения для варианта, рассчитанного на более высокие начальные параметры пара (руб.);

ΔT — уменьшение годовых текущих расходов для варианта, рассчитанного на более высокие начальные параметры пара (руб.);

τ — срок окупаемости дополнительных капиталовложений.

Величины ΔK и ΔT можно выразить следующим образом:

$$\Delta K = \Delta K_{ст} - \Delta N_{уст} \cdot \bar{k}_{уст} - \Delta B \cdot \bar{k}_{доб};$$

$$\Delta T = \Delta B \cdot c_{\tau} - a_{ст} \cdot \Delta K_{ст} + a_{уст} \cdot \Delta N_{уст} \cdot \bar{k}_{уст},$$

где $\Delta K_{ст}$ — дополнительные капиталовложения в станцию, рассчитанную на более высокие начальные параметры пара (руб.);

$\Delta N_{уст}$ — увеличение отпущенной мощности станции, рассчитанной на более высокие начальные параметры пара (квт);

$\bar{k}_{уст}$ — удельная стоимость вытесняемой мощности (руб/квт);

ΔB — ежегодная экономия топлива на станции, рассчитанной на более высокие начальные параметры пара (т у. т.);

c_{τ} — себестоимость одной тонны условного топлива (руб/т у. т.);

$a_{ст}$ — доля отчислений на амортизацию и ремонт по элементам станции, зависящим от изменения начальных параметров пара;

$a_{уст}$ — доля отчислений на амортизацию и ремонт по электростанции в целом;

$\bar{k}_{доб}$ — удельные капиталовложения в добычу топлива (руб/т у. т. год).

Подставив выражение величин ΔK и ΔT в приведенную выше формулу и произведя элементарные преобразования, получим:

$$c_{\tau} + \frac{\bar{k}_{доб}}{\tau} = \frac{(1 + a_{ст} \cdot \tau) \cdot \Delta K_{ст} - (1 + a_{уст} \cdot \tau) \cdot \Delta N_{уст} \cdot \bar{k}_{уст}}{\Delta B \cdot \tau},$$

но

$$c_{\tau} + \frac{\bar{k}_{доб}}{\tau} = c_{рз},$$

где $c_{рз}$ — расчетные затраты на одну тонну условного топлива.

При значениях $\tau=8$ годам, $a_{ст}=12\%$ и $a_{уст}=7,8\%$ найденные минимальные расчетные затраты на топливо приведены в табл. 2, из которой видно, что в зависимости от мощности блока переход к параметрам пара 240 ата 565/565°С окупается при расчетных затратах на топливо выше 2,8—4,45 руб/т у. т., а переход к параметрам пара 240 ата 580/565°С выше 9,75—12,1 руб/т у. т.

Если учесть, что расчетные затраты на топливо в Канско-Ачинском бассейне составляют 1,8—2,5 руб/т у. т., а в дальнейшем будут еще меньше ($\sim 1,2$ —1,8 руб/т у. т.), то станет очевидным, что применение оборудования с начальными параметрами пара 240 ата 580/565°С на электростанциях в районе Канско-Ачинского бассейна экономически не оправдывается. Больше того, стоимость сэкономленного за год топлива оказывается ниже суммы отчислений на амортизацию и ремонт от дополнительных вложений в оборудование. Так, например, для электростанции мощностью 2400 Мвт, работающей на угле, с расчетными затратами

2 руб/т у. т. установка оборудования с начальными параметрами пара 240 ата 580/565°С дает увеличение приведенных строительно-эксплуатационных расходов на 700—800 тыс. руб. в год. Тем самым дополнительные капиталовложения в оборудование при переходе к параметрам пара 240 ата 580/565°С по сравнению с вариантом 130 ата 565/565°С приводят к некоторому повышению себестоимости отпускаемой электроэнергии.

Вывод о нецелесообразности применения для конденсационных электростанций в условиях Центральной Сибири оборудования с начальными параметрами пара 240 ата 580/565°С, полученный для существующего соотношения цен топлива и металла, сохранит свою силу и на перспективу даже при весьма значительном снижении цен на металл и, в частности, на высоколегированные стали. Это следует из того, что минимальные расчетные затраты на топливо, при которых рационально применение начальных параметров пара 240 ата 580/565°С, в несколько раз превышают перспективные расчетные затраты на топливо в Канско-Ачинском бассейне.

Применение начальных параметров пара 240 ата 565/565°С в условиях Центральной Сибири в настоящее время также экономически не оправдывается. В перспективе оно могло бы стать целесообразным для очень мощных блоков только при значительном снижении стоимостей мало- и среднелегированных сталей. Однако нет оснований ожидать резкого снижения стоимости хорошо освоенных в настоящее время промышленностью сталей. Кроме того, стоимость добычи топлива в перспективе также будет снижаться. Таким образом, параметры пара 240 ата 565/565°С и в перспективе будут либо менее экономичными по сравнению с параметрами пара 130 ата 565/565°С, либо равноэкономичными. А поскольку их применение требует дополнительных начальных капиталовложений и усложняет ввод оборудования в нормальную эксплуатацию, то очевидно, что установка оборудования на параметры пара 240 ата 565/565°С нецелесообразна.

Между тем планы выпуска энергетического оборудования не учитывают существенной разницы в стоимости топлива в различных районах СССР. В текущем семилетии и после 1965 г. намечен выпуск блочного оборудования для крупных конденсационных электростанций на следующие начальные параметры пара:

130 ата 565/565°С — блоки мощностью 100, 150 и 200 Мвт;

240 ата 580/565°С — блоки мощностью 300, 500 и 800 Мвт.

По условиям развития энергосистем Центральной Сибири в период 1960—1965 гг. наращивание конденсационных мощностей будет происходить путем установки турбоагрегатов единичной мощностью 150, 200 и 300 Мвт, что предопределяет применение оборудования на 130 ата 565/565°С для блоков первых двух мощностей и на 240 ата 580/565°С для блоков мощностью 300 Мвт. После 1965 г. в Единой Энергетической Системе Центральной Сибири создадутся условия для установки агрегатов единичной мощностью 500—800 Мвт. В этот период предполагается наращивать мощности путем установки блоков в 500 и 800 Мвт на начальные параметры пара 240 ата 580/565°С. Подобная практика, когда на электростанциях в районах с очень дешевым топливом и в районах с дорогим топливом устанавливается однотипное оборудование, рассчитанное, как правило, на сжигание дорогого топлива, не может быть признана правильной. Тем более, что это относится к установке не отдельных агрегатов, а большого числа блоков суммарной мощностью в несколько миллионов киловатт. Выпуск оборудования для блоков мощностью 300—800 Мвт на более низкие начальные параметры пара для

районов с дешевым топливом даст существенное снижение затрат высоколегированных сталей и приведет к повышению надежности работы оборудования.

Зарубежная практика подтверждает необходимость выпуска энергетического оборудования, рассчитанного на различные начальные параметры пара в зависимости от стоимости сжигаемого топлива. Так, в США, где цена на топливо в разных районах имеет более чем трехкратный диапазон изменения, крупнейшие турбостроительные фирмы «Дженерал электрик» и «Вестингауз» выпускают в настоящее время и намечают на ближайшие 10 лет выпуск турбоагрегатов с двумя, тремя и четырьмя различными начальными параметрами пара для всех единичных мощностей блоков — от 100 до 800 Мвт [7 и 8].

Выводы

1. В районах Центральной Сибири с исключительно дешевым топливом экономически не оправдывается установка энергетического оборудования на закритические начальные параметры пара 240 ата 580/565°С и 240 ата 565/565°С, так как это приводит не только к росту первоначальных капиталовложений, но и к некоторому увеличению приведенных строительно-эксплуатационных расходов, а следовательно, и к повышению себестоимости отпускаемой электроэнергии.

2. На крупных конденсационных электростанциях в районах Центральной Сибири целесообразна установка энергетического оборудования на начальные параметры пара 130 ата 565/565°С. Выпуск энергетического оборудования для блоков мощностью 300, 500 и 800 Мвт на начальные параметры пара 130 ата 565/565°С при значительных масштабах строительства тепловых конденсационных электростанций позволит сократить затраты на изготовление оборудования и ускорить ввод его в надежную эксплуатацию.

Энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутск

Поступила в редакцию
4/VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. С. Попырин. Выбор оптимальных конечных параметров и единичных мощностей турбин крупных конденсационных электростанций в условиях Центральной Сибири. Изв. СО АН СССР, № 2, 1961.
2. Перспективы открытой добычи угля в СССР. Под ред. Н. В. Мельникова. Углетехиздат, 1958.
3. А. В. Щегляев. Паровые турбины. Госэнергоиздат, 1955.
4. Теплоэлектропроект. Техничко-экономические показатели крупных тепловых конденсационных электростанций. Госэнергоиздат, 1958.
5. В. Г. Жилин. Техничко-экономические показатели мощных конденсационных электростанций. Электрические станции, № 9, 1959.
6. В. С. Патыченко, И. Н. Гольденфарб, Л. А. Островский. Новый мощный паровой котел ТПП-110 на закритические параметры пара. Энергомашиностроение, № 8, 1960.
7. H. R. Reese. Westinghouse Engineer, vol. 19, № 4, July 1959.
8. E. H. Miller, B. M. Cain. Combustion, June 1959.

Ю. К. БРЕЗЕ

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НА ПОВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В «МАЛОМ»

1. Постановка задачи

В качестве примера электромеханической системы рассматривается система, состоящая из генератора постоянного тока параллельного возбуждения, питающего активно-индуктивную нагрузку. Этот вид нагрузки является наиболее характерным для данного типа генератора, широко представленного в электротехнической практике.

Часто этот вид генератора применяется в качестве возбудителя и подвозбудителя синхронных генераторов и синхронных двигателей. В системах автоматизированного электропривода такие генераторы применяются в качестве возбудителей генераторов и двигателей постоянного тока в системах генератор — двигатель с небольшим диапазоном регулирования скорости. Наряду с наиболее распространенными в последние годы электромашинными усилителями с поперечным полем применяются электромашинные усилители с параллельным самовозбуждением.

Кроме того, данный вид генератора является основным источником электрической энергии для самолетов.

В случае указанного характера нагрузки в рассматриваемой системе при определенных условиях возможно возникновение автоколебаний.

Для систем, основным режимом которых является работа в области устойчивого состояния равновесия, автоколебательный режим будет ненормальным и даже аварийным, но иногда он может быть использован и как основной рабочий режим (автоколебательный привод, вибрационные системы и т. д.).

В обоих случаях ставится задача определения автоколебаний. Известно, что частота и амплитуда автоколебаний зависят от параметров системы. Меняя их, можно добиться желаемых значений амплитуды и частоты (для систем второго рода) или выделить ту область параметров, где автоколебаний нет (для систем первого рода). В последнем случае надо найти область устойчивого состояния равновесия системы, а затем определить границу возникновения автоколебаний [1].

Вопросу влияния параметров на характер состояний равновесия системы и посвящена настоящая статья.

2. Основные зависимости и характер состояний равновесия

Рассматриваемая система является существенно нелинейной с одной степенью свободы, в которой за независимые переменные целесообразно принять ток возбуждения i_b и ток нагрузки i_n .

Учет всех причин, влияющих на характеристику холостого хода и внешнюю характеристику, привел бы к излишнему усложнению, поэтому введем следующие упрощения.

1. Пренебрежем влиянием вихревых токов.
2. Пренебрежем взаимной индуктивностью между обмотками якоря и возбуждения.
3. Будем считать сопротивление якорной цепи, состоящее из сопротивлений обмотки якоря и щеточного контакта, постоянным.
4. Положим, что щетки генератора установлены на геометрической нейтрали и генератор имеет дополнительные полюсы.
5. Предположим, что сопротивление контура возбуждения остается постоянным.

В силу первых двух допущений поведение генератора в динамике определяется его «статическими» характеристиками; естественно, что они будут отличаться от «динамических» характеристик, но такая идеализация в первом приближении намного упрощает анализ.

Придерживаясь общепринятых обозначений, опишем динамику рассматриваемой системы следующими уравнениями:

$$e_r(i_b) = r_n \cdot i_a + r_b i_b + L_a(i_a) \frac{di_a}{dt} + L_b(i_b) \frac{di_b}{dt}, \quad (1)$$

$$e_r(i_b) = r_a \cdot i_a + r_n i_n + L_a(i_a) \frac{di_a}{dt} + L_n(i_n) \frac{di_n}{dt}, \quad (2)$$

$$i_a = i_b + i_n, \quad (3)$$

где L_a , L_b и L_n — индуктивности якоря, цепи возбуждения и цепи нагрузки как нелинейные функции соответствующих им токов,

r_n , r_a и r_b — соответственно сопротивление нагрузки, сопротивление якорной цепи и цепи возбуждения.

После несложных преобразований на основе уравнений (1), (2) и (3) получим:

$$\frac{di_b}{dt} = \frac{L_b(i_b) e_r(i_b) + [L_a(i_a) r_b - L_n(i_n) r_a] i_b - [L_a(i_a) r_n + L_b(i_b) r_n + L_n(i_n) r_a] i_n}{L_a(i_a) L_n(i_n) + L_b(i_b) L_n(i_n) + [L_a(i_a) r_n + L_b(i_b) r_n + L_n(i_n) r_a] i_n} \quad (4)$$

$$\frac{di_n}{dt} = \frac{L_n(i_n) e_r(i_b) + [L_a(i_a) r_n - L_n(i_n) r_a] i_n - [L_a(i_a) r_n + L_n(i_n) r_a + L_n(i_n) r_n] i_b}{L_a(i_a) L_n(i_n) + L_b(i_b) L_n(i_n) + [L_a(i_a) r_n + L_n(i_n) r_a + L_n(i_n) r_n] i_b} \quad (5)$$

Как известно [2], одним из методов качественного исследования нелинейных систем является представление движения на фазовой плоскости. Из трех типов особых траекторий, характеризующих движение системы на фазовой плоскости, нас будут интересовать только особые точки, характеризующие устойчивые и неустойчивые состояния равновесия системы.

Устойчивость состояний равновесия и характер особых точек могут быть исследованы по А. М. Ляпунову. Для исследования устойчивости состояний равновесия в «малом» произведем линеаризацию уравнений (4), (5).

Выражая величины e_r , i_b и i_n в переходном процессе через их значения в установившемся режиме и через отклонения от этих значений

$$e_r = e_{ry} + \Delta e_r, \quad i_b = i_{by} + \Delta i_b, \quad i_n = i_{ny} + \Delta i_n,$$

полагая, что в пределах малых отклонений параметры L_{ay} , L_{by} и L_{ny} постоянны и имеют значения L_{ay} , L_{by} и L_{ny} , соответствующие состоянию равновесия, разлагаем Δe_r в ряд Тейлора, ограничиваясь линейным членом последнего

$$\Delta e_r = \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y \Delta i_b$$

и вычитая из уравнений (4) и (5) соответствующие им уравнения установившегося режима, полученные из (4) и (5) приравниванием нулю правых частей, получим уравнения линейного приближения по А. М. Ляпунову:

$$\frac{d(\Delta i_a)}{dt} = a \Delta i_a + b \Delta i_b, \quad \frac{d(\Delta i_b)}{dt} = c \Delta i_a + d \Delta i_b \quad (6)$$

где

$$a = \frac{L_{ny} \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y - (L_{ay} r_b + L_{ny} r_a + L_{ny} r_b)}{L_{ay} L_{ny} + L_{by} L_{ny} + L_{ay} L_{ny}}, \quad b = \frac{L_{ay} r_b - L_{ny} r_a}{L_{ay} L_{ny} + L_{by} L_{ny} + L_{ay} L_{ny}},$$

$$c = \frac{L_{by} \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y + (L_{ay} r_b - L_{ny} r_a)}{L_{ay} L_{ny} + L_{by} L_{ny} + L_{ay} L_{ny}}, \quad d = - \frac{L_{ay} r_b + L_{by} r_b + L_{ay} r_a}{L_{ay} L_{ny} + L_{by} L_{ny} + L_{ay} L_{ny}} \quad (7)$$

Как известно [2], общее решение системы (6) имеет вид:

$$\Delta i_a = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}, \quad \Delta i_b = C_1 \chi_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 \chi_2 e^{\lambda_2 t};$$

здесь C_1, C_2 — постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий;

χ_1, χ_2 — коэффициенты распределения,

λ_1, λ_2 — корни характеристического уравнения системы.

В рассматриваемой системе в зависимости от характера корней характеристического уравнения возможны в общем случае 13 типов устойчивых и неустойчивых состояний равновесия, являющихся ее особыми точками.

3. Построение плоскостей параметров

Характер корней характеристического уравнения, а следовательно, и типы особых точек и состояний равновесия зависят от следующих параметров системы: $\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y$, L_{ny} , r_n , L_{by} , r_b , L_{ay} и r_a . Для выяснения характера особых точек при всех возможных сочетаниях параметров построим, следуя А. А. Андронову [2], 6 диаграмм разбиения плоскостей параметров схемы на области, каждая из которых соответствует определенному типу состояний равновесия, именно, разбиения плоскостей

$$L_{ny}, \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y; \quad L_{by}, \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y; \quad L_{ay}, \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y; \quad r_n, \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y; \quad r_b,$$

$$\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y; \quad r_a, \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y$$

При этом учитываем, что все перечисленные выше параметры могут принимать только положительные значения. Для построения первых трех диаграмм считаем все параметры системы постоянными, за исключением того параметра, влияние которого исследуется.

Построение диаграммы $\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y, L_{ny}$

Условия наличия комплексных корней характеристического уравнения можно записать в виде

$$4(ad - bc) > (a + d)^2 \quad (8)$$

Граница области комплексных корней определяется уравнением

$$4(ad - bc) = (a + d)^2$$

или

$$(a - d)^2 + 4bc = 0 \quad (9)$$

Подставив в это выражение значения коэффициентов a, d, c и b из (7), после некоторых преобразований имеем

$$L_{ny}^2 \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y^2 + 2 \left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y [L_{ny} L_{ay} r_n - L_{ny} L_{ay} r_b - L_{ny}^2 r_a - L_{ny}^2 r_b +$$

$$+ L_{ny} L_{by} r_n - L_{ny} L_{by} r_a + 2L_{by} L_{ay} r_n] + L_{ay}^2 (r_n + r_b)^2 + L_{ny}^2 (r_a + r_b)^2 +$$

$$+ L_{ny}^2 (r_n + r_a)^2 + 2L_{ny} L_{ay} (r_b^2 - r_n r_b - r_a r_b - r_a r_n) +$$

$$+ 2L_{ny} L_{by} (r_a^2 - r_n r_b - r_a r_b - r_a r_n) +$$

$$+ 2L_{ay} L_{by} (r_n^2 - r_n r_b - r_a r_b - r_a r_n) = 0, \quad (10)$$

откуда

$$\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_{y, 1, 2} = (r_a + r_b) - \frac{L_{ay}}{L_{ny}} (r_n - r_b) - \frac{L_{by}}{L_{ny}} (r_n - r_a) - 2r_n \frac{L_{ay} L_{by}}{L_{ny}} \pm$$

$$\pm 2 \sqrt{\frac{L_{ay}^2 L_{by}^2 r_n^2}{L_{ny}^4} + \frac{L_{ay} L_{by} r_n (r_n - r_b) + L_{ay} L_{by} r_n (r_n - r_a)}{L_{ny}^3} + \frac{L_{ay} + L_{by}}{L_{ny}} r_a r_b +$$

$$+ \frac{L_{ay} L_{by} (r_a r_b - r_n r_b - r_n r_a) - r_n (L_{ay}^2 r_b + L_{by}^2 r_a)}{L_{ny}^2}} \quad (11)$$

Уравнениям (11) соответствуют кривые 1, 2 на рис. 1, а. Область, ограниченная этими кривыми, является областью комплексных корней (область фокусов на фазовой плоскости).

Границей, отделяющей области устойчивых фокусов и узлов от неустойчивых, является кривая, определяемая из условия $a + d = 0$, из которого после подстановки значений для a и d имеем:

$$\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y = (r_a + r_b) + \frac{L_{ay}}{L_{ny}} (r_b + r_n) + \frac{L_{by}}{L_{ny}} (r_n + r_a) \quad (12)$$

Выражение (12) для данной диаграммы является уравнением гиперболы (кривая 3, рис. 1, а) с вертикальной $\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y$ и горизонтальной $\left(\frac{de_r}{di_b} \right)_y = r_a + r_b$ асимптотами. Эта граница является границей самовозбуждения колебаний в системе. Для определения точек пересечения кривых 1 и 3 решим совместно уравнения (11) и (12). После ряда преобразований, получим решение в виде:

$$L_{ny1} = 0, \quad L_{ny2} = \frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} + q}, \quad L_{ny3} = \frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} + q},$$

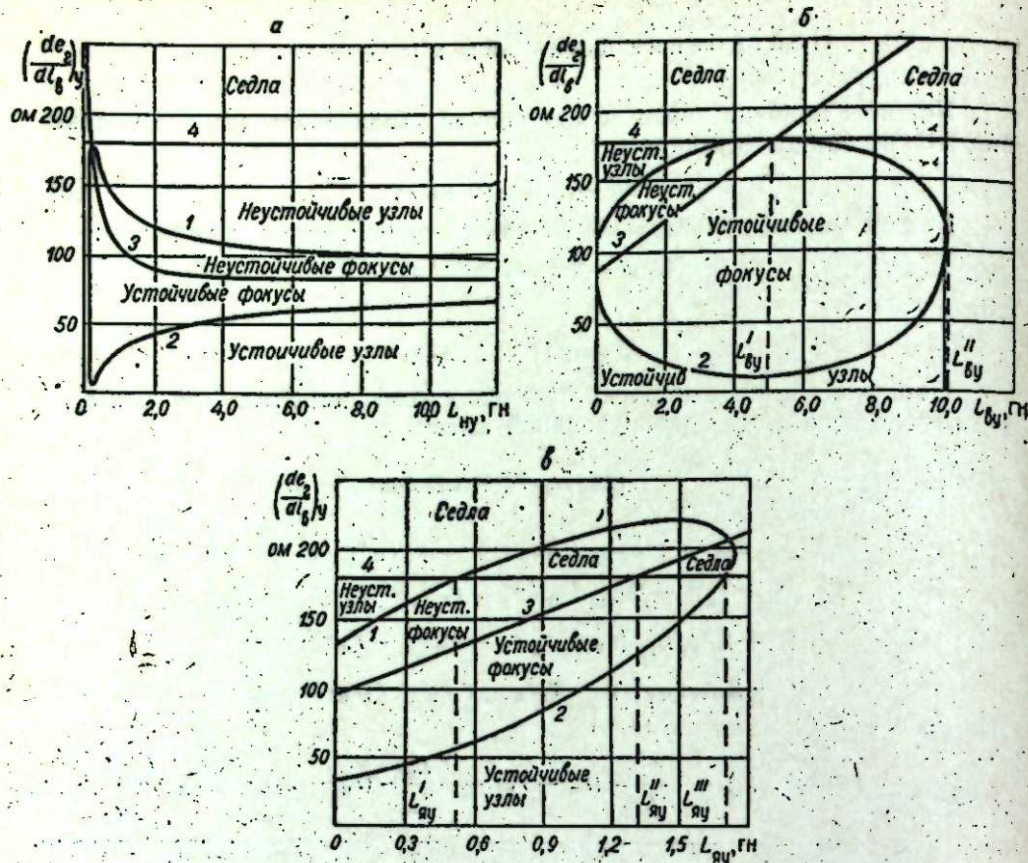


Рис. 1. Диаграммы разбиения плоскостей $(\frac{de_r}{dt_b})_y, L_{юу}; (\frac{de_r}{dt_b})_y, L_{ву}; (\frac{de_r}{dt_b})_y, L_{юу}$ на области

где:

$$p = \frac{r_n^2}{r_a r_b} (L_{юу} + L_{ву}) + \frac{r_n}{r_a} L_{юу} + \frac{r_n}{r_b} L_{ву} - \frac{L_{юу} L_{ву}}{(L_{юу} + L_{ву})}$$

$$q = L_{юу} L_{ву} \left[\frac{r_n^2}{r_a r_b} + \frac{r_n}{r_a} \frac{L_{юу}}{(L_{ву} + L_{юу})} + \frac{r_n}{r_b} \frac{L_{ву}}{(L_{юу} + L_{ву})} \right]$$

Из полученных трех корней реальным является только корень $L_{юу2}$, так как $L_{юу}$ не может иметь отрицательное значение, а при $L_{юу} = 0$ кривые 1 и 2 не существуют.

Узлы и фокусы, лежащие выше кривой 3, неустойчивы, лежащие ниже ее — устойчивы.

Границей области седел является прямая 4, определяемая уравнением

$$ad - bc = 0,$$

которое после ряда преобразований и подстановки значений коэффициентов приобретает вид

$$\left(\frac{de_r}{dt_b}\right)_y = \frac{r_n r_a + r_n r_b + r_a r_b}{r_n} \quad (13)$$

Очевидно, что область, лежащая выше прямой 4, определяемой уравнением (13), является областью седел. Кривая 3 разделяет эту

область на части, где имеют место седла при $a + d > 0$, $a + d = 0$ и при $a + d < 0$. Как данная, так и все последующие диаграммы построены в качестве примера для генератора МИ-32, № 3704, 0,18 квт, 60 в, 3,0 а, 2850 об/мин, $r_a = 6,4$ ом, $r_b = 44$ ом. Опыт и расчеты производились при $n_r = 1500$ об/мин, $r_n = 68$ ом, $r_n = 9,5$ ом, $r_a = 12$ ом. Кривые зависимости индуктивностей от токов определены экспериментально методом осциллографирования. При этом учтено, что индуктивность обмотки якоря зависит главным образом от тока возбуждения. Все расчеты произведены только для нисходящей ветви характеристики холостого хода.

Анализируя диаграмму рис. 1, а, можно заметить следующее: а) при малых значениях $L_{юу}$ и небольших значениях $(\frac{de_r}{dt_b})_y$ имеют место устойчивые особые точки (узлы и фокусы); б) увеличение $L_{юу}$ приводит к проявлению неустойчивых особых точек (узлов и фокусов); в) наличие особых точек типа седла не зависит от значений $L_{юу}$, а только от величины $(\frac{de_r}{dt_b})_y$ или, что то же, от скорости вращения генератора; г) при очень малых и нулевых значениях $L_{юу}$ в системе возможны только особые точки типа устойчивого узла и седла.

Построение диаграммы $(\frac{de_r}{dt_b})_y, L_{ву}$

Граница области комплексных корней, граница, отделяющая область устойчивых фокусов и узлов от неустойчивых, и граница седел определяются, как и в предыдущем случае, соответственно уравнениями (11), и (12) и (13) (см. рис. 1, б). В данном случае кривые 1 и 2, ограничивающие область комплексных корней, образуют замкнутую кривую типа эллипса, границей отделяющей области неустойчивых фокусов и узлов от устойчивых является прямая 3, а границей области седел по-прежнему является прямая 4, касающаяся кривой 1 в точке ее пересечения с прямой 3.

Из рис. 1, б следует, что при малых значениях $L_{ву}$ в зависимости от значений $(\frac{de_r}{dt_b})_y$ возможны все указанные выше типы особых точек, при увеличении $L_{ву}$ вероятность наличия в системе особых точек типа неустойчивого фокуса и узла, а также устойчивого узла уменьшается. При значениях $L_{ву}$, больших $L'_{юу}$, в системе возможны только особые точки типа устойчивого узла и фокуса, а также седла. При значениях же $L_{ву}$, больших $L''_{юу}$, возможны лишь особые точки типа устойчивого узла и седла, т. е. система ведет себя аналогично рассмотренному уже случаю при малых или даже нулевых значениях $L_{юу}$.

Построение диаграммы $(\frac{de_r}{dt_b})_y, L_{юу}$

Границы областей, определяемые приведенными выше уравнениями, показаны на рис. 1, в. Как и в предыдущем случае, кривые 1 и 2 образуют замкнутую кривую типа эллипса.

Как видно из рис. 1, в, при малых значениях $L_{юу}$ в системе возможны в зависимости от значений $(\frac{de_r}{dt_b})_y$ все указанные выше особые точки; при значениях же больших, чем $L_{юу}$, неустойчивые узлы исключаются. При значениях $L_{юу}$, больших, чем $L'_{юу}$, исключены также неустой-

чивые фокусы, а при $L_{ay} > L_{ay}$ в системе возможны лишь особые точки типа устойчивого узла и седла, т. е. мы получаем аналогичную с предыдущей диаграммой картину.

Построение диаграммы $(\frac{de_r}{dl_b})_y, r_n$

Если для предыдущих диаграмм построение велось при изменении одного исследуемого параметра и фиксированных значениях других, то для рассматриваемого случая расчеты намного сложнее. Это объясняется тем, что при изменении r_n меняются и другие параметры системы, как-то: L_{ny} из-за изменения тока нагрузки, L_{by} и L_{ay} из-за изменения тока возбуждения. Постоянными можно лишь считать r_n и r_b . Построение диаграммы произведено на рис. 2, а.

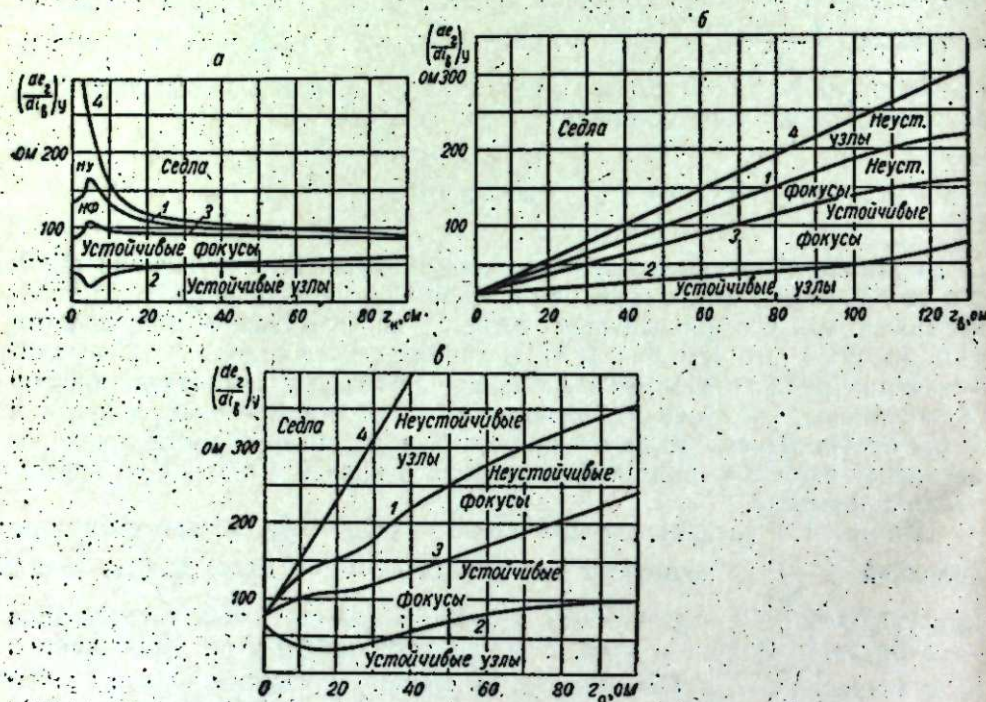


Рис. 2. Диаграммы разбиения плоскостей $(\frac{de_r}{dl_b})_y, r_n$; $(\frac{de_r}{dl_b})_y, r_b$; $(\frac{de_r}{dl_b})_y, r_n$ на области.

Как видно из рисунка, увеличение r_n приводит к сужению областей неустойчивых и устойчивых фокусов и неустойчивых узлов; при некотором значении r_n неустойчивые узлы вообще невозможны. Наличие максимумов в кривых 1, 2 и 3 можно объяснить нелинейным характером L_{by} и L_{ny} .

Построение диаграммы $(\frac{de_r}{dl_b})_y, r_b$

Построение этой диаграммы усложняется тем, что каждому значению r_b соответствует своя внешняя характеристика. Поэтому перед построением диаграммы необходимо было построить семейство внеш-

них характеристик для различных значений r_b (рис. 3). Построение проведено известным методом характеристического треугольника и пояснений не требует. Характеристики построены для скорости генератора $n_r = 1500$ об/мин, исходной является характеристика холостого хода $e_r = e_r(i_b)$ при параллельном возбуждении, построенная в правой части рис. 3 (точнее, это нагрузочная характеристика, когда током нагрузки является ток возбуждения).

В левой части рисунка построены соответствующие внешние характеристики $U_y(i_n)$ для различных значений r_b , здесь же построена характеристика нагрузки $U_y = r_n i_n$ при $r_n = const$. Точки пересечения внешних характеристик с характеристикой нагрузки соответствуют токам нагрузки данного состояния равновесия.

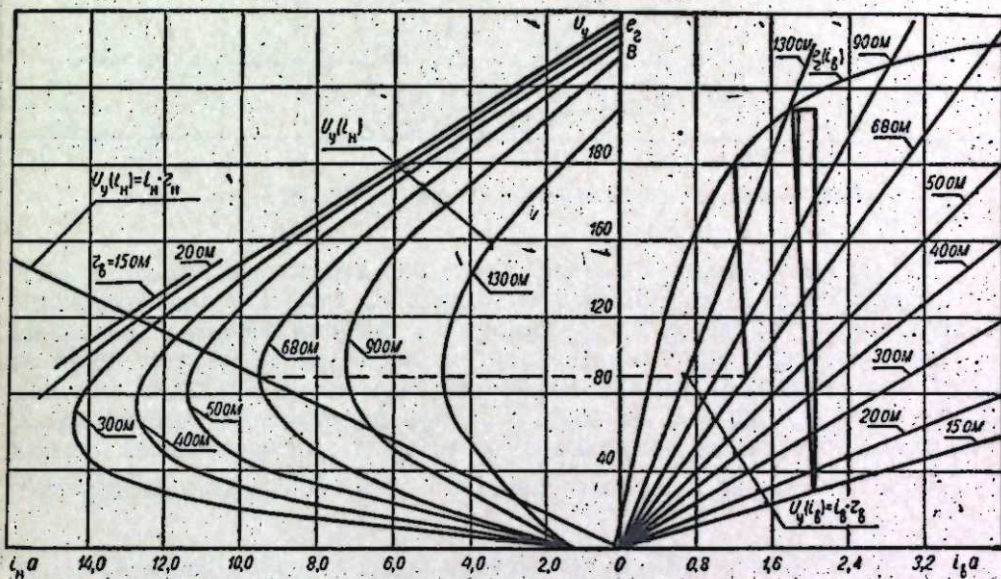


Рис. 3. Внешние характеристики генератора МИ-32 при $r_b = var$.

Таким образом, при изменении сопротивления цепи возбуждения меняются все параметры системы, за исключением сопротивлений r_n и r_b , принятых постоянными.

Анализируя диаграмму, приведенную на рис. 2, б, можно сделать следующие заключения: а) при малых значениях r_b (нулевое значение r_b является идеализацией и в реальной машине невыполнимо) вероятность наличия в системе особых точек типа неустойчивого фокуса и узла, а также типа устойчивого фокуса весьма мала, наибольшее распространение имеет область седел; б) при увеличении r_b области фокусов и узлов увеличиваются за счет уменьшения области седел; в) при малых и средних значениях r_n все границы являются прямыми, при больших же значениях r_n резко сказывается нелинейность L_{by} и L_{ny} , из-за чего границы 1, 2, и 3 становятся нелинейными.

Построение диаграммы $(\frac{de_r}{dl_b})_y, r_n$

Аналогично предыдущему случаю, каждому значению r_n соответствует своя внешняя характеристика. Это построение произведено на рис. 4 для ряда значений r_n .

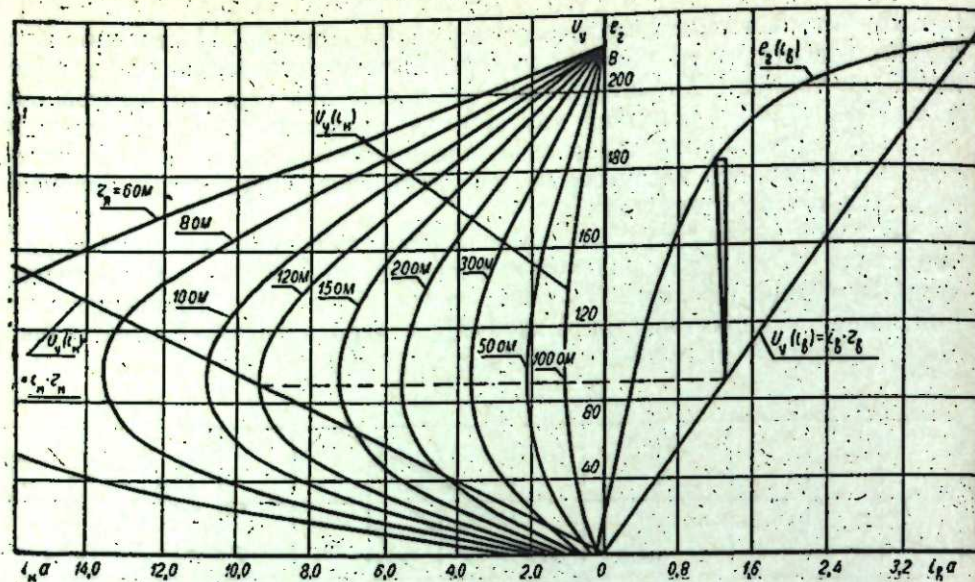


Рис. 4. Внешние характеристики генератора МИ-32 при $r_a = \text{уг}$.

Диаграмма приведена на рис. 2, в; рассматривая ее, можно заключить следующее: а) при малых значениях r_a (нулевое значение этого сопротивления является идеализацией) в системе наиболее вероятны особые точки типа седла и устойчивого узла; б) по мере увеличения r_a (до определенного значения) вероятность появления особых точек типа устойчивого фокуса увеличивается; в) при дальнейшем увеличении r_a появление устойчивых фокусов возможно лишь при больших значениях $\left(\frac{de_r}{di_a}\right)_y$. Небольшие провалы в кривых 1, 2 и 3 объясняются нелинейностью L_{ny} и L_{by} .

Если соблюдено условие самовозбуждения и особая точка является неустойчивой, можно лишь утверждать, что система уходит из состояния равновесия, и определить характер этого движения, но ничего нельзя сказать о дальнейшем поведении системы, так как мы ограничились рассмотрением линеаризованных уравнений.

Для ответа на этот последний вопрос необходимо рассмотрение свойств системы в «большом», что не входит в нашу задачу в данной работе.

Выводы

1. Построенные диаграммы дают наглядную и полную картину поведения системы в «малом» в зависимости от изменения параметров.
2. Увеличение индуктивности нагрузки увеличивает вероятность самовозбуждения колебаний в системе.
3. Увеличение индуктивности цепи возбуждения или якорной цепи уменьшает возможность самовозбуждения.
4. Увеличение сопротивления нагрузки способствует возникновению устойчивых состояний равновесия системы (так как при этом для $n_r = \text{const}$ $\left(\frac{de_r}{di_a}\right)_y$ уменьшается);
5. Увеличение сопротивления контура возбуждения способствует появлению устойчивых состояний равновесия.

6. Увеличение сопротивления якорной цепи способствует самовозбуждению колебаний в системе (так как в этом случае для $n_r = \text{const}$ $\left(\frac{de_r}{di_a}\right)_y$ увеличивается).

7. Увеличение $\left(\frac{de_r}{di_a}\right)_y$ (или, что то же самое, скорости генератора) способствует самовозбуждению колебаний.

Новосибирский электротехнический институт

Поступила в редакцию
10/IV 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Попов, О выборе параметров автоколебательных автоматических систем регулирования. Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 1, Машгиз, 1958.
2. А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, Теория колебаний, Физматгиз, 1959.

Н. Г. КАПУСТИН

К ВОПРОСУ ПРОЕКТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТОК

Первостепенную роль в развитии горной промышленности должен играть открытый способ добычи полезных ископаемых, при котором производительность труда в 3—5 раз выше, чем на шахтах. Соответственно этому в 2—3 раза снижается и себестоимость. Но это не предел, открытые разработки имеют довольно большие скрытые резервы для дальнейшего повышения производительности общественного труда. Использование этих резервов раньше всего будет состоять в правильном выборе для месторождения техники и технологии открытых горных работ. Понятие правильной техники и технологии включает в себя удовлетворение ряда технических и экономических требований, в том числе достижение максимальной эффективности капитальных вложений.

Иногда экономическое содержание проблемы выбора правильной техники ограничивают калькуляцией себестоимости единицы продукции, сторонники такого ограничения ошибочно полагают, что минимальная себестоимость якобы и выражает максимальную эффективность.

Однако общеизвестно, что погоня за относительно меньшей себестоимостью часто может увлечь проектировщика к чрезмерным капитальным вложениям, которые в силу характера самой технологии иногда надолго удерживаются в производственном цикле, тем самым замораживаются и выпадают из круга расширенного производства. И все же нельзя отрицать, что в определенных обстоятельствах для народного хозяйства может быть выгодно предпочтение более капиталоемкого варианта, например, в том случае, когда дополнительные вложения ΔK возвращаются в народное хозяйство в форме экономии текущих эксплуатационных затрат ΔU за некоторый относительно меньший период времени τ , называемый сроком окупаемости.

Исходя из этого, расчетную формулу срока окупаемости можно записать как баланс стоимостей

$$\Delta K = \Delta U = K_2 - K_1 = \tau A(c_1 - c_2),$$

где K — варианты капитальных вложений в рублях,
 c — соответствующие им текущие затраты на единицу продукции (себестоимость за вычетом амортизации),
 A — размер годовой продукции в тех же единицах.

Отсюда возникает классическая формула срока окупаемости дополнительных капитальных вложений:

$$\tau = \frac{K_2 - K_1}{(c_1 - c_2)A} \quad (1)$$

пользование, которой до сих пор связано с большими затруднениями. Дело в том, что противопоставляемые варианты часто имеют разные сроки службы объекта — t , различные объемы годовой продукции, а также разновременные в календарном отношении капитальные вложения. Эти затруднения усиливаются в тех случаях, когда противопостав-

ляются три и более проектных варианта. Именно тогда сроки окупаемости капиталовложений каждого варианта «могут получиться различными в зависимости от того, какой именно вариант принят в качестве отправного для сопоставления с ним всех остальных вариантов» [1, стр. 36].

Легко понять, что названные затруднения и даже неопределенность получаемых результатов сводят на нет попытки практических инженеров воспользоваться формулой (1).

Задача определения экономической эффективности капиталовложений представляет собой важную часть проблемы эффективности новой техники и потому требует конкретного, практического решения. Такое решение должно опираться на общие экономические законы социализма, использовать современные достижения советской экономической науки путем вовлечения их в некоторую систему конкретных инженерно-экономических расчетов.

В настоящей статье предлагается разработка новой математической схемы аппарата для установления срока окупаемости как одного из важнейших критериев отбора лучшего проектного варианта по признаку высшей экономической эффективности.

Изложение предлагаемой методики осуществляем путем рассмотрения числового иллюстрированного примера.

Сделаем предположение, что в результате эскизного проектирования по укрупненным показателям была установлена техническая пригодность к строительству четырех вариантов техники и технологии вскрышных работ некоторого карьера; характеристику этих вариантов сводим в табл. 1.

Из данных табл. 1 видим, что за 30-летний период службы комплекта землеройных и транспортных машин по первому варианту соответствующие комплекты других вариантов полностью погашаются: для второго варианта 2 раза, третьего — 3, и четвертого — 5 раз.

Заметим, что всякое новое приобретение одних и тех же машин через t лет после пуска карьера потребует меньших капиталовложений K_t , устанавливаемых по формуле С. Г. Струмилина [2]:

$$K_t = \frac{K_0}{(1 + \theta)^t} \quad (2)$$

где K_0 — первоначальные капиталовложения;

θ — годовой норматив в долях единицы повышения производительности труда в машиностроительной или строительной промышленности, производящей средства производства данного вида.

Формула (2) общепризнана советскими экономистами, например, Т. С. Хачатуров [1, стр. 3] пишет: «При сравнении вариантов должно быть также учтено, как правильно указал академик С. Г. Струмилин, что с течением времени в связи с техническим прогрессом, ростом производительности труда и снижением себестоимости будет происходить снижение стоимости орудий производства, сырья и материалов. Поэтому при расчетах эффективности на известную перспективу надо брать и цены перспективные, с учетом предстоящего снижения».

Таблица 1
Характеристика вариантов

№ варианта	$A, \text{ м}^3/\text{год}$	$t, \text{ лет}$	$K_0, \text{ руб.}$	$c, \text{ руб}/\text{м}^3$
1	$2 \cdot 10^6$	30	20	2,9
2	$3 \cdot 10^6$	15	25	2,5
3	$1,5 \cdot 10^6$	10	10	3,2
4	$0,75 \cdot 10^6$	6	1,66	3,9

Первоначальные капиталовложения по вариантам необходимо сделать соразмерными объему производства, увеличив их надлежащим образом до общего объема производства $A = 3$ млн. м³/год:

$$\text{для первого варианта } K_0 = K_0 \frac{A_2}{A_1} = 20 \frac{3}{2} = 30;$$

$$\text{для третьего } - K_0 = 10 \frac{3}{1,5} = 20 \text{ и}$$

$$\text{для четвертого варианта } - K_0^{IV} = 1,66 \frac{3}{0,75} = 6,64 \text{ млн. руб.}$$

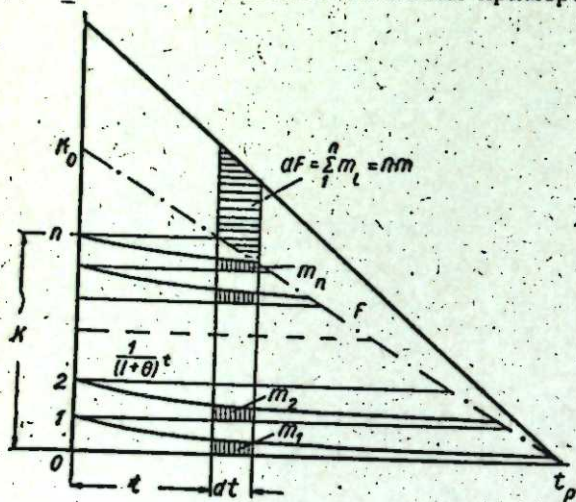
Рассмотрим характер погашения первоначальных капиталовложений по варианту I на рисунке с учетом реновации, где линия $K_0 t_p$ — график текущей их стоимости. В математическом отношении эта линия имеет формулу прямой

$$K = K_0 - \frac{K_0}{t_p} t + \Gamma, \quad (3)$$

где t_p — срок полномерной реновации (погашения),

t — текущий момент,

Γ — остаточная стоимость металлолома оборудования, которой в методическом числовом примере пренебрегаем.



Погашение первоначальных капиталовложений на срок t_p .

По высоте ординаты K таких полос $n = K$; тогда общая задолженность средств во времени в текущем моменте t будет

$$n \cdot m = Km = K(1+\theta)^{-t} \cdot dt = \left(K_0 - \frac{K_0}{t_p} t \right) \frac{dt}{(1+\theta)^t},$$

где K по формуле (3) при $\Gamma=0$.

В целом за срок реновации t_p задолженность средств будет

$$F = \int_0^{t_p} K \cdot dt \int_0^{t_p} \left(K_0 - \frac{K_0}{t_p} t \right) \frac{dt}{(1+\theta)^t} = \\ = K_0 \int_0^{t_p} \frac{dt}{(1+\theta)^t} - \frac{K_0}{t_p} \int_0^{t_p} \frac{t \cdot dt}{(1+\theta)^t}, \text{ руб. в год.} \quad (4)$$

Величина F по вариантам отличается и характеризует степень задолженности капиталовложений с размерностью «рублей в год».

Т. С. Хачатуров [1, стр. 37] пишет: «...отложить капиталовложения на более поздний срок равнозначно увеличению на эту же сумму фонда капиталовложений данного года (разумеется, в другой сфере производства.— Н. К.) со всеми вытекающими отсюда последствиями».

Если мы могли отложить капиталовложения на срок t , но не сделали этого в том или ином варианте технологии, то тем самым ежегодно уменьшали на протяжении t лет капиталовложения в народное хозяйство на сумму πF рублей, где π — ежегодная норма в долях от целого. Величину π следует считать коэффициентом народнохозяйственного эффекта, названного Т. С. Хачатуровым [1] коэффициентом роста.

Этот коэффициент в решаемом примере можно принять, по литературным данным, равным 0,05.

По изложенным соображениям капиталовложения, свойственные первому варианту технологии, с народнохозяйственной точки зрения составят сумму $K_1 = K_0 + \pi F_1$;

$$K_1 = \left[1 + \pi \int_0^{t_p} \frac{dt}{(1+\theta)^t} - \frac{\pi}{t_p} \int_0^{t_p} \frac{t dt}{(1+\theta)^t} \right] K_0. \quad (5)$$

В изложенном порядке выявляем капиталовложения с учетом фактора времени для варианта № 2, характерного тем, что его капиталовложения повторяются через $t_p = 15$ лет.

Если в год пуска объекта капиталовложения K_0 , то их стоимость через t_p лет будет определяться по формуле (2) как $K_0 (1+\theta)^{t_p}$. Соответственно этому формулы (4) и (5) переписутся так:

$$F_2 = \int_0^{t_p} Km + (1+\theta)^{-t_p} \int_0^{t_p} Km = K_0 \int_0^{t_p} \frac{dt}{(1+\theta)^t} - \\ - \frac{K_0}{t_p} \int_0^{t_p} \frac{t dt}{(1+\theta)^t} + \frac{K_0}{(1+\theta)^{t_p}} \int_0^{t_p} \frac{dt}{(1+\theta)^t} - \frac{K_0}{(1+\theta)^{t_p} \cdot t_p} \int_0^{t_p} \frac{t dt}{(1+\theta)^t} = \\ = [1 + (1+\theta)^{-t_p}] K_0 \int_0^{t_p} \frac{dt}{(1+\theta)^t} [1 + (1+\theta)^{-t_p}] \frac{K_0}{t_p} \int_0^{t_p} \frac{t dt}{(1+\theta)^t}; \quad (6)$$

$$K_2 = K_0 + \pi F_2 = K_0 \left\{ 1 + \pi [1 + (1+\theta)^{-t_p}] \int_0^{t_p} \frac{dt}{(1+\theta)^t} - \frac{\pi}{t_p} \times \right. \\ \left. \times [1 + (1+\theta)^{-t_p}] \int_0^{t_p} \frac{t dt}{(1+\theta)^t} \right\}. \quad (7)$$

Для вариантов 3 и 4 по аналогии с формулой (7) имеем:

$$K_3 = K_0^{\text{III}} \left\{ 1 + \pi \left[1 + (1 + \theta)^{-t_p^{\text{III}}} + (1 + \theta)^{-2t_p^{\text{III}}} \right] \int_0^{t_p^{\text{III}}} \frac{dt}{(1 + \theta)^t} - \right. \\ \left. - \frac{\pi}{t_p^{\text{III}}} \left[1 + (1 + \theta)^{-t_p^{\text{III}}} + (1 + \theta)^{-2t_p^{\text{III}}} \right] \int_0^{t_p^{\text{III}}} \frac{tdt}{(1 + \theta)^t} \right\}. \quad (8)$$

$$K_4 = K_0^{\text{IV}} \left\{ 1 + \pi \left[1 + (1 + \theta)^{-t_p^{\text{IV}}} + (1 + \theta)^{-2t_p^{\text{IV}}} + (1 + \theta)^{-3t_p^{\text{IV}}} \right] \int_0^{t_p^{\text{IV}}} \frac{dt}{(1 + \theta)^t} - \right. \\ \left. - \frac{\pi}{t_p^{\text{IV}}} \left[1 + (1 + \theta)^{-t_p^{\text{IV}}} + (1 + \theta)^{-2t_p^{\text{IV}}} + (1 + \theta)^{-3t_p^{\text{IV}}} \right] \int_0^{t_p^{\text{IV}}} \frac{tdt}{(1 + \theta)^t} \right\}. \quad (9)$$

Встроенные в эти расчеты интегралы находим методом «интегрирования по частям»

$$\int_0^{t_p} (1 + \theta)^{-t} dt = \frac{1}{\ln(1 + \theta)} - \frac{1}{\ln(1 + \theta)(1 + \theta)^{t_p}};$$

$$\int_0^{t_p} \frac{tdt}{(1 + \theta)^t} = \frac{1}{\ln^2(1 + \theta)} \left[\frac{t_p}{\ln(1 + \theta)(1 + \theta)^{t_p}} + \frac{1}{\ln^2(1 + \theta)(1 + \theta)^{t_p}} \right].$$

Данные табл. 1 подставим в формулы (5), (7), (8) и (9) и получим суммы капиталовложений с учетом разного их календарного времени; в расчетах принимаем по статистическим данным $\theta = 0,06$. Тогда по формулам (5) и (7) имеем:

$$K_1 = 30 \left[1 + 0,05 \int_0^{30} \frac{dt}{(1 + 0,06)^t} - \frac{0,05}{30} \int_0^{30} \frac{tdt}{(1 + 0,06)^t} \right] = 44,1 \text{ млн. руб.}$$

$$K_2 = 25 \left\{ 1 + 0,05 \left[1 + 1,06^{-15} \right] \int_0^{15} \frac{dt}{1,06^t} - \frac{0,05}{15} \left[1 + 1,06^{-15} \right] \int_0^{15} \frac{tdt}{1,06^t} \right\} = 35;$$

По формулам (8) и (9) имеем:

$$K_3 = 20 \left\{ 1 + 0,05 \left[1 + 1,06^{-10} + 1,06^{-20} \right] \int_0^{10} \frac{dt}{1,06^t} - \frac{0,05}{10} \left[1 + 1,06^{-10} + \right. \right. \\ \left. \left. + 1,06^{-20} \right] \int_0^{10} \frac{tdt}{1,06^t} \right\} = 27,6 \text{ млн. руб.}$$

$$K_4 = 6,64 \left\{ 1 + 0,05 \left[1 + 1,06^{-6} + 1,06^{-12} + 1,06^{-18} \right] \int_0^6 \frac{dt}{1,06^t} - \right. \\ \left. - \frac{0,05}{10} \left[1 + 1,06^{-6} + 1,06^{-12} + 1,06^{-18} \right] \int_0^6 \frac{tdt}{1,06^t} \right\} = 8,7 \text{ млн. руб.}$$

Далее по формуле (1) находим сроки окупаемости капиталовложений по вариантам базы, как показано в табл. 2.

Таблица 2.

№ варианта	Сроки окупаемости			
	1	2	3	4
τ, лет	11,8	6,3	9	база
τ, лет	18,3	3,5	база	

По данным таблицы выносим решение о назначении в дело варианта № 2, поскольку его капитальные вложения окупаются в наименьший срок при любой базе исчисления.

В случае сопоставления только трех вариантов, например 1, 3 и 4, лучшим вариантом будет 4, поскольку сроки окупаемости других вариантов по своей величине относительно 4-го не могут быть признаны рациональными, ибо превышают норматив окупаемости дополнительных капиталовложений 3-7 лет, рекомендованный Научно-исследовательским экономическим институтом Госплана СССР.

Выводы

Всесоюзное совещание по комплексной механизации и автоматизации открытых разработок, состоявшееся 6-8 июня 1960 г. в г. Кемерово, вскрыло серьезные промахи в проектах некоторых карьеров. Частично эти промахи объясняются тем, что на вооружении проектировщиков не было необходимой системы расчета срока окупаемости капиталовложений как одного из показателей их экономической эффективности. Между тем, такая расчетная система может и должна быть разработана.

Предлагаемые выше рабочие формулы позволяют достигнуть конкретного решения поставленной задачи.

Томский политехнический институт

Поступила в редакцию 27/X 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. С. Хачатуров, Экономическая эффективность капиталовложений в СССР. Изд-во «Знание», серия III, № 7, 1958.
2. С. Г. Струмилин, Фактор времени в проектировках капитальных вложений. Изв. АН СССР, отд. экономики и права, № 3, 1946.

В. К. МОРГУНОВ

НОВЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕМАТИКИ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

При проведении научных исследований часто возникает необходимость в определении кинематических элементов движущихся объектов. Такими объектами могут быть движущееся судно, плывущее ледяное поле, гидрометрические поплавки и т. д.

Исходными данными для получения кинематических элементов являются перемещения объекта в функции от времени. Для фиксации последовательных положений движущегося объекта сейчас пользуются в основном геодезическими приемами, которые дают достаточную точность определения скорости при больших промежутках времени между засечками. С увеличением частоты засечек увеличиваются относительные погрешности измеряемых перемещений, а следовательно и скоростей, за счет ошибок от неточности визирования инструмента на наблюдаемую точку объекта по мере его движения. Поэтому в данном случае точность инструментов используется далеко не полностью. В ряде случаев геодезические приемы оказываются вообще неприемлемыми вследствие недостаточной частоты засечек (2—4 засечки в минуту).

Поэтому при необходимости учащенных определений скорости движущегося объекта часто применяют кино съемку. Производя измерение перемещений изображений объекта на киноленте через определенное количество кадров, зная частоту съемки и учитывая масштаб изображения, находят закон движения объекта, а затем скорость и ускорение в функции от времени.

Однако в ряде случаев кино съемка при изучении кинематики не дает нужной точности. Малые размеры изображения на киноленте требуют большого увеличения на экране или под измерительным микроскопом, что приводит к нерезкости вследствие ограниченной разрешающей способности объектива кинокамеры и эмульсии пленки, а также ее зернистости. Нерезкость ведет к ошибкам и не позволяет выявлять малые ускорения объекта с необходимой точностью.

Иногда кино съемку приходится выполнять в условиях, при которых угол между оптической осью объектива и траекторией движения объекта значительно отличается от 90° . Для получения в этом случае равномасштабности по линии движения объекта на снимке требуется его трансформация, которую приходится выполнять графически, что еще более снижает точность результатов. Фототрансформация в данном случае вообще весьма затруднительна, так как требует большого количества отпечатков по отдельным кадрам.

Точность снижается также за счет температурной и усадочной деформации материала пленки. По истечении определенного времени в результате старения и неравномерной усадки пленки она перестает быть годной для измерительной обработки.

Следует отметить также кропотливость и трудоемкость измерения перемещений по отдельным многочисленным кадрам.

Для устранения этих недостатков автором была предложена «Фотокамера для фотографирования движущегося объекта» (авторское свидетельство № 127574 от 17 июня 1959 г.). Данный аппарат позволяет получить на одном стеклянном негативе крупного формата последовательные изображения движущегося объекта, заснятые автоматически через равные, заранее установленные промежутки времени.

Этот аппарат имеет ряд преимуществ по сравнению с используемой для той же цели кинокамерой. Применение длиннофокусного объектива и, следовательно, более крупные размеры снимков позволяют, при всех прочих равных условиях, повысить точность измерений. То обстоятельство, что последовательные изображения объекта запечатлены на одном снимке, дает возможность провести на снимке траекторию движения объекта и свести измерение перемещений к измерению расстояний между соседними изображениями объекта, в результате чего получается единая цепочка размеров, связывающая все приращения пути. Это также значительно повышает точность и намного уменьшает трудоемкость измерительной обработки снимков, а при необходимости позволяет легко осуществить фототрансформацию снимков. Применение стеклянных негативов исключает усадку их с течением времени.

1. Устройство аппарата

На рис. 1 приведена схема устройства аппарата. На передней стенке жесткой камеры 1 расположен объектив 2 с центральным затвором 3. Во время съемки затвор автоматически открывается через равные промежутки времени с определенной выдержкой. В действие затвор приводится пружинным механизмом 4 через кулачок 5.

В непосредственной близости перед фотопластинкой 6 расположена светонепроницаемая эластичная шторка 7 с вертикальной щелью 8, которую можно перемещать вдоль фотопластинки посредством вращения рукоятки 9 на выносном пульте 10 и далее через гибкий валик 11, конические шестерни 12 и вертикальные валики 13, на которые намотана шторка 7.

Наверху аппарата имеется визирное устройство, состоящее из передней прицельной рамки 14 и подвижного визира 15. Прицельная рамка закреплена над задней узловой точкой объектива. Перемещение визира происходит одновременно с перемещением щели 8 с помощью эластичной ленты 16, намотанной на ролики 17, имеющие одинаковый диаметр с валиками 13. Благодаря этому при любом положении визира его ось точно совпадает с осью вертикальной щели.

Для отметки характерных моментов в процессе съемки или для синхронизации с другими наблюдениями в аппарате предусмотрен отметчик времени, состоящий из электрической лампочки 18 в кожухе 19. При нажатии в нужный момент кнопки 20 у кромки фотопластинки засвечивается пятно, равное ширине щели.

Для съемки аппарат устанавливается на треноге так, чтобы его оптическая ось была перпендикулярна траектории движения объекта, в противном случае потребуются фототрансформация снимков.

В момент съемки пускается в действие пружинный механизм, и затвор производит автоматическую съемку через равные промежутки времени. Задача наблюдателя состоит в том, чтобы, перемещая визир 15 вращением ручки 9 на выносном пульте, следить через визирное

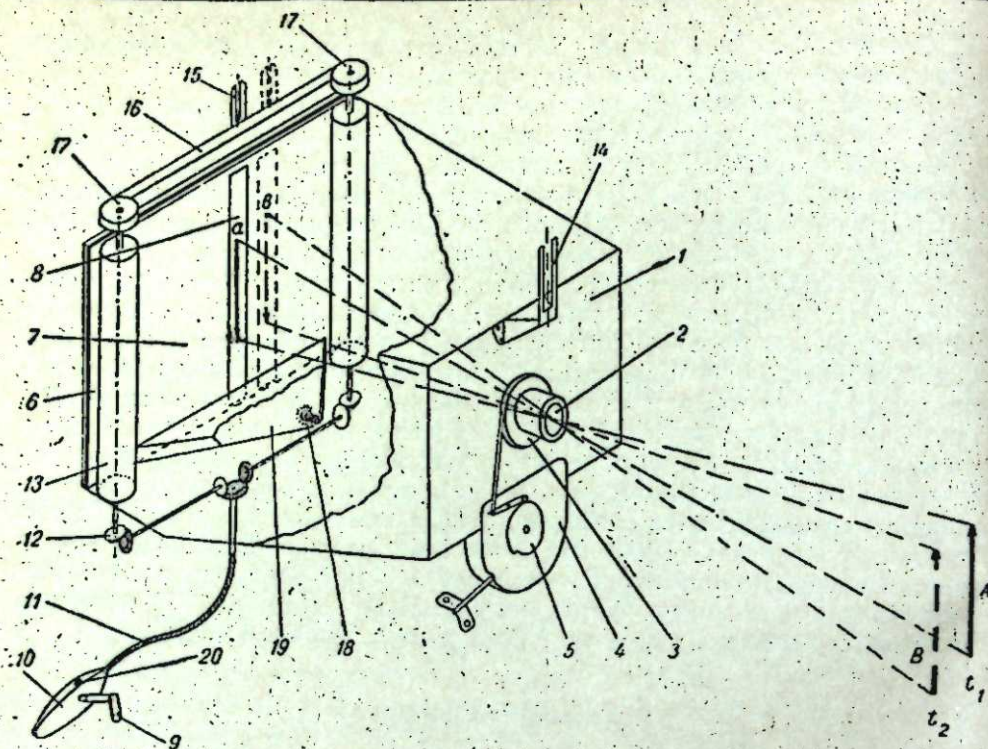


Рис. 1. Схема устройства аппарата.

устройство за движущимся объектом и удерживать его все время в поле зрения передней прицельной рамки 14. При этом изображение объекта на фотопластинке все время будет находиться в пределах щели 8, что и позволяет заснять последовательные изображения объекта на одной фотопластинке. Так, в момент t_1 объект занимал положение А, а в момент t_2 положение В. На фотопластинке получаются соответствующие изображения а и б.

Ширина щели устанавливается заблаговременно согласно формуле

$$d = \frac{v \cdot F \cdot n}{l \cdot w},$$

где d — ширина щели (мм),
 v — ожидаемая наименьшая скорость, которую может иметь объект во время съемки (м/сек),
 F — фокусное расстояние объектива аппарата (мм),
 l — расстояние до объекта съемки (м),
 w — частота съемки (экспозиций в сек),
 n — допускаемое количество экспозиций на одно и то же место фотослоя.

Величина n зависит от качества фотоматериалов и от условий освещенности фона и объекта. При темном фоне и светлом объекте n можно допустить до 5—7, при светлом фоне и темном объекте n может равняться 2—3. При этом негативы получают оптическую плотность, допускающую измерение перемещений.

Измерение перемещений по полученным снимкам в зависимости от предъявляемой точности можно делать прямо по негативам на измери-

тельном микроскопе или с помощью измерительной лупы с ценой деления 0,1 мм. Скорость объекта определяется по формуле

$$v_t = \frac{\Delta x \cdot l}{\Delta t \cdot F},$$

где v_t — скорость объекта в момент времени (м/сек),
 Δx — расстояние между соседними изображениями объекта на снимке (мм),
 Δt — промежуток времени между экспозициями во время съемки (сек),
 l — расстояние до объекта, измеренное по оптической оси (м),
 F — фокусное расстояние объектива аппарата (мм).

Подсчитав для каждого момента величину скорости, можно получить изменение скорости в функции от времени, а затем перейти к ускорению.

2. Пример применения аппарата и возможные области его использования

В лаборатории ледотермики Транспортно-энергетического института СО АН СССР был изготовлен опытный образец предлагаемого аппарата. Аппарат имеет объектив с фокусным расстоянием $F = 300$ мм и дает изображение на пластинке размером 18×24 см.

Создание аппарата было вызвано необходимостью повышения точности измерения скорости движения ледяных полей при воздействии их на опоры мостов во время весеннего ледохода на реках. Полученные данные служили основой для вычисления величины динамического давления льда на сооружение по кинематическому методу К. Н. Коржавина [1, 2]. Для этой цели аппарат успешно применялся в ряде случаев на реках Сибири, а также при наблюдении весеннего ледохода в районе строящейся Братской ГЭС.

Съемка льдин, надвигающихся на опору моста, производилась с берега или с соседней опоры. В последнем случае снимки подвергались фототрансформации. Опорными точками на льдинах служили специальные вехи, которые запускались метательным устройством на пловущие льдины с расстояния до 180 м и втыкались в лед.

При расстоянии от аппарата до линии движения вехи порядка 150 м и частоте съемки одна экспозиция в секунду среднее квадратичное отклонение на графике скорости движения льдин в функции от времени составляло 0,012 м/сек, что характеризует достаточно высокую точность результатов, достигаемых с помощью аппарата. Обычными геодезическими приемами или с применением кино съемки получить такую точность не представляется возможным.

На рис. 2 приводится фрагмент снимка вехи, полученного с помощью аппарата. Снимок сделан для определения скорости движения ледяного поля при воздействии его на опору моста.

Аппарат может найти применение также в ряде других областей научных исследований, в частности для измерения поверхностной скорости течения в том случае, когда она интенсивно изменяется вдоль потока и, следовательно, нужны учащенные засечки положений гидрометрического поплавка, чего не могут обеспечить геодезические инструменты. Такой случай может иметь место, например, при гидравлических исследованиях на гидротехнических сооружениях. На рис. 3 представлена фотография льдины малых размеров, служащей поплавком при определении скорости течения. В результате измерений на снимке можно

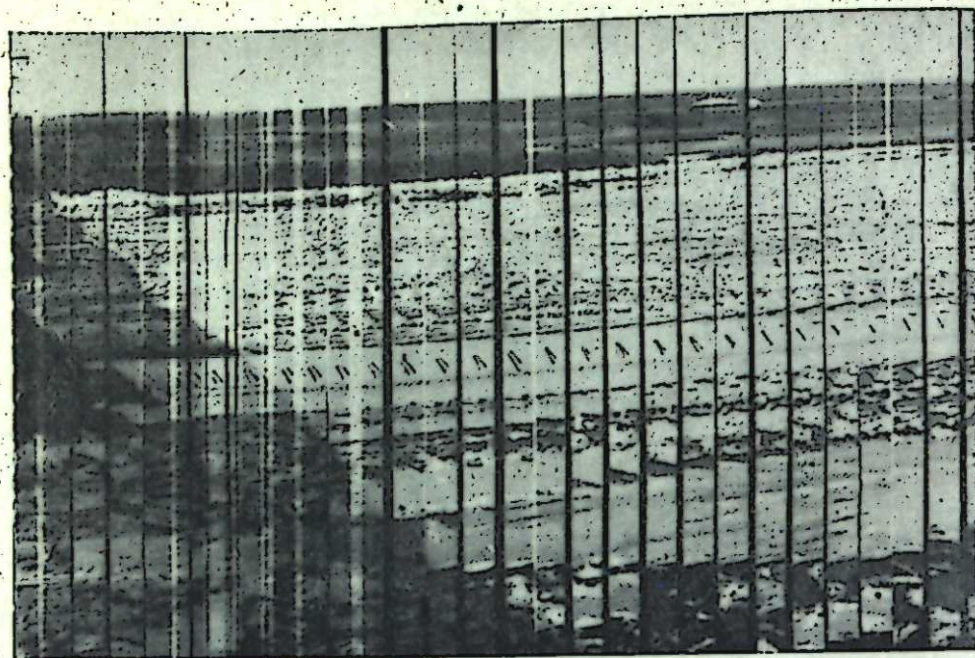


Рис. 2. Снимок вех (две вехи рядом), установленных на движущейся льдине. Последовательные положения вех расположены по оси опоры моста. Снято с частотой одна экспозиция в секунду.

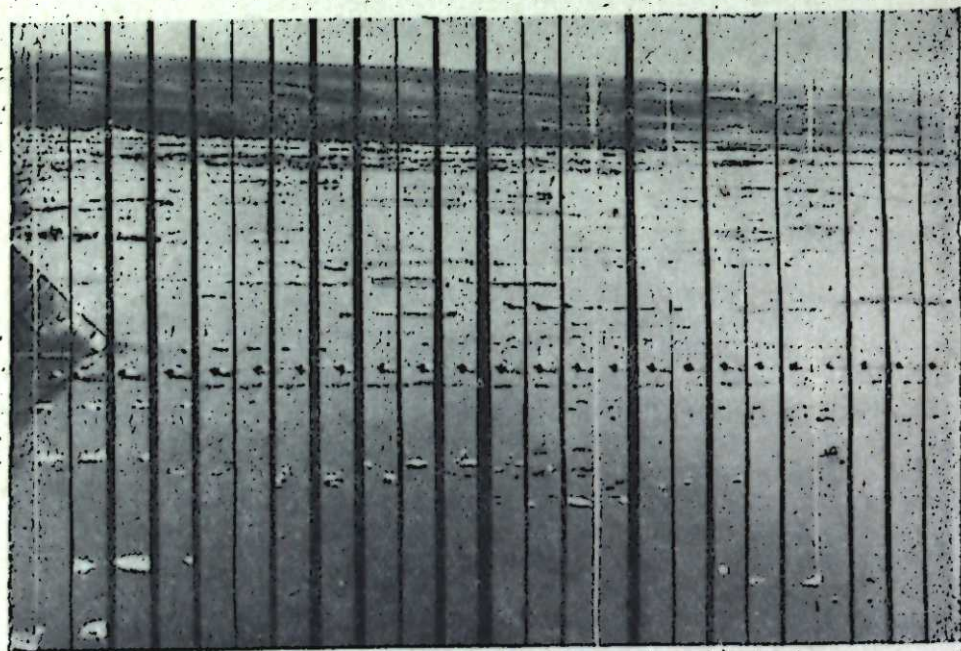


Рис. 3. Снимок плывущей льдины-поплавка для определения скорости течения. Снято с частотой одна экспозиция в секунду.

обнаружить даже незначительные изменения скорости течения вдоль потока.

При различного рода инерционных испытаниях судов возникает необходимость точного фиксирования изменения скорости судна относительно берегов. До настоящего времени определение скорости судна при таких испытаниях производят путем фиксирования моментов прохождения судном створов, разбитых на берегу, или путем засечек с берега мгновенных положений судна через определенные промежутки времени геодезическими инструментами [3]. Такие способы не обеспечивают нужной точности и, что особенно важно, имеют ограниченную частоту засечек. Геодезические приемы совершенно не удовлетворяют требованиям испытаний скоростных судов, например типа «Ракета» на подводных крыльях и других, когда для выявления всех подробностей изменения скорости требуются частые засечки (1—2 раза в секунду).

С помощью предлагаемого аппарата легко получить кинематические элементы испытываемого судна с желаемой частотой съемки. При этом крайне упрощается проведение полевых наблюдений, так как съемку может выполнять один человек.

В 1899—1900 гг. проводились ледовые испытания ледокола «Ермак». Во время этих испытаний акад. А. Н. Крылов определял сопротивление ледяного покрова движению ледокола инерционным методом. Для этого производилась киносъемка ледокола, набегающего на кромку ледяного поля. По материалам киносъемки находилась скорость ледокола в функции от времени, что позволяло найти ускорение и при известной массе ледокола определить величину сопротивления льда движению ледокола [4].

Этот метод, но с более совершенной киносъемочной аппаратурой применяется и по сегодняшний день. Однако сложность фотографической и измерительной обработки кинолент (к тому же при невысокой точности получаемых результатов) не позволяет производить массовые наблюдения такого рода, столь необходимые для накопления фактического материала, являющегося основой для рационального проектирования ледокольных судов.

Применение для этой цели предлагаемого аппарата позволит при незначительной затрате труда, средств и времени получить данные о ледовой нагрузке на ледокол с большей точностью. Фотографическую и измерительную обработку снимков можно делать на борту судна и тут же, через 1,5—2 ч, получать результаты испытаний. Благодаря этому представляется возможным перейти от единичных к массовым испытаниям ледокольных судов различных типов и в различных условиях ледового плавания, привлекая для этой работы инженерный состав корабля, что позволит в короткое время собрать большое количество фактического материала о ледовых нагрузках на корпуса ледоколов.

Аппарат может оказаться полезным и для получения кинематических элементов воздушных объектов наблюдения, в частности движения самолета при различных режимах полета. При этом, учитывая большую скорость самолета, съемку можно делать с частотой нескольких экспозиций в секунду. Во всех этих случаях снимки являются документальным материалом, который может быть подвергнут последующему тщательному анализу.

При соответствующем конструктивном оформлении аппарат может найти применение во многих других областях научно-исследовательских работ как при наблюдении в натуральных условиях, так и в лабораториях.

Выводы

1. Предлагается принципиально новый способ фотографирования движущихся объектов с помощью специального аппарата. Аппарат позволяет получить на одном снимке крупного формата последовательные изображения движущегося объекта, заснятые автоматически через равные промежутки времени.

2. Крупные размеры снимка, а также то обстоятельство, что последовательные изображения объекта фиксируются на одном снимке, позволяют намного повысить точность измерений по сравнению с применяющейся для этой цели киносъемкой.

3. При соответствующем конструктивном оформлении аппарат может найти применение в различных областях научно-исследовательских работ, как, например, в гидрологии и гидравлике, при испытании ходовых качеств судов, в авиации и т. д. как в натуральных, так и в лабораторных условиях.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
1/III 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Н. Коржавин. Новый метод определения фактического давления льда на опоры мостов. Тр. ТЭИ ЗСФАН СССР, вып. VII. Новосибирск, 1958.
2. К. Н. Коржавин. Опыт определения фактического давления льда на опоры мостов. Тр. ТЭИ ЗСФАН СССР, вып. VII. Новосибирск, 1958.
3. Г. Е. Павленко. Сопротивление воды движению судов. Гос. изд-во водного транспорта, М., 1953.
4. С. О. Макаров. «Ермак» во льдах. Спб., 1901.

М. Ф. ШОСТАКОВСКИЙ, Г. Г. СКВОРЦОВА,
М. Я. САМОЯЛОВА, К. В. ЗАПУННАЯ

ВИНИЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сообщение III

РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССА СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛКРЕЗИЛОВЫХ ЭФИРОВ
И АКРОЛЕИНА В ПРИСУТСТВИИ КАТИОННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

В первом сообщении показано, что винилариловые эфиры образуют высокомолекулярные вещества с акроленом под влиянием эфирата фтористого бора, хлорного железа и хлористого олова [1].

Настоящая работа посвящена главным образом рефрактометрическому исследованию данного процесса катионной сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролеина. Метод рефрактометрии ранее применялся нами для исследования полимеризации винилбутилового эфира [2].

Сополимеризация винилкрезиловых эфиров и акролеина проводилась с эквимолекулярным соотношением мономеров в присутствии различных концентраций катализаторов от 0,1 до 1,5% от веса мономеров. В зависимости от взятого количества и природы катализатора — эфирата BF_3 , FeCl_3 , SnCl_2 — продолжительность реакции изменялась от нескольких минут до нескольких суток (табл. 1).

Таблица 1

Сополимеризация винилкрезиловых эфиров и акролеина
(соотношение мономеров 50 : 50 мол. %)

Катализатор	Результаты сополимеризации					Характеристика сополимера	Растворимость			
	название	% от веса мономеров	продолжительность реакции, ч	разогрев до температуры, °C	n_D^{20}		выход сополимера, г	вода	ацетон	бензол
BF_3	0,2	192	115	1,5545	5,54	Порошок светло-желтый	—	++	+	—
	0,2	142	(во льду)	1,5480	5,02		—	++	+	—
FeCl_3	1,0	0,5	130	1,5484	1,17	Порошок серо-зеленый	—	++	+	—
	0,5	1,3	80	1,5400	3,56		—	++	+	—
SnCl_2	0,1	1000	—	—	—	Жидкость	—	++	+	—
	1,5	34	90	1,5340	9,25		—	++	+	—
	1,0	40	90	1,5530	7,07		—	++	+	—
	1,0	37	—	1,5280	7,38		Мягкое вещество, прозрачное, светло-желтое	—	++	+
0,75	57	—	1,5320	11,25	—	++		+	—	
	0,5	84	23	1,5280	4,74	—	++	+	—	

Как видно из табл. 1, хлорное железо через полчаса вызывает бурное течение процесса, а хлористое олово, взятое в том же количестве, 1% от веса мономеров, только через 37—40 ч приводит к разогреванию

и желатинизации смеси. Зависимость продолжительности реакции от концентрации хлористого олова и хлорного железа наглядно представлена на рис. 1. Характер кривых 1 и 2 свидетельствует о том, что постепенное увеличение количества катализатора до определенного значения

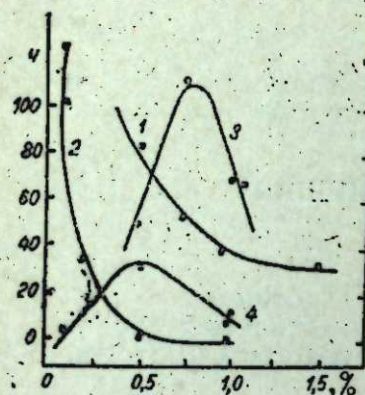


Рис. 1. Влияние концентрации катализатора на продолжительность реакции сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролеина (SnCl_2 —1, FeCl_3 —2) и на выход продуктов сополимеризации (SnCl_2 —3, FeCl_3 —4).

ускоряет процесс сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролеина. Достаточно быстро реакция протекает с 1,0% SnCl_2 и 0,5% FeCl_3 . От концентрации взятого в реакцию катализатора зависит также степень превращения винилкрезиловых эфиров и акролеина. Более высокие выходы продуктов сополимеризации были получены в присутствии 0,75% SnCl_2 и 0,5% FeCl_3 (см. кривые 3, 4, рис. 1).

Во всех опытах через два часа проводилось определение показателя преломления. Данные этих исследований представлены на рис. 2 и 3.

Изучение показателя преломления мономерной смеси в течение реакции сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролеина показывает, что процесс идет ступенчато в несколько стадий. Характер изменения n_D независимо от вида катализатора и продолжительности процесса в основном одинаков.

На кривых 1, 2, 3 имеется по три площадки с постоянным показателем преломления, соответствующих следующим значениям n_D 1,4850; 1,4950 и 1,54—1,55.

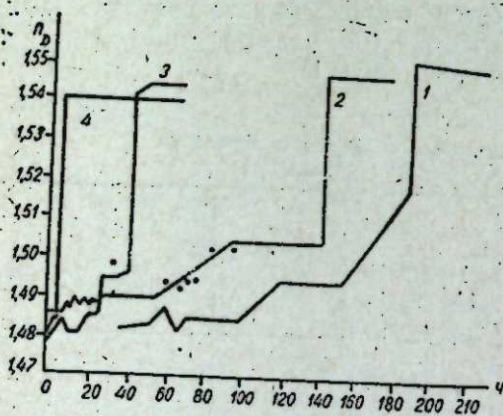


Рис. 2. Изменение показателя преломления в течение реакции сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролеина в присутствии: эфирата BF_3 —1, 2; 1,0% SnCl_2 —3; 0,5% FeCl_3 —4.

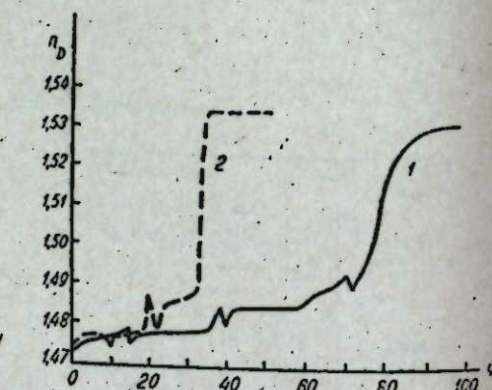


Рис. 3. Изменение показателя преломления в течение реакции сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролеина в присутствии 0,5% SnCl_2 —1, 0,75% SnCl_2 —2.

Первая стадия процесса отличалась от трех указанных выше ступеней тем, что показатель преломления на кривых максимум и минимум то возрастал, то уменьшался.

Участок кривой 1, не указанный на рис. 2, в течение первых 35 часов также имел зигзагообразный вид. На этой стадии происходят видимые внешние изменения реакционной смеси. После внесения катализаторов

белая смесь мономеров становилась бесцветной и прозрачной. Затем через несколько часов в опытах, поставленных с эфиратом фтористого бора, появились блестящие чешуйчатые или игольчатые кристаллики; в присутствии хлористого олова выпадал белый осадок. В течение следующих суток кристаллические центры исчезали, появлялись маслянистые капли. Постепенно реакционная смесь становилась снова однородной и прозрачной. Возможно, что эти изменения соответствуют индукционному периоду, когда возникают активные комплексы между мономерами и кислым катализатором. В дальнейшем, когда концентрация активного комплекса достигает определенного критического значения, наступает стадия роста цепи [3]. Площадки с показателем преломления, равным 1,48—1,49, характеризуют, по-видимому, стадии роста цепи, когда ион карбония, находящийся на конце растущей цепи, присоединяется к виниларилловому эфиру и акролеину.

Появлению верхней площадки с n_D 1,54—1,55 предшествовало сильное разогревание и окрашивание реакционной смеси. Процесс на этой стадии заканчивался. Из подвижной жидкости сополимеризат превращался в вязкую, липкую смолу, вытягивающуюся в тонкие длинные нити. Интересен тот факт, что за окончанием процесса мы могли следить по появлению слабой окраски перед началом разогревания реакционной смеси.

В момент наиболее энергичного протекания процесса в течение получаса через каждые одну-две минуты замеряли подъем температуры. Результаты этих определений даны в виде четырех кривых на рис. 4. Скорость подъема и максимальная температура реакции зависят от природы катализатора и его количества (см. табл. 1).

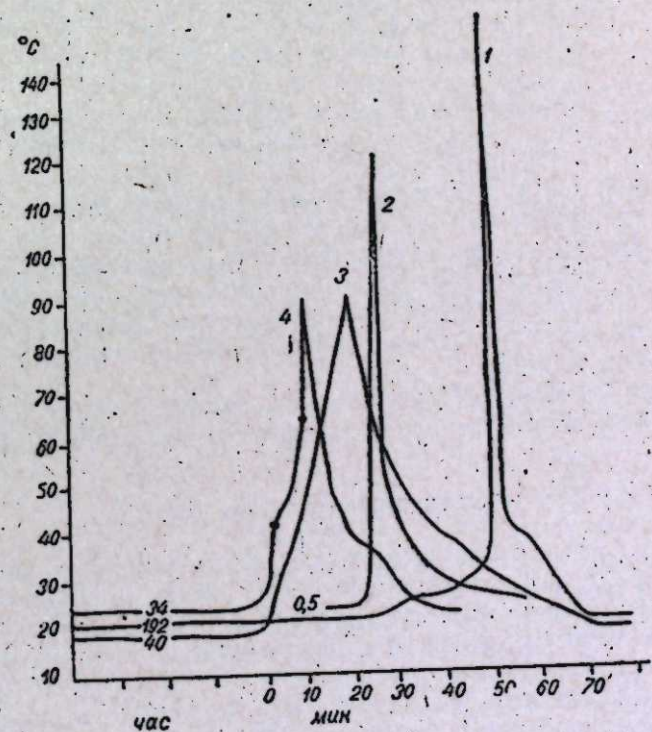


Рис. 4. Изменение температуры в точке образования сополимера винилкрезиловых эфиров и акролеина в присутствии ионных катализаторов (эфират BF_3 —1, FeCl_3 —2, SnCl_2 —3, 4).

Наиболее активно сополимеризация винилкрезиловых эфиров с акроленом протекала в присутствии эфира фтористого бора. При этом происходило сильное разогревание, достигающее 115—145° при охлаждении реакционной колбы льдом и интенсивном перемешивании. Бурно протекал процесс с хлорным железом. Под влиянием хлористого олова реакция шла наиболее спокойно, наивысшая температура разогревания достигала 90° (см. рис. 4).

Свойства и состав отмытых от мономеров твердых продуктов сополимеризации винилкрезиловых эфиров и акролена приведены в табл. 2. Полученные образцы сополимеров в отличие от гомо-полимеров винилариловых эфиров, хорошо растворимых в органических растворителях, и полиакроленов, нерастворимых в большинстве органических

Таблица 2
Свойства сополимеров винилкрезиловых эфиров (M_1) и акролена (M_2)

Катализатор		Темп. пл., °C	η_{sp}/c , dl/g	Элементарный состав, %			Состав сополимера	
название	% от веса мономера			С	Н	О	M_1	M_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BF ₃	0,2	97	0,074	74,5	7,8	17,7	65	35
	0,2	106,5	0,043	73,8	7,6	18,6	60	40
FeCl ₃	1,0	142	0,179	75,5	7,7	16,8	71	29
	0,5	81	0,055	75,5	8,0	16,5	72,5	27,5
SnCl ₂	0,1	—	—	—	—	—	—	—
	1,5	—	0,048	72,2	8,3	19,5	54	46
.	1,0	65	0,057	72,1	8,0	19,9	54,5	48,5
	1,0	—	0,053	74,0	8,1	17,9	64	36
.	0,75	—	0,052	74,1	8,1	17,8	64,5	35,5
	0,5	—	0,050	74,6	8,2	17,2	68,5	31,5

Примечание. Вычислено для C₉H₁₀O%: С 80,56; Н 7,51; О 11,53.
Вычислено для C₃H₄O%: С 64,27; Н 7,19; О 28,54.

растворителей, обладают ограниченной растворимостью. Они хорошо растворяются в ацетоне, хуже в бензоле, не растворяются в воде, спирте, четыреххлористом углероде. Большинство из них представлено твердым порошком желтого или серо-зеленого цвета с температурой плавления около 100°. Сополимеризаты, полученные с небольшой концентрацией хлористого олова, прозрачные, бесцветные полутвердые смолы, способные к вязкому течению.

В состав выделенных сополимеров, согласно элементарному анализу, вовлекалось больше молекул винилариловых эфиров, чем акролена.

Экспериментальная часть

Мономеры. Винилкрезиловые эфиры получали при взаимодействии ацетилена с крезольной фракцией смолы полукоксования черемховских углей в присутствии едкого калия и воды при 190—200°. Высушенные над поташом, натрием и перегнанные в вакууме винилкрезиловые эфиры имели температуру кипения 153—210°, n_D 1,5180. Состав их приведен в первых двух сообщениях [1, 4]. Акролен брали в реакцию свежеперегнанный с темп. кип. 51,5—52°.

Сополимеризация. В четырехгорлую колбу, снабженную механической мешалкой; лопасть которой была изготовлена из тефлона, термометром и обратным холодильником, помещали 22,1 г винилкрези-

ловых эфиров и 10,6 г акролена, в молярном отношении 1 : 1. Катализатор добавляли в количестве 100—400 мг, растворенный в 3 мл абсолютного этилового эфира. Эфират трехфтористого бора вносили в количестве 10—13 капель (0,18—0,21% от веса мономеров) при охлаждении реакционного сосуда в ледяной бане. В одном случае эфират BF₃ добавляли постепенно, в течение реакции (см. кривую 1, рис. 2), в другом — сразу вводили всю долю катализатора (см. кривую 2, рис. 2). Реакцию вели без нагревания.

Обработка продукта сополимеризации. Сополимеризат после окончания процесса растворяли в 15 мл ацетона. Затем раствор при перемешивании по каплям переносили в коническую колбу с 300 мл этилового спирта. Во всех случаях выпадали белые хлопья. После отстаивания маточник сливался с уплотненных осадков. Все полученные сополимеры растворяли в минимальном количестве ацетона и сушили в вакуум-эксикаторе при 40° до постоянного веса.

Вязкость определяли в вискозиметре Оствальда с диаметром капилляра 0,6 мм для однопроцентного раствора продуктов сополимеризации в ацетоне. Время истечения ацетона 41,9 сек, раствора — 43,8—44,2 сек. Результаты приведены в табл. 2.

Показатель преломления измеряли на рефрактометре Аббе при 20°C.

Выводы

1. Рефрактометрическое исследование процесса сополимеризации виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей с акроленом показало, что в течение реакции идет ступенчатое нарастание показателя преломления. Характер кривых изменения n_D независимо от природы и концентрации катализатора одинаков.

2. Установлено, что катализаторы, использованные для катионной сополимеризации винилкрезиловых эфиров с акроленом, по убывающей активности располагаются так: BF₃ > FeCl₃ > SnCl₂. Скорость исследуемого процесса зависит от природы и количества взятого в реакцию катализатора.

Реакция сополимеризации винилкрезиловых эфиров с акроленом протекает с большим выделением тепла. Отмечен максимальный подъем температуры в присутствии эфира BF₃ — до 150°, хлорного железа — до 120°, хлористого олова — до 90°.

Иркутский институт органической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
25/Х 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Шостаковский, Г. Г. Скворцова, М. Я. Самойлова, К. В. Запунная, Э. И. Косицына, Виниловые соединения. Сообщ. I. Виниловые эфиры крезолов каменноугольной смолы. Изв. СО АН СССР, № 1, 1961.
2. М. Ф. Шостаковский, Простые виниловые эфиры. Изв. АН СССР, М., 1952.
3. Г. Ф. Марк и др., Некоторые достижения в области полимерной химии, М., 1959.
4. М. Ф. Шостаковский, Г. Г. Скворцова, М. Я. Самойлова, К. В. Запунная, Виниловые соединения. Сообщ. II. Сополимеризация виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования с акроленом в присутствии ионных катализаторов. Изв. СО АН СССР, № 2, 1961.

А. В. КАЛАБИНА, Н. А. ТЮКАВКИНА, Л. М. ТОПОРОВА

ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ПРОСТЫХ ВИНИЛОВЫХ ЭФИРОВ ФЕНОЛОВ СМОЛЫ ПОЛУКОКСОВАНИЯ ЧЕРЕМХОВСКИХ УГЛЕЙ

Фенолы, получаемые при термической переработке различных видов горючих ископаемых, являются ценным сырьем для химической промышленности. С каждым годом увеличивается число работ, посвященных вопросу квалифицированного и рентабельного использования смесей фенолов [1—7].

Одним из перспективных способов утилизации смесей фенолов является использование их в виде винилариловых эфиров, получаемых конденсацией фенолов с ацетиленом по методу Фаворского—Шостаковского [8]. В настоящее время пущена полузаводская установка по винилированию смеси фенолов первичной смолы полукоксования черемховских углей [9]. Получаемая смесь винилариловых эфиров затем либо ректифицируется с целью получения индивидуальных реакционноспособных компонентов [10], либо используется как таковая, например, в качестве физиологически активных веществ [11]. Введение винильной группы делает смесь фенолов свето- и термоустойчивой и значительно расширяет перспективы ее использования. Особенно интересным является использование смеси винилариловых эфиров в реакциях полимеризации и сополимеризации. Полимеры и сополимеры индивидуальных виниловых эфиров как жирного, так и ароматического рядов очень широко употребляются в виде сырья для лаков [12], клеев [13, 14], добавок к смазочным маслам [15].

Реакциям полимеризации и сополимеризации простых винилариловых эфиров посвящен ряд работ [16—19]. Кроме того, имеются исследования по полимеризации и сополимеризации смеси виниловых эфиров полиненасыщенных спиртов, полученных восстановлением кислот льняного и соевого масел [20—22].

Мы считали необходимым исследовать возможность использования виниловых эфиров фенолов смолы полукоксования черемховских углей в виде смесей, без выделения из них индивидуальных компонентов, в качестве объектов для полимеризации и сополимеризации. Для этой цели была взята смесь виниловых эфиров крезоло-ксиленольной фракции фенолов первичной смолы, получаемая на проточной полузаводской установке Черемховского завода полукоксования [9]. Качественный и приблизительный количественный состав этой смеси устанавливался нами с помощью разработанного ранее [10] метода точной ректификации смеси винилариловых эфиров на узкие фракции и дальнейшего исследования их путем снятия спектров комбинационного рассеяния света, гидролиза с последующим синтезом арилгликолевых кислот из выделившихся при гидролизе фенолов и т. д. В результате было найдено, что в составе смеси виниловых эфиров легких фенолов, выкипающей в интервале 165—185°С, содержатся виниловые эфиры фенола, о-, м-, п-крезолов, этилфенолов и ксиленолов.

Реакция полимеризации смеси винилариловых эфиров осуществлялась с наиболее эффективным для виниловых эфиров ионным катализатором — эфиратом трехфтористого бора. Варьируя количество взятого в реакцию катализатора, а также меняя условия реакции, мы получили полимеры различного молекулярного веса от вязких до твердых, стеклообразных веществ. Полимеризация проводилась нами в массе и в растворителе при температурах ниже 0°С и при 18—20°С.

В результате исследований установлено, что с увеличением количества взятого в реакцию эфирата BF_3 выход полимера возрастает. Существенно эта зависимость сказывается при увеличении количества катализатора в пределах 0,2—0,6 вес. %, что видно из рис. 1.

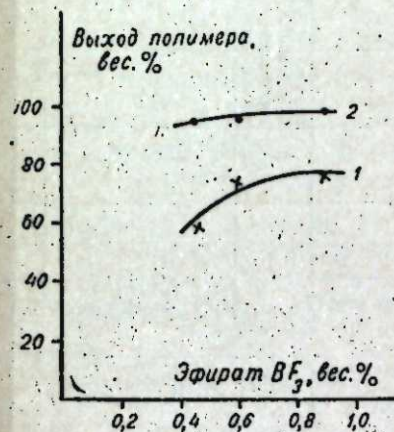


Рис. 1. Зависимость выхода поливинилариловых эфиров от количества катализатора эфирата BF_3 ($T = -10^\circ\text{C}$).

1 — реакция протекала 25 ч;
2 — реакции протекала 50 ч.

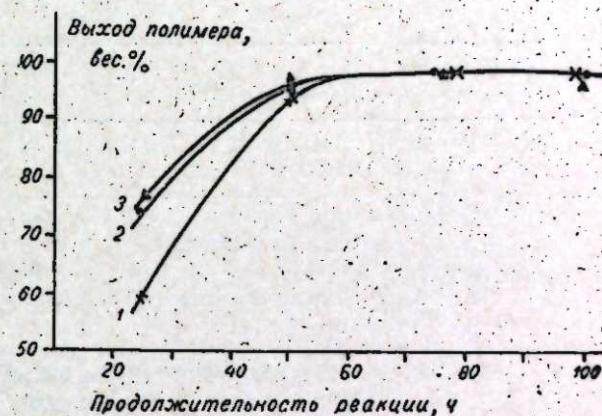


Рис. 2. Зависимость выхода поливинилариловых эфиров от продолжительности реакции ($T = -10^\circ\text{C}$). 1 — 0,45% катализатора, 2 — 0,6% катализатора, 3 — 0,9% катализатора.

Кроме того, нами изучалась зависимость глубины и степени полимеризации от продолжительности реакции. Для этого полимеризацию смеси винилариловых эфиров с температурой выкипания 175—185°С проводили при -10° в течение различных промежутков времени (25, 50, 75, 100 и 150 ч). Кривые 1, 2, 3 на рис. 2 показывают, что выход полимера увеличивается с ростом продолжительности реакции до 50—55 ч. За это время реакция практически заканчивается. Выход полимера достигает 98%, что говорит о большой склонности смеси винилариловых эфиров к катионной полимеризации.

С увеличением продолжительности реакции растет не только общий выход полимера, но возрастает и степень полимеризации. На рис. 3 видно, что с увеличением времени реакции растет выход более высокомолекулярной фракции полимера (более высокомолекулярной частью полимера мы считали ту, которая при пересаживании полимера не растворялась в этиловом спирте и высаживалась им). Этот факт может свидетельствовать о ступенчатом механизме реакции катионной полимеризации винилариловых эфиров.

В табл. 1 приводятся некоторые результаты опытов по полимеризации смеси винилариловых эфиров. Из таблицы видно (опыты 5, 7, 9), что применение в качестве растворителя бензола благоприятно сказывается на глубине и степени полимеризации эфиров. При сравнении результатов опытов 1 и 2, 3 и 4 видно, что понижение температуры реакции

Таблица 1

Характеристика некоторых полимеров, полученных из заводской смеси винилариловых эфиров (количество катализатора — эфирата трехфтористого бора — во всех опытах 0,2 вес. %)

№ опыта	Виниловые эфиры с температурой выкипания, °С	Условия полимеризации	Выход 1-й фракции переосажденного полимера, %	Молекулярный вес	Т. пл., °С	Вязкость 1%-ного раствора полимера	Внешний вид полимера
1	165—175	3 ч. при -10°, затем сутки при 18—20°	14,0	1386	50—56	0,667	Бледно-желтый порошок
2	165—175	5 ч. при 0°С, сутки при 18—20°	40,7	655	—	0,664	Густовязкий
3	175—185	3 ч. при 18°, сутки при 18—20°	16,4	1002	48—50	0,664	Стеклообразный
4	175—185	2,5 ч. при 0°С, сутки при 18—20°	31,6	984	—	0,660	Густовязкий
5	175—185	То же, в растворе бензола (1 : 1)	40,1	2988	76—83	0,684	Белый порошок
6	185—195	5 ч. при -10°, сутки при 18—20°	23,2	1073	—	0,666	Желеобразный
7	185—195	То же, в растворе бензола (1 : 1)	45,2	1938	65—70	0,664	Стеклообразный
8	195—200	2 ч. при -10°, сутки при 18—20°	31,4	688	—	0,660	Густовязкий
9	195—200	То же, в растворе бензола (1 : 1)	46,6	3968	108—113	0,682	Белый порошок

ведет к получению продукта с несколько большим молекулярным весом, чем в случае полимеризации при более высокой температуре.

Все полученные нами полимеры хорошо растворяются в большинстве растворителей, кроме спиртов.

Экспериментальная часть

Исходными продуктами для полимеризации служили виниловые эфиры смеси фенолов легкой фракции первичной смолы полукоксования черемховских углей. Техническая смесь винилариловых эфиров тщательно очищалась. Для удаления следов фенолов она промывалась 10%-ным раствором NaOH; после промывания водой смесь сушилась над прокаленным поташом, а затем над металлическим натрием. Путем предварительной ректификации (табл. 2) смесь была разделена на десятиградусные фракции: 155—165° (винилфениловый эфир), 165—175° (винилкрезиловые), 175—185° (винилксилениловые) и 185—205° (виниловые эфиры алкилзамещенных фенолов). Фракции 165—175° и 175—185° подвергались точной ректификации на колонне с числом теоретических тарелок 25—28. По физико-химическим константам узких фракций и их спектрам комбинационного рассеяния света устанавливался состав рек-

тифицируемой смеси. Для примера в табл. 3 приводим результаты ректификации смеси винилариловых эфиров с температурой выкипания 175—185°.

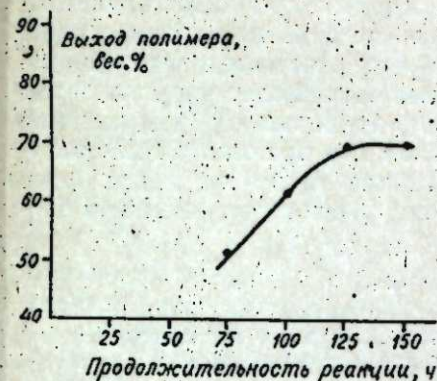


Рис. 3. Зависимость выхода первой фракции переосажденных поливинилариловых эфиров от продолжительности реакции (T = -10°С; 0,9% эфирата BF₃).

Таблица 2
Разделение на фракции технической смеси винилариловых эфиров (взято 960 г смеси)

Температура выкипания фракции, °С	Вес фракции, г	Выход фракции, вес. %	n _D ²⁰
155—165	10,72	1,11	1,5196
165—175	134,3	14,00	1,5170
175—185	378,0	39,40	1,5180
185—195	255,45	26,60	1,5163
195—201	84,05	8,74	—
Выше 201	77,75	8,10	—
Остаток в колбе и потери		19,73	2,05

Вещества узких фракций 1, 5, 8, 11 (см. табл. 3), в которых были предположены соответственно виниловые эфиры фенола, о-, м-, п-крезолов, подвергались оптическому исследованию. Спектры комбинационного рассеяния света выделенных из смеси веществ сравнивались со спек-

Таблица 3
Ректификация смеси винилариловых эфиров фракции 175—185° (взято 284 г, давление поддерживалось 20 мм рт. ст.)

№ фракции	Температура кипения, °С	Вес фракции, г	Выход фракции, вес. %	n _D ²⁰	Предполагаемый состав
1	56—56,2	18,15	6,39	1,5217	Винилфениловый эфир
2	59—59,5	3,81	1,34	1,5191	
3	61,5—61,7	1,75	0,61	1,5185	
4	63—64	3,80	1,34	1,5175	
5	66—66,2	25,08	8,85	1,5164	Винил-о-крезиловый эфир
6	67,4—67,8	5,10	1,80	1,5179	
7	68	12,50	3,30	1,5180	
8	69,2—69,4	38,30	13,48	1,5184	Винил-м-крезиловый эфир
9	71—71,5	3,92	1,37	1,5180	
10	72—72,3	12,75	4,48	1,5179	
11	73,5	47,95	17,00	1,5171	Винил-п-крезиловый эфир
12	75,0	15,45	5,44	1,5159	
Остаток в кубе		67,30	23,70	—	—
Потери и унос в вакуум		28,17	10,00	—	—

рами соответствующих индивидуальных эфиров. В табл. 4 приводятся спектры комбинационного рассеяния для синтетических виниловых эфиров о- и м-крезолов и виниловых эфиров таких же крезолов, выделенных ректификацией из смеси заводских эфиров (правые графы).

Кроме того, вещества этих же фракций 1, 5, 8, 11 гидролизировались, и из выделившихся при гидролизе фенолов синтезировались арилгликолевые кислоты. Температуры плавления последних сравнивались с температурами плавления арилгликолевых кислот синтетических фенолов. Подобным сопоставлением спектров, удельных весов, показателей преломления, температур плавления арилгликолевых кислот мы установили в ректифицируемой смеси заводских винилариловых эфиров наличие виниловых эфиров фенола, о-, м-, п-крезолов (во фракции с температурой выкипания 175—185°); в других фракциях таким же путем были установлены виниловые эфиры п-этилфенола и некоторых изомеров ксиленолов.

Таблица 4

Спектры комбинационного рассеяния света* индивидуальных виниловых эфиров о-, м-крезолов (левые графы) и таких же эфиров, выделенных из винилированной смеси фенолов смолы полукоксования черемховских углей (правые графы)

Винил - о - крезоловый эфир				Винил - м - крезоловый эфир			
$\nu, \text{см}^{-1}$	I	$\nu, \text{см}^{-1}$	I	$\nu, \text{см}^{-1}$	I	$\nu, \text{см}^{-1}$	I
222	1	220	1	217	2	220	2
274	1	242	0	277	2	278	2
350	1	313	0	389	3	511	1
472	1	345	1	515	1	639	1
531	2	469	1	551	1	814	3
710	2	527	1	814	3	818	3
743	2	634	1	826	3	1003	8
768	1	731	1	996	10	1169	1
954	1	801	6	1154	1	1310	6
1032	9	835	5	1255	5	1406	4
1158	5	1036	8	1306	5	1609	3
1232	6	1154	4	1373	1	1631	6
1307	5	1160	4	1582,6	6	1643	10
1373	3	1304	6	1601,5	2	2786	5
1585	1	1373	4	1643	8	2843	3
1600	2	1590	5	2669	3	2916	5
1643	10	1600	5	2789	4	3040	6
2676	4	1646	10	2839	3	3052	6
2928	4	2668	8	3036	4	3120	4
2957	5	2924	6	3053	4	3422	1
3021	5	2960	6	3116	3		
		2985	3				
		3043	2				

* Авторы выражают благодарность Э. С. Вилутису за снятие спектров.

Методика полимеризации. Полимеризация проводилась нами в трехгорлых колбах с механической мешалкой, погружаемых на заданное время в охлаждающую смесь. В качестве катализатора брался эфират BF_3 , синтезированный нами по методике, описанной в работе [23]. После окончания реакции содержимое колбы растворялось в диэтиловом эфире, и полимер из раствора высаживался метиловым спиртом, насыщенным аммиаком (для нейтрализации катализатора). Высаженный полимер несколько раз промывался метиловым спиртом для окончательного удаления следов мономеров и сушился в вакуумном шкафу. Такая обработка проводилась в опытах, результаты которых представлены в табл. 1. Опыты, по результатам которых построены графики 1—2, обрабатывались несколько иначе. После растворения в эфире и высаживания полимера этиловым спиртом, насыщенным аммиаком, остав-

шая смесь растворителей дополнительно обрабатывалась водяным паром. Эфир и спирт легко отдувались, а на дне колбы оставался густовязкий полимер. Выход полимерного продукта определялся суммированием веса полимера, высаженного из раствора, и веса полимера, полученного при отдувке с паром. Молекулярные веса полимеров определялись криоскопически в бензоле, температуры плавления — в капилляре.

Выводы

1. Изучена возможность участия смеси виниловых эфиров фенолов первичной смолы полукоксования черемховских углей в реакциях полимеризации по ионному механизму.
2. Найдены условия реакции полимеризации смеси винилариловых эфиров с полузаводской установки с высокими выходами полимеров (до 98%).
3. Показано положительное влияние низких температур и растворителей на степень полимеризации смеси виниловых эфиров фенолов.
4. Проведена ректификация смеси виниловых эфиров фенолов смолы полукоксования, полученной на полузаводской установке, с выделением индивидуальных виниловых эфиров фенола, о-, м-, п-крезолов.

Иркутский государственный университет

Поступила в редакцию 20/XI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Х. Т. Раудсепп, К. А. Каск. Тр. Таллин. политехн. ин-та, сер. А, № 57 (1954).
2. Х. О. Вильбок. Тр. Таллин. политехн. ин-та, сер. А, № 57 (1954).
3. М. В. Гофтман, Г. Д. Харлампович. ЖПХ, 30, вып. 3 (1957).
4. М. В. Гофтман, Г. Д. Харлампович. ЖПХ, 30, вып. 4 (1957).
5. F. Lour. Ind. plast. mod., 7, 8 (1955).
6. Н. В. Шорыгина, Г. И. Курочкина. ЖПХ, 31, вып. 1 (1958).
7. А. Г. Забродкин. Деревообработ. пром., № 2, 1958.
8. А. В. Калабина, Г. Г. Чистякова, В. М. Караваева, О. Ф. Шепотко, А. С. Нахманович. Изв. физ.-хим. НИИ при Иркутском ун-те, 4, вып. 2 (1959).
9. В. Г. Гольденберг, А. В. Калабина, М. Ф. Шостаковский. Изв. физ.-хим. НИИ при Иркутском ун-те, 5, вып. 1 (1960).
10. А. В. Калабина, Г. Г. Чистякова. Изв. физ.-хим. НИИ при Иркутском ун-те, 4, вып. 2 (1959).
11. А. В. Калабина. В кн.: «Развитие производительных сил Восточной Сибири. Химическая промышленность», Изд. АН СССР, М., 1960.
12. H. Alps, M. Hurwitz, B. Kine. Am. pat. 2880116, 31.03.1959.
13. Y. Landler, P. Lebel. Франц. пат. #152376, 14.02.1958.
14. K. Broockmann. Пат. ФРГ 948805, 6.09.1956.
15. М. Ф. Шостаковский, Б. В. Дерягин, И. Ф. Богданов, Н. Н. Захаева. ЖПХ, 24, вып. 10 (1951).
16. А. В. Богданова, М. Ф. Шостаковский. Изв. АН СССР, ОХН, № 5, 1954.
17. А. В. Богданова, М. Ф. Шостаковский, Г. К. Красильникова. Изв. АН СССР, ОХН, № 8 (1958).
18. М. Ф. Шостаковский, А. В. Богданова. ЖОХ, 25, вып. 8 (1955).
19. М. Ф. Шостаковский, А. М. Хомутов. Изв. АН СССР, ОХН, № 5 (1954).
20. H. M. Teeter, L. Gast, J. Cowan. Ind. Eng. Chem., 50, № 11 (1958).
21. H. Teeter, L. Gast, J. Cowan. Paint. Ind. Mag., 74, № 1 (1959).
22. L. Gast, W. Schneider, J. O'Donnell, J. Cowan, H. Teeter. J. Amer. Oil Chemists Soc., 35, № 7 (1958).
23. И. В. Андреева, ЖПХ, 32, вып. 8 (1959).

Н. И. ПОПОВА, К. П. ЖДАНОВА

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ
ПРОПИЛЕНА

Сообщение 7

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ПРОПИЛЕНА НА МЕДНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ,
НАНЕСЕННЫХ НА СИЛИТ И ОКИСЬ АЛЮМИНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА А. М. РУБИНШТЕЙНА

Целью настоящей работы явилось изучение сорбции пропилена на медных катализаторах окисления пропилена в акролеин (окись меди на силите и окись меди на окиси алюминия).

Сорбцию углеводородов на закиси меди ранее изучала Л. Я. Марголис [1]. Ею были установлены два типа сорбции углеводородов на поверхности окислов металлов: слабая обратимая, являющаяся стадией окислительной реакции, и прочная необратимая, блокирующая поверхность. Однако в упомянутом исследовании закись меди перед измерениями сорбции прокаливалась при 1000°С. Н. И. Поповой с сотрудниками [2] ранее было показано, что катализаторы после прокалики при 1000°С теряют свою активность в реакции окисления пропилена в акролеин.

Для изучения хемосорбции нами впервые был применен динамический метод А. М. Рубинштейна [3]. Основными достоинствами данного метода является его простота и возможность измерения сорбции в условиях, близких к обычно применяемому при определении активности катализатора проточным методом. Динамический метод Рубинштейна заключается в весовом контроле адсорбции твердым телом газов или паров из потока газа-носителя.

В настоящем исследовании измерялась сорбция при различных температурах (от 20° до 370°С) путем взвешивания навески катализатора, через который пропусклся поток газа с определенной скоростью.

Сорбция изучалась на двух катализаторах: 1,5%-ной окиси меди, нанесенной на карборунд, (I) и 1,5%-ной окиси меди, нанесенной на окись алюминия, (II). Удельная поверхность, определенная по методу БЭТ, для катализатора I равна 1,2 м²/г, а для катализатора II — 2 м²/г. В результате опытов установлено, что при температурах от 20 до 100° на катализаторе II пропилен адсорбируется обратимо, так как при продувании азотом или нагревании вес катализатора становится прежним. Адсорбционное равновесие при этих температурах устанавливается примерно за 2—2,5 ч, после чего количество адсорбируемого пропилена становится постоянным (рис. 1).

Характерно, что величина адсорбированного пропилена на медном катализаторе, нанесенном на окись алюминия, примерно одинакова при температурах 100—300° и резко увеличивается при 325°, причем, начиная с этой температуры, имеет место хемосорбция пропилена, так как про-

дувание азотом не привело к полному удалению адсорбированного пропилена (рис. 2).

Н. И. Поповой и Е. Е. Вермель [2] было показано, что при 325° восстановление окиси меди в закись меди происходит значительно быстрее, чем при 300°, и соответственно имеет место скачок в скорости окисления пропилена в акролеин при переходе от 300 к 325° — съем изменяется с 5,8 до 40—50 г с 1 л катализатора в час. Это явление, по-видимому, связано с повышением скорости хемосорбции пропилена на закиси меди, по сравнению с окисью меди.

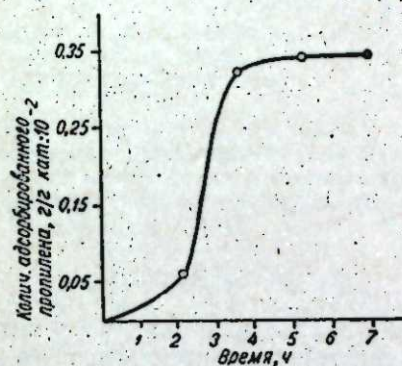


Рис. 1. Изотерма адсорбции пропилена на катализаторе 1,5%-ной окиси меди на окиси алюминия при 100°.

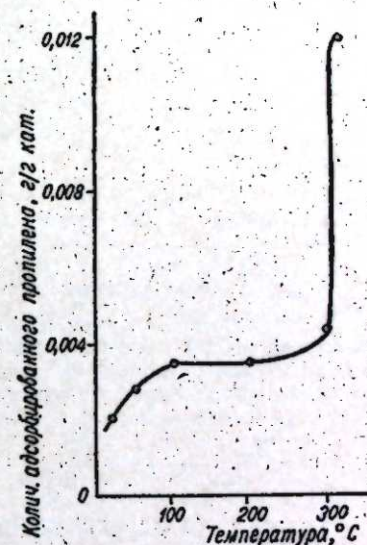


Рис. 2. Изобара сорбции пропилена на катализаторе 1,5%-ной окиси меди на окиси алюминия.

Как видно из рис. 3, при более высоких температурах (свыше 300°) величина сорбции меняется в зависимости от времени пропускания пропилена над окисномедными катализаторами, нанесенными на окись алюминия, при этом образуются четкие максимумы и минимумы. Влияние природы носителя проявляется главным образом на скоростях процессов восстановления и величине сорбции пропилена на восстановленных катализаторах.

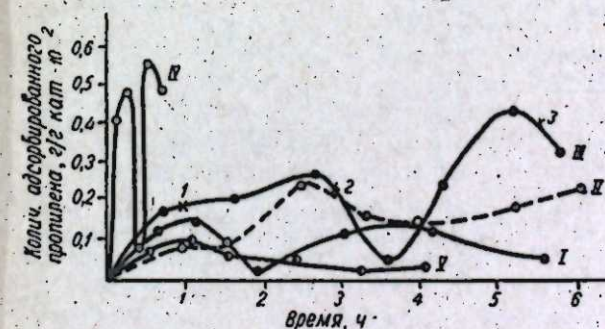


Рис. 3. Изотермы сорбции пропилена на катализаторе 1,5%-ной окиси меди на окиси алюминия при 300—370°. I — 300°, II — 325°, III — 350°, IV — 370°, V — 350° катализатор, отравленный сероводородом.

Скорость сорбции пропилена на катализаторе I во много раз превышает скорость сорбции пропилена на катализаторе II, хотя общий характер этого процесса сохраняется. При температурах 350—370° катализатор I быстро восстанавливается до меди и теряет способность хемосорбировать, так что максимумов сорбции в данном случае невозможно заметить.

Сорбция пропилена на катализаторе II является более медленной, чем на катализаторе I. Изотермы адсорбции на этих катализаторах

представляют собой кривые с тремя максимумами (см. рис. 3). Первый максимум получается, вероятно, за счет физической адсорбции, так как при десорбции он полностью исчезает.

Кривые I—IV показывают, что с увеличением температуры максимумы смещаются влево, в сторону меньшего времени насыщения пропиленом, т. е. при более высоких температурах процесс протекает быстрее.



Рис. 4. Зависимость времени появления максимальной адсорбции пропилена от скорости потока пропилена (при изменении соотношений скоростей газа-носителя — азота и пропилена от 1 : 1 до 1 : 13). (T = 350°, катализатор II).

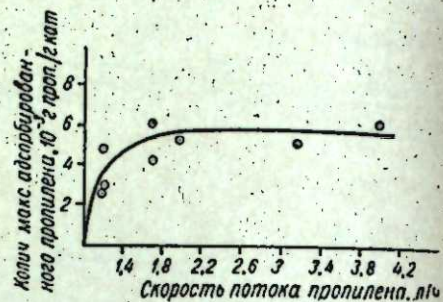


Рис. 5. Зависимость количества максимально адсорбированного пропилена (при изменении соотношений скорости потока азота и пропилена от 1 : 1 до 1 : 13). (T = 350°, катализатор II).

То же наблюдается и при увеличении скорости пропилена в потоке газа-носителя — время до появления максимумов сокращается, но, начиная с определенной скорости (3 л/час), становится постоянным (рис. 4). От изменения скорости пропилена в потоке газа-носителя (соотношение скоростей $N_2 : C_3H_6$ изменялось в пределах от 1 : 1 до 1 : 13) зависит и количество максимально адсорбированного пропилена (рис. 5), которое становится постоянным, начиная с определенного соотношения скоростей газа-носителя (N_2) и пропилена (1 : 7,5).

Таблица 1

Изменение химического состава катализатора в процессе сорбции пропилена при 350°

№ точки по изотерме сорбции (см. кривую 3, рис. 3)	Время сорбции, ч	Состав катализатора, %		
		Cu ²⁺	Cu ⁺	Cu
1	1	79,3	20,7	0,0
2	3	45,4	54,6	0,0
3	5,5	16,6	83,4	0,0

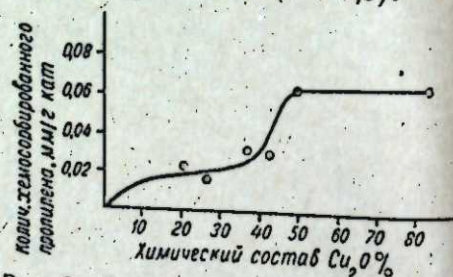


Рис. 6. Зависимость количества хемосорбированного пропилена от изменения химического состава катализатора II (T = 350°, v пропилена 1,2 л/час).

Исследование химического состава катализатора показало, что в процессе хемосорбции пропилена одновременно происходит восстановление катализатора (см. рис. 3 и табл. 1). По-видимому, полученные максимумы и минимумы величин сорбированного пропилена обусловлены этими изменениями состава катализатора. Интересно, что отравленный сероводородом катализатор (см. рис. 3, кривая V) не дает максимумов и минимумов хемосорбции пропилена.

На рис. 6 дана зависимость количества хемосорбированного пропилена (в миллимолях) от химического состава катализатора. Данные

рис. 6 показывают, что величина хемосорбированного пропилена растет с увеличением содержания закиси меди до определенного значения. После восстановления катализатора до содержания закиси меди около 50% величина хемосорбированного пропилена становится постоянной.

Н. И. Поповой и Е. Е. Вермель [2] установлено, что в процессе окисления пропилена в акролеин для катализаторов, содержащих до контактирования разное количество окиси меди на носителе, устанавливается различное, но стационарное для данного образца катализатора соотношение окислов меди. При этом оказалось, что у более разбавленных на носителе катализаторов скорость восстановления окислов меньше, чем у более концентрированных. Аналогичное явление наблюдалось ранее А. Е. Агрономовым и А. А. Дуловым [4] при восстановлении окислов меди на окиси алюминия.

В табл. 2 сопоставлены соотношения окислов меди в стационарном состоянии с энергиями активации реакции образования акролеина.

Как видно из табл. 2, на катализаторе, содержащем лишь 30—40% закиси меди, образование акролеина и метилакролеина затруднено по сравнению с катализаторами I и III, содержащими свыше 50% закиси меди. По-видимому, это явление легко может быть объяснено значительно меньшей скоростью хемосорбции пропилена на катализаторах, содержащих в стационарном состоянии меньше 50% закиси меди.

Таблица 2

Изменение энергий активации образования акролеина и метилакролеина на катализаторах с различным соотношением окислов меди при окислении пропилена и изобутилена

№ катализатора	Содержание CuO на носителе (силите), %	Стационарный химический состав катализатора, %		Энергия активации образования, ккал/моль	
		Cu ²⁺	Cu ⁺	акролеина	метилакролеина
I	1,5	30—20	70—80	11—12	13—14
III	0,5	50—40	60—60	11—12	13—14
IV	0,1	60—70	30—40	17—18	20—21

Л. Я. Марголис с сотрудниками [5] предложили стадийную схему окисления пропилена в акролеин, согласно которой кислород адсорбируется непосредственно на медном катализаторе в виде молекулярного или атомарного иона, а пропилен адсорбируется не на катализаторе, а на молекулярном ионе кислорода метильной группой без разрыва двойной связи, образуя гидроперекись.

Данные настоящей работы, а также результаты проведенного Н. И. Поповой с сотрудниками [6] исследования кинетики окисления на медных катализаторах некоторых непредельных углеводородов (изобутилена, ниперилена и изопрена) говорят о том, что эта схема не совсем правильна. Близкие значения энергии активации образования непредельных альдегидов (9—13 ккал/моль) при окислении различных олефинов и диолефинов, а также тесная связь значений скорости хемосорбции пропилена и кинетических констант свидетельствуют о том, что в процессе окисления непредельных углеводородов на медных катализаторах в первую стадию, по-видимому, имеет место не только сорбция кислорода, но и сорбция пропилена в основном метильной группой, сопряженной с двойной связью. Дальнейшее окисление непредельных углеводородов в альдегиды происходит также на поверхности катализатора. Это положение было подтверждено В. П. Латышевым и Н. И. По-

повой [7] при исследовании механизма окисления пропилена на медном катализаторе методом Ковальского. Следствием гетерогенного механизма окисления непредельных углеводородов на медных катализаторах является высокая селективность этого процесса, которая вряд ли имела бы место при отсутствии направленной сорбции пропилена непосредственно на катализаторе.

Выводы

1. Впервые показано, что динамический метод А. М. Рубинштейна может быть применен для изучения хемосорбции газов на катализаторах.

2. С помощью динамического метода изучена хемосорбция пропилена на медных катализаторах, нанесенных на окись алюминия. Показано, что при 325° наблюдается резкий скачок в скорости и величине хемосорбции пропилена.

3. Показано, что величина сорбированного пропилена меняется в зависимости от времени пропускания пропилена над окисномедными катализаторами, образуя четкие максимумы и минимумы.

4. Установлено, что максимумы сорбции пропилена связаны с химическими изменениями окисномедного катализатора, происходящими вследствие восстановления окиси меди пропиленом.

5. Показано, что имеется соответствие между кинетическими константами, значениями скорости сорбции пропилена и степенью восстановления окисномедных катализаторов.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутск

Поступила в редакцию
27/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Я. Марголис, Изв. АН СССР, ОХН, № 10, 1175 (1958).
2. Н. И. Попова, Е. Е. Вермель, Изв. СО АН СССР, № 11, 89 (1960).
3. А. М. Рубинштейн, В. А. Афанасьев, Изв. АН СССР, ОХН, № 11, 1924 (1956).
4. А. Е. Агрономов, А. А. Дулов, Вестн. Моск. ун-та, сер. матем., № 2, 215 (1957).
5. Э. Х. Еникеев, О. В. Исаев, Л. Я. Марголис, Кинетика и катализ, 1, 431 (1960).
6. Н. И. Попова, Е. Е. Вермель, Ф. А. Мильман, Тез. докл. на совещ. по гетерогенному каталитич. окислению органич. соединений. Рига, 1961, стр. 14.
7. В. П. Латышев, Н. И. Попова, Тез. докл. на совещ. по гетерогенному каталитич. окислению органич. соединений. Рига, 1961, стр. 9.

Е. И. ХАЗАНОВ

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЩЕЛОЧНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И ДРУГИХ ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД СПЕКАНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШИХТ

Непременным условием эффективного использования дешевых энергетических ресурсов Восточной Сибири является организация энергоемких производств на базе местного сырья. Одним из этих производств является металлургия легких металлов. Для обеспечения производства алюминия Восточная Сибирь располагает главным образом новыми видами сырья — щелочными алюмосиликатами, основой которых являются нефелин и полевые шпаты (Ужурское, Боргойское Ботокольское, Тальское и др. месторождения), и алюмосиликатами (глины трошковские, бельские и др.), минералами силлиманитовой группы (Кяхтинское, Китойское и др. месторождения).

Переработка щелочных алюмосиликатных пород, впервые освоенная в Советском Союзе, связана с огромным материальным потоком производства и с образованием большого количества побочных продуктов, использование которых в ряде случаев не представляется возможным. Так, при переработке ужурской нефелиновой породы на 1 т окиси алюминия образуется свыше 8 т шламов и около 2,5 т содово-щелочных растворов. При использовании глин для производства глинозема расходуется сода и образуется также большое количество малоценных побочных продуктов — шламов.

Переработка нефелиновых пород производится методом спекания в трубчатых вращающихся печах, которые питаются шихтой в виде пыли, содержащей 28—35% влаги. Это связано с тем, что подготовка шихты к спеканию — помол отдельных ее компонентов — производится в присутствии оборотных растворов, так как многолетней практикой глиноземного производства показано, что удовлетворительное смешение компонентов шихты достигается лишь в случае их совместного мокрого помола. Однако такая подготовка шихт имеет определенные недостатки. При применении шихты в виде пыли только небольшая часть печи используется непосредственно для спекания, а значительная ее длина служит для сушки и окомкования шихты. Все три процесса, протекающие в печи одновременно, требуют для своего осуществления различных условий, создать которые в одном аппарате, предназначенном только для спекания шихты, затруднительно, а порой совершенно невозможно. В результате сушка происходит с большим расходом тепла и значительным избирательным уносом компонентов шихты в виде пыли. Окомкование шихты после ее подсушивания в промышленной вращающейся печи из-за невозможности регулировать этот процесс протекает с образованием неравномерных по крупности гранул — от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в диаметре (рис. 1, а и б). Естественно, что спекание таких гранул происходит теплотехнически неравномерно, а следовательно, и по технологическим результатам неудовлетворительно.

Управление процессами сушки, окомкования шихты и ее спекания во вращающейся печи для получения качественного спека и высоких технологических показателей всех процессов затруднительно.

Устранить указанные недостатки можно, если подготовку мокрой шихты для спекания производить в специальном аппарате — грануляторе — и питать печи для спекания гранулированной шихтой. В этом случае вращающаяся печь будет использована по всей своей длине более производительным как тепловой агрегат для сушки и спекания гранулированной шихты. Расход топлива понизится, повысится качество спека и тем самым извлечение глинозема и щелочей, значительно улучшатся технологические показатели всего передела спекания.

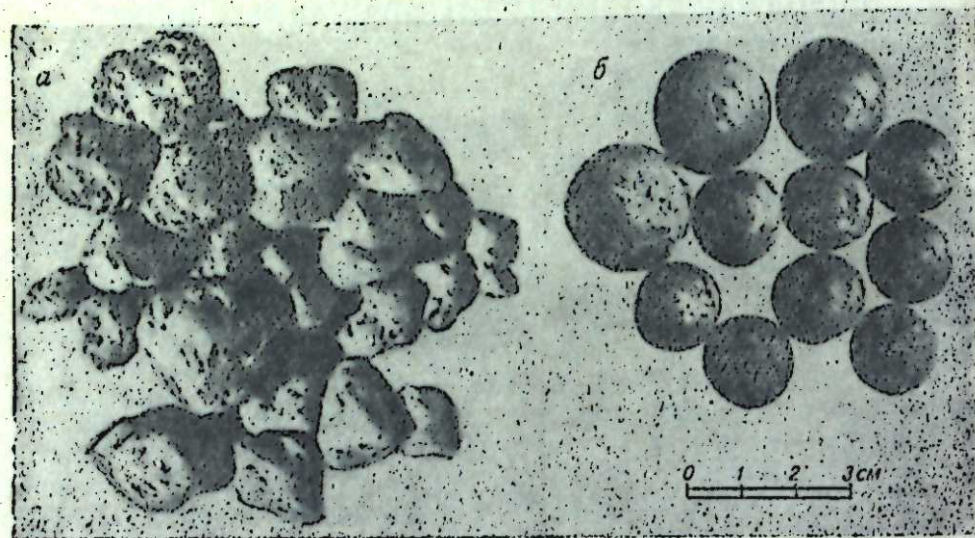


Рис. 1. Вид окатышей, полученных:
а) во вращающейся печи, б) в грануляторе.

Спекание гранулированной шихты имеет ряд преимуществ по сравнению со спеканием так называемой «мокрой» шихты. В ней содержится постоянное относительно небольшое количество влаги — 18—20%, в то время как в пульпе — 28—35%. Гранулы могут подаваться в печь одинаковыми по размеру и тем самым обеспечить лучшие условия для теплообмена. Они отличаются высокой пористостью — 30—35%, хорошим контактом между отдельными компонентами шихты и равномерным распределением материалов шихты по сечению. Гранулы обладают большой прочностью на истирание и сопротивлением раздавливанию, поэтому спекание гранулированной шихты протекает с меньшим образованием пыли и тем самым позволяет сократить потери шихты и расходы на дорогостоящую и громоздкую аппаратуру для пылеулавливания. Регулирование процесса спекания гранулированной шихты значительно упрощается и может быть механизировано и автоматизировано.

Необходимость гранулирования нефелиновых шихт диктуется также тем, что применение новых высокопроизводительных печей «кипящего слоя», находящих себе все более широкое применение в различных отраслях промышленности и намеченных к внедрению в глиноземном производстве, возможно только при подготовке шихты к спеканию гранулированием [1, 2].

Наряду с промышленным освоением печей кипящего слоя в производстве глинозема способом спекания длительное время будут исполь-

зоваться вращающиеся печи как на действующих, так и строящихся глиноземных заводах. Применение гранулированной шихты позволит значительно увеличить производительность цехов спекания без существенной их реконструкции. В связи с этим было предпринято исследование условий гранулирования нефелиновых шихт и влияния добавок сульфитного щелока, бентонита, глины и других добавок на однородность и прочность получаемых для спекания окатышей. От однородности, размеров, состава, прочности гранул зависят производительность печей спекания, расход топлива и качество спека.

Основной задачей является получение гранулированной шихты из пульпы, так называемой «мокрой» нефелиновой шихты. Непосредственное использование «мокрой» шихты для приготовления гранул встречает трудности, главным образом связанные с удалением большого количества влаги. Обезвоживание мокрой шихты-пульпы до оптимальной для гранулирования влажности отстаиванием малопродуктивно, а фильтрация является дорогостоящей операцией.

Гранулирование щелочных алюмосиликатных шихт

Теоретические вопросы гранулирования и влияние добавок на этот процесс рассматриваются в почвоведении и грунтоведении в связи с агрегацией почв [3, 4].

Гранулирование основано на лиофильности твердых частиц шихты. Чем лучше частицы смачиваются жидкостью, тем легче они будут гранулироваться. Существенное значение имеет структура поверхности твердых частиц, состав и свойства жидкости. Под влиянием сил поверхностного натяжения пленка жидкости, покрывающая поверхность твердых частиц, стремится принять шаровидную форму. Пленки жидкости (содержащие твердые частицы), сближаясь, сливаются, образуя при этом прочную связь между твердыми частицами. Поэтому для качественного гранулирования необходимо обеспечить хорошую смачиваемость отдельных зерен твердого материала и равномерное распределение жидкости по их поверхности.

В процессе гранулирования окатыши не только увеличиваются в размерах, но и уплотняются. Прочность их будет зависеть от характера связи жидкости с твердыми частицами.

Силы сцепления, обеспечивающие высокую прочность окатышей, зависят от молекулярных сил, вызывающих химические связи или адсорбцию жидкости поверхностью твердого тела [5]. Силы, определяющие химическую связь, более прочны, менее прочны связи, характеризующиеся как физико-химические, основой которых являются, в частности, молекулярные (адсорбционные), а также капиллярные силы сцепления.

Существенную роль играет толщина адсорбированной пленки жидкости. Чем тоньше пленка жидкости, тем прочнее связь [6].

В процессе образования окатышей гранулированием, как мы видим, значительную роль играют поверхностные явления, в том числе прочность пленки жидкости между твердыми частицами. Прочность пленки является функцией ее поверхностной энергии и определяется поверхностным натяжением.

Для измерения поверхностного натяжения на границе жидкости с твердой поверхностью нет надежных методов. Мерилем поверхностного натяжения жидкости на границе с твердой фазой служит краевой угол смачивания капли жидкости, находящейся на твердой поверхности. Чем

меньше краевой угол смачивания, тем меньше поверхностное натяжение, тем лучше жидкость смачивает твердую поверхность.

Для теоретического обоснования роли состава жидкости и добавок в процессе гранулирования были предприняты исследования зависимости величины краевых углов смачивания основных минералов нефелиновой шихты содовыми, алюминатными и другими растворами от их состава и концентрации.

Определение краевых углов смачивания*

Для определения краевых углов смачивания был использован оптический метод и аппаратура, аналогичные примененным А. И. Беляевым и Е. А. Жемчужиной [7] при исследовании смачиваемости твердых тел расплавами, с тем отличием, что отражение нанесенной капли на минерале экспонировалось на фотобумагу.

Исследовались минералы, составляющие нефелиновые шихты: нефелин, кальцит, авгит; полевые шпаты: альбит, микролин, ортоклаз; уголь; содовые растворы концентрации: 10, 20, 30, 50, 75 и 100 г/л; алюминатные растворы концентрации: 3, 7, 10, 15 и 25 г/л; водный раствор сульфитного щелока: 0,5, 1,0, 2,0 и 3,0%. Минералы тщательно полировались и устанавливались на столик строго горизонтально. Контроль горизонтальности шлифа осуществлялся с помощью микрометрического уровня. Раствор заданного состава наносился с помощью микробюретки в виде капли строго постоянного размера — 0,2 мл. Изображение капли проектировалось на фотобумагу, закрепленную на экране. Оптической линзой служил объектив фотоаппарата «Зоркий». Во время экспозиции, которая продолжалась 10 сек, аппарат с экраном затемнялись.

Замеры конфигурации капли через 5, 10, 15, 20 и 25 сек показали, что равновесие между жидкостью и поверхностью минерала устанавливается со временем и краевой угол смачивания после 15 сек выдержки остается постоянным. Поэтому нанесенная капля фотографировалась после 15 сек выдержки. Опыты проводились при постоянной температуре 18—20°.

Повторно краевой угол смачивания определялся путем нанесения капли жидкости на соседний участок минерала. На каждом минерале с одной и той же жидкостью производилось не менее 3 замеров. Величина полученных углов определялась с аналитической точностью до 0,1°. Шлифы после каждого опыта промывались дистиллированной водой, протирались спиртом, просушивались в течение 12 ч при комнатной температуре и подшлифовывались сукном с целью повторного использования для определения краевых углов смачивания растворами другого состава или концентрации.

Определение краевых углов смачивания основных минералов, составляющих нефелиновые шихты, содовыми и алюминатными растворами различной концентрации показало, что с увеличением концентрации указанных растворов угол смачивания минералов уменьшается (рис. 2 и 3). Углы смачивания кальцита содовыми растворами уменьшаются в меньшей степени и практически остаются постоянными при всех значениях исследованных концентраций содовых растворов. Исследованные минералы могут быть подразделены на хорошо смачиваемые — минералы нефелиновой породы и хуже смачиваемые — кальцит и уголь. Хотя по величине краевых углов смачивания различными по составу и концентрации растворами исследованные минералы незначи-

* Выполнено Д. Д. Отто.

но отличаются друг от друга, их можно расположить по степени уменьшения в следующий ряд: для содовых растворов — кальцит — авгит — альбит — ортоклаз — микролин — нефелин (см. рис. 2), для алюминатных растворов — кальцит — нефелин — канкренин — ортоклаз — альбит (см. рис. 3).

Поскольку с уменьшением угла смачивания увеличиваются силы сцепления между раствором и минералом, то для создания оптимальных

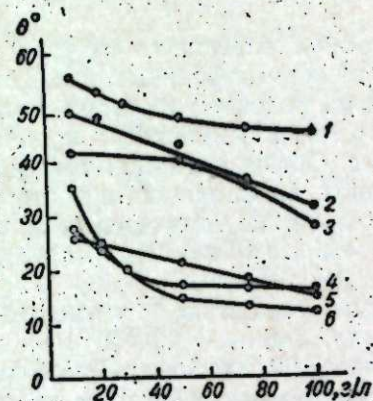


Рис. 2. Зависимость величины краевого угла смачивания основных минералов нефелиновой шихты от концентрации содового раствора (1 — кальцит, 2 — авгит, 3 — альбит, 4 — ортоклаз, 5 — микролин, 6 — нефелин).

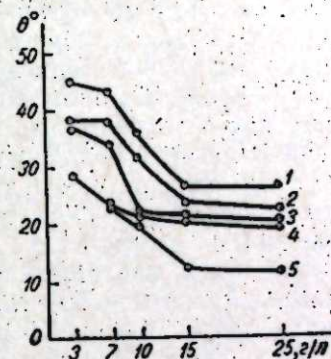


Рис. 3. Зависимость величины краевого угла смачивания основных минералов нефелиновой шихты от концентрации алюминатных растворов (1 — кальцит, 2 — нефелин, 3 — канкренин, 4 — ортоклаз, 5 — альбит).

условий получения прочных гранул нефелиновых шихт в качестве увлажняющих следует использовать растворы с возможно более высоким содержанием соды (более 100 г/л) и алюмината натрия, что согласуется с данными других авторов [2]. Таким требованиям удовлетворяют оборотные растворы, полученные после карбонизации при производстве глинозема способом спекания.

Приготовление гранул

При определении оптимальных условий гранулирования ужурских нефелиновых шихт было показано [8], что без специальных добавок получить прочные гранулы непосредственно из мокрой шихты невозможно. Оптимальная влажность для получения из ужурской нефелиновой шихты прочных гранул диаметром 10—20 мм равна 17—18%. При добавке сульфитного щелока в шихту размеры сырых и в особенности высушенных гранул и их прочность увеличиваются, снижается количество пыли, образующейся при истирании. Распределение в гранулах твердых частей шихты — нефелина, известняка и угля — равномерное, а воды и растворенной в ней соды и алюмината натрия неравномерное. Их содержание убывает от центра к периферии гранул. Чем ближе содержание влаги к оптимальной влагоемкости, тем равномернее распределяется вода и воднорастворимые компоненты шихты в гранулах [9].

Опыт гранулирования цементных смесей [10] и металлургических шихт [11] показал, что значительное увеличение прочности гранул достигается при введении в шихту поверхностно-активных добавок или пластификаторов. Из веществ, обладающих поверхностно-активными

или пластичными свойствами, в процессе гранулирования были испытаны сульфитный шелок, водные растворы NaCl , CaCl_2 , H_2SO_4 , раствор декстрина, глина, силикагель и др. Их влияние на свойства окатышей различно. Так, например, сульфитный шелок образует тонкую пленку клеящего вещества — смолы; глины тонко дисперсны, характеризуются развитой поверхностью и высокой пластичностью, они обладают свойствами ионного обмена; электролиты участвуют в обменной адсорбции с поверхностью твердых частиц.

Значительную роль в упрочнении гранул, особенно в случае добавки поверхностно-активных веществ, играют ионно-обменные реакции. Эти реакции обмена катиона глины на катионы солевого раствора, как показал К. К. Гедройц [3], протекают быстро в эквивалентных количествах в соответствии с законом действия масс. Обмен катионов твердых частиц на эквивалентное количество катионов, находящихся в соприкасающейся с ними жидкости, выражается емкостью поглощения в миллиграмм-эквивалентах на 100 г сухой массы. Из обменных катионов наиболее активными являются H^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} .

Из глинистых минералов наибольшей емкостью поглощения обладает монтмориллонит — 60—120 мг · экв, иллит — 20—40 мг · экв, а каолинит — всего лишь 3—15 мг · экв на 100 г сухой массы. Монтмориллонитовая глина (бентонит), содержащая натрий в виде обменного (поглощенного) катиона, может адсорбировать в 2—3 раза больше воды, чем подобная же глина, содержащая кальций.

Адсорбция гидроксильных ионов, всегда присутствующих в жидкости, вызывает уже при малых концентрациях значительное повышение гидрофильности глин. В результате адсорбции ионов из жидкости на твердой частице создается двойной электрический слой, способствующий образованию прочного слоя жидкости, соединяющего твердые частицы.

Введение избытка поверхностно-активных веществ бесполезно, а иногда может оказаться вредным, так как некоторые из них снижают поверхностное натяжение жидкости. Однако добавка в нефелиновую шихту таких поверхностно-активных веществ, как глины, представляет особый интерес в связи с тем, что при этом в нее вводятся полезные компоненты.

Учитывая высокую эффективность добавок глин при гранулировании различных смесей, мы провели опыты по установлению влияния добавок бентонитовой (монтмориллонитовой) глины и глин Трошковского, Еленинского и других месторождений на процесс гранулирования и свойства окатышей ужурской, боргойской и ботогольской нефелиновых шихт (табл. 1).

Гранулирование выполнялось на лабораторном тарельчатом грануляторе с диаметром чаши 290 мм и высотой борта 100 мм, углом ее наклона 45° , при скорости вращения 51 об/мин.

Выход гранул крупных фракций с увеличением добавки бентонита или глины повышается (рис. 4), наряду с этим повышается оптимальная влажность шихты. Добавка 1% бентонитовой глины или 3% трошковской глины позволяет увеличить содержание воды в гранулированной шихте до 23% против 16—17% для шихты без добавок (рис. 5). Прочность как сырых, так и высушенных гранул возрастает одновременно с увеличением содержания добавок глин в шихте и ее влажности.

Например, прочность сырых гранул диаметром 10 мм, содержащих 1% бентонита, с увеличением влажности с 17 до 18 и 20% возрастает соответственно с 285 до 330 и 445 г. Прочность просушенных гранул с 1% бентонита при увеличении влажности в тех же пределах возрастает

Таблица 1

Химический состав исходных материалов

Наименование материала	Содержание, %											
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	п.п.п.	H_2O	C	FeO
Нефелин ужурский	23,7	40,8	3,76	1,04	8,77	8,87	1,15	2,0	4,63	—	—	4,88
Нефелин боргойский	20,47	54,80	2,39	0,54	1,54	8,23	5,11	0,30	0,74	—	—	2,88
Нефелин ботогольский	22,47	53,71	0,16	0,5	2,55	7,47	6,72	0,53	1,32	—	—	2,87
Глина бентонитовая	12,56	67,34	1,89	1,1	п/об	0,12	—	—	5,41	4,04	—	—
Глина трошковская	35,17	45,74	0,77	0,96	0,6	0,24	—	12,55	—	—	—	—
Глина еленинская	37,52	48,27	0,3	0,25	2,38	2,47	—	4,32	12,04	—	—	0,5
Известняк заиграевский	—	0,3	—	—	56,24	—	—	—	43,06	—	—	—
Уголь назаровский	0,503	4,57	1,36	0,05	3,62	—	—	0,34	—	—	—	58,5

тает соответственно с 860 до 1120 и 1130 г, а у гранул диаметром 20 мм, полученных при 22% влажности, она достигает 20 кг. При этом добавки бентонита в большей степени повышают прочность окатышей, чем добавки каолинитовой глины и водного раствора сульфитного щелока.

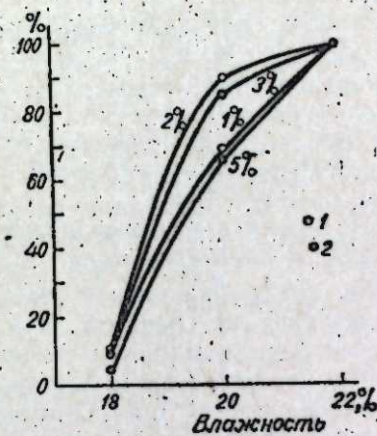


Рис. 4. Выход окатышей + 10 мм в зависимости от количества добавок и исходной влажности шихты (добавки: 1 — бентонит; 2 — трошковская глина).

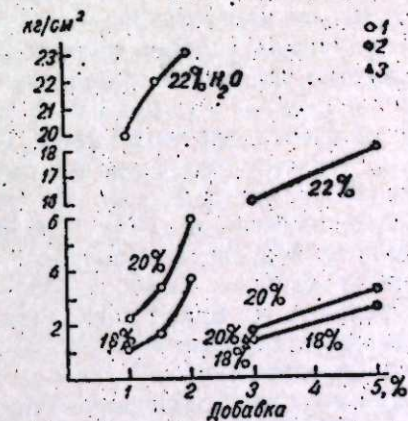


Рис. 5. Прочность окатышей в зависимости от количества добавок и исходной влажности шихты (добавки: 1 — бентонит, 2 — глина, 3 — сульфитный шелок).

Для получения высушенных гранул одинаковой прочности добавка 1% бентонита эквивалентна добавке 3% трошковской глины. Добавка 1,5% бентонита эквивалентна добавке 5% трошковской глины. Упрочняющее действие 3% трошковской глины на гранулы приблизительно такое же, как и действие 3-процентного раствора сульфитного щелока. Равные количества трошковской глины и сульфитного щелока примерно в одинаковой степени упрочняют получаемые гранулы. Прочность гранул, содержащих добавки бентонита и глины, определенная путем сбрасывания на чугунную плиту с высоты 2 м, высока. Сырые и просушенные окатыши с указанными добавками не разрушаются при падении с высоты 1,2 м.

Спекание гранулированных щелочных алюмосиликатных шихт*

Эффективность использования гранулированных щелочных алюмосиликатных шихт определялась специальными опытами их спекания и гидрохимической обработки измельченных до 0,3 мм спеков стандартными растворами — 0,5 моля карбонатной и 0,25 моля каустической щелочи на моль глинозема в спеке при 70° в течение 30 мин.

Спекание шихт производилось при равномерном подъеме температуры 7—10° в минуту, выдержка при заданной температуре составляла 1 ч, затем спек охлаждался до 600° со скоростью 6—10° в минуту. Предварительно оптимальная температура спекания определялась катетометрическим методом [12] путем измерения усадки пирамид при нагревании до расплавления.

Шихты, сгранулированные по указанной выше методике, спекались при температурах, соответствующих температурам интенсивной усадки пирамид, изготовленных из исследуемых шихт. Для сравнения были проведены опыты спекания брикетированных шихт.

Исследовались шихты на основе нефелиновых пород Ужурского (Красноярский край), Боргойского (Джидинского) и Ботогольского (Бур. АССР) месторождений с добавками глин Еленинского (Челябинская область) и Трошковского (Иркутская область) месторождений, а также бентонитовых глин Оглалинского месторождения (Туркменская ССР). В качестве восстановителя использовался уголь Назаровского месторождения (Красноярский край).

Добавка глин не только позволяет использовать для приготовления шихты пульпу измельченных исходных материалов без фильтрации или сушки, улучшить условия подготовки шихты и результаты ее спекания, но и заметно увеличить содержание глинозема в спеке (табл. 2), а тем самым уменьшить материальный поток производства глинозема из щелочных алюмосиликатных пород. Так, при добавке трошковской глины около 20% к весу ужурской нефелиновой шихты, содержание глинозема в спеке повысится на 20% (с 11,6 до 15,3%). Добавка к боргойской шихте трошковской глины (70% нефелина, 30% глины) повышает содержание глинозема в спеке примерно на 20%. Добавка глины в нефелиновую шихту снижает оптимальную температуру ее спекания, при этом температурный интервал спекообразования расширяется.

Шихты, в которые введено свыше 60% глины к весу нефелина, становятся чрезвычайно пластичными и трудно поддаются гранулированию. Для их подготовки потребуется использовать аппаратуру керамического производства.

Таким образом, добавка в нефелино-содово-известняковую шихту в количестве глины 3—5% к весу шихты позволяет получать прочные гранулы из пульпы, а при более высокой добавке (20—30%) не только улучшить условия приготовления шихты, но и повысить эффективность производства глинозема из щелочных алюмосиликатных шихт.

Комплексная переработка нефелиновой шихты с добавками значительных количеств глин позволит в некоторой мере разрешить проблему использования белитового шлама, количество которого будет в этом случае получаться на 20—25% меньше, чем при применении нефелиновых шихт без специальных добавок.

Следует отметить, что наряду с понижением количества белитового шлама, приходящегося на единицу глинозема, снизится и выход содово-щелочных растворов.

* Выполнено Д. Д. Отто, А. Ф. Хлюпиной, Э. М. Шинилинниковой.

Таблица 2

Извлечение Al_2O_3 и R_2O из гранулированных шихт различного состава

Шихта	t° спекания	Извлечение, %		Содержание Al_2O_3 в спеке, %
		Al_2O_3	R_2O	
Ужурская нефелиновая содово-известняковая ненасыщенная шихта с восстановителем	1260	91,6	96,6	11,6
То же, брикетированная	1260	91,5	96,0	.
Ботогольская нефелиновая содово-известняковая ненасыщенная шихта с восстановителем	1290	85,0—90,0	85,0—89,0	.
То же, брикетированная	1290	85,0	87,0—90,0	.
Боргойская (Джидинская) нефелиновая содово-известняковая ненасыщенная шихта с восстановителем	1170	85,0	87,0	10,1
То же	1270	77,7	92,3	.
То же, с добавкой 10% трошковской глины, 90% нефелина	1190	83,2	86,07	.
То же	1250	93,98	81,8	.
То же (20% глины, 80% нефелина)	1225	81,5	83,2	.
То же	1290	83,34	81,9	.
То же (30% глины, 70% нефелина)	1150	86,81	80,70	.
То же	1290	81,64	84,2	.
То же (40% глины, 60% нефелина)	1200	86,79	85,14	.
То же	1290	91,0	85,52	.
Ужурская нефелиновая содово-известняковая ненасыщенная шихта с восстановителем, с добавкой еленинской глины (40% глины, 60% нефелина)	1190	94,58	83,6	15,33
Ужурская нефелиновая содово-известняковая ненасыщенная шихта с восстановителем, с добавкой еленинской глины (90% нефелина, 10% глины)	1180	87,9	91,6	14,33
То же (80% нефелина, 20% глины)	1160	88,6	89,1	14,66
То же (70% нефелина, 30% глины)	1220	87,4	89,2	15,06
То же (60% нефелина, 40% глины)	1190	81,1	92,6	15,5
То же (50% нефелина, 50% глины)	1200	86,7	81,3	15,96
То же (40% нефелина, 60% глины)	1160	89,0	81,6	16,6
Ужурская нефелиновая содово-известняковая ненасыщенная шихта с восстановителем, с добавкой еленинской глины (62,5% нефелина, 37,5% глины)	1200	89,68	90,16	13,6
То же (55,5% нефелина, 44,5% глины)	1250	97,9	82,83	14,0
То же	1290	89,07	82,53	.
Трошковская глина	1160	75,49	85,28	.

Комплексная переработка щелочных алюмосиликатных руд в смеси с алюмосиликатами и другими глиноземсодержащими рудами представляет интерес для ряда экономических районов Советского Союза: Бур. АССР — боргойские нефелины и шламы обогащения кяхтинских силлиманитов, глины; Красноярский край — ужурские нефелины и бельские глины и т. д.

Учитывая, что использование комплексных шихт позволит снизить материальный поток производства, уменьшить количество образующихся малоценных побочных продуктов и усовершенствовать технологию производства глинозема, следует предпринять широкие лабораторные исследования и проверку в условиях, моделирующих производственные

методы комплексной переработки щелочных алюмосиликатных пород в смеси с алюмосиликатными и другими глиноземсодержащими рудами для его технико-экономической оценки, применительно к конкретным условиям определенного экономического района.

Выводы

Рассмотрено значение гранулирования в технологии переработки щелочных алюмосиликатных шихт и влияние поверхностно-активных веществ на процесс гранулирования и свойства гранул. Определены краевые углы смачивания основных минералов нефелиновой шихты содовыми аллюминатными растворами различной концентрации.

Исследованы условия гранулирования щелочных алюмосиликатных шихт и влияние добавок сульфитного щелока, бентонитовых и других глин на свойства окатышей. Показано, что с увеличением добавок бентонита и глин повышается как допускаемая оптимальная влажность шихты, так и прочность сырых и высушенных гранул.

Выполнены опыты спекания гранулированных щелочных алюмосиликатных шихт различного состава и показана эффективность их использования. Степень извлечения глинозема и щелочей из гранулированной или брикетированной шихты в лабораторных условиях практически примерно одинакова. При добавке в нефелиновую содово-известняковую шихту расчетного количества соды или содово-поташной смеси и известняка, необходимых для связывания глинозема и кремнезема глины в щелочной алюминат и двукальциевый силикат, можно извлечь глинозем не только из нефелина, но и из глины. Общее извлечение глинозема из такой шихты достигает 85—90%.

Добавка глин или подобных им алюмосиликатов в нефелиновую содово-известняковую шихту позволит просто разрешить вопрос обезвоживания шихты, использовать исходные измельченные материалы в виде пульпы, повысить содержание влаги в сырых окатышах, снизить количество образующейся пыли и сократить расходы на дорогостоящую и громоздкую аппаратуру пылеулавливания, повысить содержание глинозема в спеке, увеличить общее извлечение глинозема из исходного сырья, повысить производительность аппаратуры глиноземного производства, снизить материальный поток побочных продуктов — белитового шлама — на тонну получаемого глинозема, что упростит проблему использования алюмосиликатных пород в глиноземной промышленности. Добавка алюмосиликатов в нефелиновую шихту позволит комплексно использовать дешевые широко распространенные виды глиноземного сырья, расширить сырьевую базу глиноземного производства.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутск

Поступила в редакцию
3/II 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Лабутин, Н. В. Иванов, Р. И. Меламед, Разработка метода грануляции «мокрой» известняково-нефелиновой шихты. Тр. ВАМИ, № 40, 1957.
2. Д. М. Чижиков, И. Н. Китлер, Н. А. Ковякина, Экспериментальные исследования по грануляции нефелиновых шихт и спеканию их в кипящем слое. Тр. ВСФАН СССР, вып. 13, т. II, 1958.
3. К. К. Гедройц, Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. Избр. соч., т. I, М., 1955.

4. В. Д. Ломтадзе, Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолгиздат, 1952.
5. П. А. Ребиндер, Краевые углы смачивания и их роль во флотации. Тр. II науч.-техн. сессии Ин-та Механобра. Metallurgizdat, 1952.
6. Б. В. Дерягин, Упругие свойства тонких слоев воды. Журн. физ. химии, т. III, вып. I, 41, 1932.
7. А. И. Беляев, Е. А. Жемчужина, Поверхностные явления в металлургических процессах. Metallurgizdat, 1952.
8. Е. И. Хазанов, А. С. Галков, Д. Д. Отто, Опыт моделирования в лабораторных условиях процесса спекания алюмосиликатных шихт. Мат-лы совещ. по химии и технологии глинозема, Алма-Ата, 1961.
9. Е. И. Хазанов, Э. М. Шишляникова, А. С. Галков, Распределение воднорастворимой щелочи в спеках нефелиново-содово-известняковых шихт. Мат-лы совещ. по химии и технологии глинозема, Ереван, 1961.
10. Л. А. Беренштейн, М. Б. Френкель, Грануляция цементных смесей при сухом и мокром способах подготовки. Госстройиздат, 1959.
11. Г. Клат, Регулирование работы тарельчатых грануляторов Zement — Kalk — Gips II, № 4, 1958 (пер. в сб. Химия и технология силикатов, № 6, 1958).
12. А. Ф. Хлюпина, Е. И. Хазанов, Температурный интервал спекообразования щелочных алюмосиликатных шихт. Мат-лы совещ. по химии и технологии глинозема. Алма-Ата, 1961.

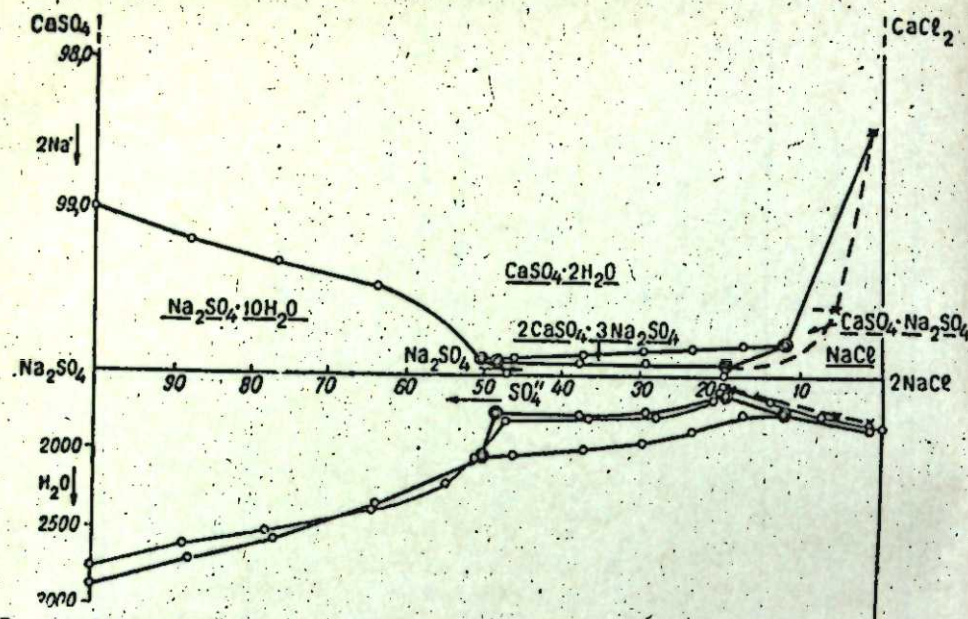


Рис. 1. Изотерма системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°C (литературные данные):
штриховая линия — по Вант-Гоффу и Блэдалю; сплошная жирная — по Камерону и др.; сплошная тонкая — $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

Камероном, и поле игольчатого двойного сульфата, которому Д'Анс, однако, согласно своим уже упомянутым определениям, приписывал формулу $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и который он называл «лабильной» солью. Мнение Д'Анса, что «лабильная» соль тождественна сульфату Камерона, основывалось на ошибочном убеждении [9], что возможно существование лишь двух двойных сульфатов кальция и натрия: глауберита $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ и «лабильной» соли $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Экспериментальная часть

В нашей работе ставилась цель получить стабильную изотерму системы при 25°C и выяснить взаимоотношения двух двойных сульфатов: глауберита и «игольчатого» сульфата в системе при этой температуре. Система изучалась изотермическим методом. В ходе изучения равновесия определялись: показатель преломления (n_D^{25}) жидкой фазы до четвертого десятичного знака, ее удельный вес, проводились микроскопическое и кристаллооптическое изучение твердых фаз и их термический анализ, химический анализ жидкой фазы. Кальций и сульфат-ион определялись классическими весовыми методами, хлор — объемным по Мору, натрий — по разности. Минимальный срок установления равновесия в системе — не менее 4 недель. Установление равновесия фиксировалось по постоянству показателя преломления, удельного веса и химического состава раствора (при неизменности донной фазы). Полученные данные сведены в табл. 2 и представлены в виде изотермы на рис. 2. Сплошной жирной линией даны граничные линии стабильной изотермы, штриховой — метастабильной, тонкой — изотерма для тройной системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ (построенная по вероятным значениям растворимости из справочника Здановского [10], полученным на основании анализа данных различных авторов). По вертикальной оси

Таблица 2

Изотерма системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°C

Номера точек	Жидкая фаза					n_D^{25}	d_{25}^{25}	Твердая фаза	Примечания
	весовые %								
	CaSO_4	Na_2SO_4	NaCl	SO_4^{2-}	2Na^+				
1	0,208	21,29	—	100	98,99	2878	1,2123	Мирабилит + гипс	Камерон, Белл и Робинзон [5] Наши данные
2	0,170	19,32	3,38	82,61	99,28	2580	1,3660	Мирабилит + гипс + глауберит	
3	0,146	17,27	6,18	69,88	99,37	2415	1,3682	Мирабилит + гипс + глауберит	Вероятные значения растворимости, по Здановскому [10] Наши данные
4	0,064	15,91	9,80	57,30	99,76	2184	1,3730	Мирабилит + глауберит	
5	0,030	15,29	14,96	46,92	99,91	1701	1,3788	Мирабилит + глауберит + тенардит	Вероятные значения растворимости, по Здановскому [10] Наши данные
6	—	15,0	14,2	46,55	100	1730	—	Мирабилит + тенардит	
7	0,023	11,55	17,61	35,10	99,92	1693	1,3798	Тенардит + глауберит	Наши данные. Узловые точки метастабильного поля игольчатого двойного сульфата $2\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
8	0,017	8,96	20,59	26,41	99,94	1633	1,3813	Тенардит + галит	
9	—	6,9	22,9	19,85	100	1595	—	Тенардит + галит	Наши данные. Узловые точки метастабильного поля игольчатого двойного сульфата $2\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
10	0,023	6,97	22,94	20,07	99,93	1590	1,3831	Тенардит + галит + глауберит	
11	0,036	3,70	27,74	11,06	98,89	1668	1,3815	Галит + глауберит	Наши данные
12	0,135	1,71	25,61	5,60	99,56	1735	1,3807	Галит + глауберит + гипс	
13	0,454	—	26,60	1,44	98,56	1750	1,3805	Галит + гипс	Наши данные. Узловые точки метастабильного поля игольчатого двойного сульфата $2\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
14	0,105	15,22	10,16	55,39	99,60	2123	1,3720	Гипс + мирабилит + игольчат. сульфат	
15	0,082	3,42	24,77	10,43	99,75	1660	1,3814	Гипс + галит + игольчат. сульфат	Растворы внутренней части поля для двойного сульфата (син. тез)
16	0,022	15,08	14,18	46,45	99,92	1724	1,3788	Мирабилит + тенардит + игольчат. сульфат	
17	0,024	6,95	23,08	19,91	99,93	1575	1,3831	Тенардит + галит + игольчат. сульфат	Состав «остатков», включающих двойной игольчатый сульфат и захваченный маточник.
19	0,032	12,95	15,54	40,74	99,89	1769	—	Двойной игольчатый сульфат	
20	0,039	8,30	20,32	25,23	99,90	1702	—	Двойной игольчатый сульфат	
19'	9,32	24,86	11,53	71,17	79,97	880,5	—	—	
20'	9,69	21,51	15,29	63,00	79,84	840,5	—	—	

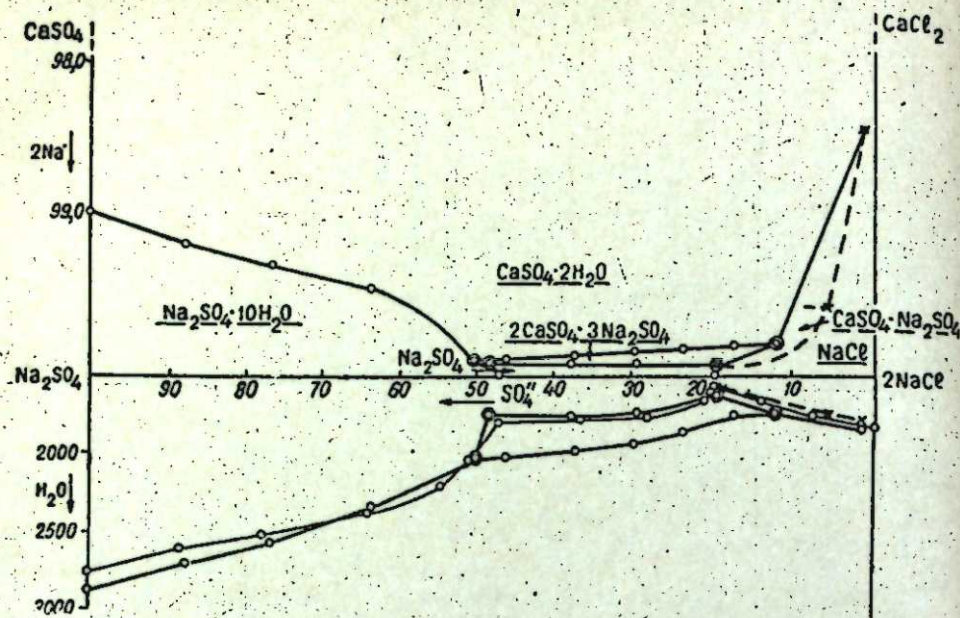


Рис. 1. Изотерма системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°C (литературные данные):
штриховая линия — по Вант-Гоффу и Блездалю; сплошная жирная — по Камерону и др.; сплошная тонкая — $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

Камероном, и поле игольчатого двойного сульфата, которому Д'Анс, однако, согласно своим уже упомянутым определениям, приписывал формулу $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и который он называл «лабильной» солью. Мнение Д'Анса, что «лабильная» соль тождественна сульфату Камерона, основывалось на ошибочном убеждении [9], что возможно существование лишь двух двойных сульфатов кальция и натрия: глауберита $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ и «лабильной» соли $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Экспериментальная часть

В нашей работе ставилась цель получить стабильную изотерму системы при 25°C и выяснить взаимоотношения двух двойных сульфатов: глауберита и «игольчатого» сульфата в системе при этой температуре. Система изучалась изотермическим методом. В ходе изучения равновесия определялись: показатель преломления (n_D^{25}) жидкой фазы до четвертого десятичного знака, ее удельный вес, проводились микроскопическое и кристаллооптическое изучение твердых фаз и их термический анализ, химический анализ жидкой фазы. Кальций и сульфат-ион определялись классическими весовыми методами, хлор — объемным по Мору, натрий — по разности. Минимальный срок установления равновесия в системе — не менее 4 недель. Установление равновесия фиксировалось по постоянству показателя преломления, удельного веса и химического состава раствора (при неизменности донной фазы). Полученные данные сведены в табл. 2 и представлены в виде изотермы на рис. 2. Сплошной жирной линией даны граничные линии стабильной изотермы, штриховой — метастабильной, тонкой — изотерма для тройной системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ (построенная по вероятным значениям растворимости из справочника Здановского [10], полученным на основании анализа данных различных авторов). По вертикальной оси

Таблица 2

Изотерма системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°C

Номера точек	Жидкая фаза					n_D^{25}	d_{25}^{25}	Твердая фаза	Примечания
	весовые %		индексы						
	CaSO_4	Na_2SO_4	NaCl	SO_4^{2-}	2Na^+				
1	0,208	21,29	—	100	98,99	2878	—	Мирабилит + гипс	Камерон, Белл и Робинзон [5]
2	0,170	19,82	3,38	82,61	99,28	2580	1,2123	Мирабилит + гипс + глауберит	Наши данные
3	0,146	17,27	6,18	69,88	99,37	2415	1,3660	Мирабилит + гипс + глауберит	»
4	0,064	15,91	9,80	57,30	99,76	2184	1,3682	Мирабилит + глауберит	»
5	0,030	15,29	14,96	46,92	99,91	1701	1,3730	Мирабилит + глауберит + тенардит	»
6	—	15,0	14,2	46,55	100	1730	1,3788	Мирабилит + тенардит	Вероятные значения растворимости, по Здановскому [10]
7	0,023	11,55	17,61	35,10	99,92	1693	—	Тенардит + глауберит	Наши данные
8	0,017	8,96	20,59	26,41	99,94	1633	1,3798	Тенардит + галит	Вероятные значения растворимости, по Здановскому [10]
9	—	6,9	22,9	19,85	100	1595	1,3813	Тенардит + галит	Наши данные
10	0,023	6,97	22,94	20,07	99,93	1590	—	Тенардит + галит + глауберит	»
11	0,036	3,70	27,74	11,06	98,89	1668	1,3831	Галит + глауберит	»
12	0,135	1,71	25,61	5,60	99,56	1735	1,3807	Галит + гипс	»
13	0,454	—	26,60	1,44	98,56	1750	1,3805	Галит + гипс	»
14	0,105	15,22	10,16	55,39	99,60	2123	1,3720	Гипс + мирабилит + игольчат. сульфат	»
15	0,082	3,42	24,77	10,43	99,75	1660	1,3720	Гипс + галит + игольчат. сульфат	Наши данные. Узловые точки метастабильного поля игольчатого двойного сульфата $2\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
16	0,022	15,08	14,18	46,45	99,92	1724	1,3788	Мирабилит + тенардит + игольчат. сульфат	»
17	0,024	6,95	23,08	19,91	99,93	1575	1,3831	Тенардит + галит + игольчат. сульфат	»
19	0,032	12,95	15,54	40,74	99,89	1769	—	Двойной игольчатый сульфат	Растворы внутренней части поля двойного сульфата (син-тез)
20	0,030	8,30	20,32	25,23	99,90	1702	—	»	»
19'	9,32	24,86	11,53	71,17	79,97	880,5	—	»	»
20'	9,69	21,51	15,29	63,00	79,84	840,5	—	»	Состав «остатков», включающих двойной игольчатый сульфат и захваченный маточник.

так же, как и в рис. 1, увеличен масштаб (для наглядности изображения), кроме диаграммы состава солевой массы дана водная диаграмма.

Передвижение внутрь изотермы при пополнении системы третьим солевым компонентом осуществлялось в основном от двух двойных точек: 1) узловой точки гипс — мирабилит тройной системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$, состав раствора для нее принят по Камерону, Беллу и Робинзону (см. табл. 2, точка № 1); 2) точки взаимного насыщения натрия (двойная кривой растворимости гипса в растворах хлористого натрия (двойная точка «квазитройной» системы $\text{CaSO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$, см. табл. 2, точка № 13).

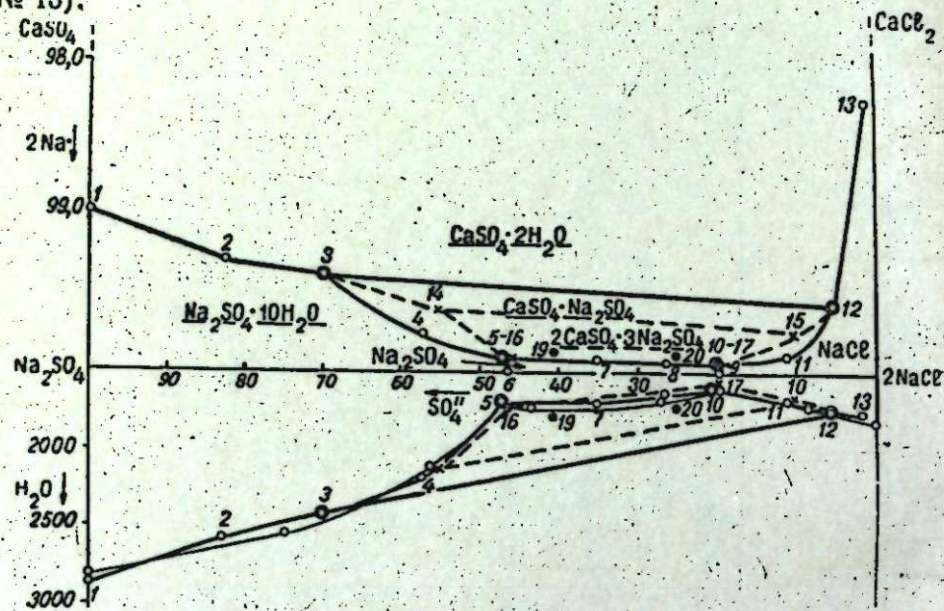


Рис. 2. Изотерма системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°C (данные автора): сплошная жирная линия — стабильная изотерма; штриховая — метастабильная изотерма; тонкая линия — $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ [10].

Передвижение это осуществлялось двумя путями: при введении затравки глауберита и без введения затравки глауберита. По первому пути (с затравкой) были получены почти все точки стабильной диаграммы, по второму (без затравки) — верхние точки метастабильного поля. Нижние точки метастабильного поля были получены из двойных точек системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при пополнении их гипсом, который полностью переходил в игольчатый сульфат за несколько дней.

Для нижних точек стабильного поля был осуществлен также подход со стороны системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$, но при пополнении глауберитом, что дало данные, совпадающие с полученными по первому пути.

Следует отметить, что: 1) гипс в растворах, соответствующих полю метастабильного игольчатого сульфата, даже в присутствии глауберита почти всегда первоначально переходит в игольчатый сульфат; 2) метастабильность игольчатого двойного сульфата в системе по отношению к глаубериту для 25° очевидна, так как при длительном перемешивании растворов метастабильного поля наблюдается самопроизвольный переход игольчатого сульфата в глауберит, переход при введении затравки происходит быстрее; 3) задержки в наступлении стабильного равновесия, вызываемые образованием игольчатого сульфата, очень длительны. При этом разложение игольчатого сульфата в растворах в верхней части

метастабильного поля происходит значительно быстрее (через 4—6 недель после образования без затравки), чем в растворах нижней его части, прилегающей к тенардитовому полю (через 1,5—2 года без затравки и немногим менее с затравкой); 4) задержки эти несколько больше для растворов части метастабильного поля, прилегающей к мирабилитовому полю, чем к галитовому (для соответственных точек).

Для характеристики игольчатого сульфата был произведен синтез в двух растворах различных концов его поля. Были проанализированы растворы и остатки, полученные при отделении твердой фазы от основной массы раствора, но полностью отделить игольчатый сульфат не

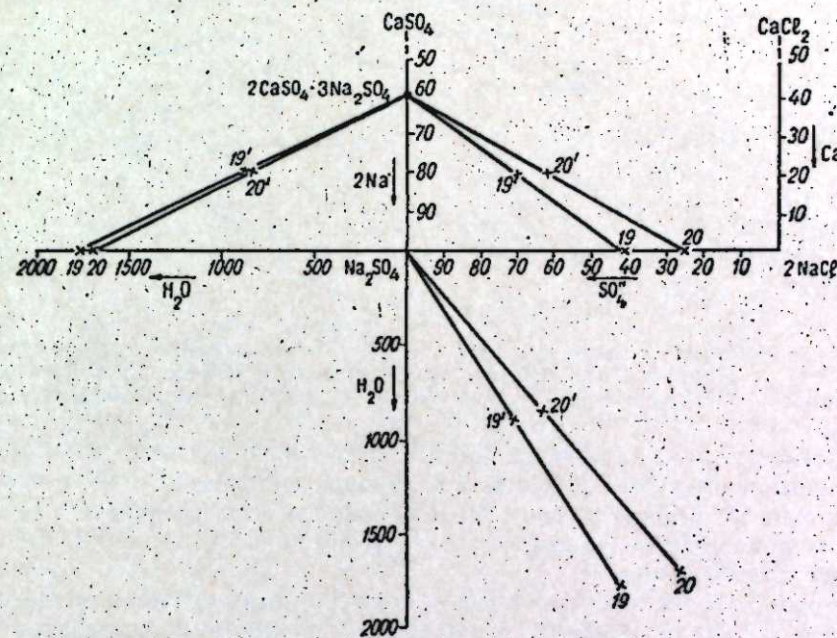


Рис. 3. Нахождение состава двойного сульфата методом остатков в диаграмме, по Енеке.

удавалось, так как он выпадает в виде хлопьев, захватывающих большое количество маточника (см. табл. 2, точки 19, 20 и 19', 20'). По анализам было произведено графическое определение состава методом «остатков» в диаграмме, по Енеке, а также подсчет состава соли при исключении маточника, количество которого определялось по неизменному компоненту NaCl (в первом случае были использованы две водные диаграммы, построенные на различных сторонах солевого квадрата, рис. 3). Оба определения дали состав, совпадающий с определением Камерона, Белла и Робинзона.

Игольчатый сульфат — длинные, очень тонкие иглы, слабо просвечивающие при скрещенных николях, со слабым прямым или почти прямым погасанием, показатель преломления которых определен нами равным $1,495 \pm 0,003$ (для образцов как отмытых от маточника спиртом и водно-спиртовой смесью, так и полученных подсушиванием при комнатной температуре).

Характер термических кривых этой фазы различен в зависимости от того, взят ли образец с увлеченным маточником или образец той же соли, подсушенный при комнатной температуре (рис. 4 и 5 соответ-

венно). Различие состоит в том, что в первом случае эффекты проявляются при 102—103° (очевидно, эффект выкипания маточника) и при 185—190°, кроме эффектов, общих для обеих термограмм, во втором случае нет эффекта при 102—103° и вместо эффекта при 185—190° проявляется эндоэффект при 160°. Обе термограммы имеют небольшие эффекты при 250° (полиморфное превращение Na_2SO_4 из маточника или игольчатого сульфата) и эффекты вторичного (из игольчатого сульфата) глауберита при 510—520°; при 620—625° происходит, по-видимому, плавление эвтектики $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ (NaCl из маточника).

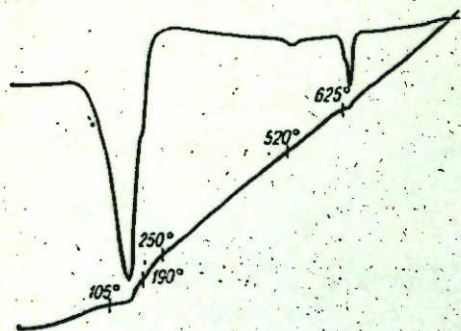


Рис. 4. Термограмма двойного сульфата кальция и натрия с маточником.

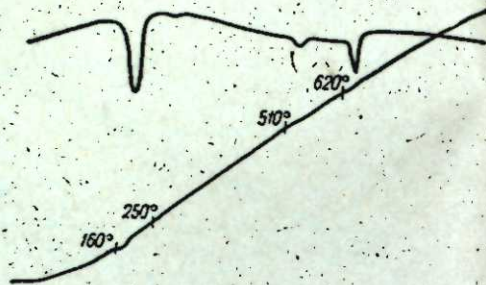


Рис. 5. Термограмма двойного сульфата кальция и натрия, подсушенного при комнатной температуре.

Очевидно, что данный двойной сульфат не идентичен «лабильной» соли, синтезированной Д'Ансом в растворах системы при 40° и получавшейся при 35° у Лепешкова и Фрадкиной, так как отличается по составу и по показателю преломления (n «лабильной» соли — 1,510), хотя внешне сходен с ней.

Можно предположить, что этот, «полуторный» сульфат является последним в ряду игольчатых метастабильных двойных сульфатов кальция и натрия, обогащенных Na_2SO_4 по сравнению с глауберитом, разложение которых является, по данным Василевской [11], одним из путей формирования тенардита в некоторых сульфат-хлоридных озерах Кулунды и, возможно, других соленосных провинций. Способность этого полуторного сульфата к длительному существованию в качестве метастабильной фазы, особенно в области поля тенардита, является, очевидно, одной из основных причин того факта, что в донных отложениях озера Кулунды нет видимых количеств глауберита. В Кулунде с ее сравнительно умеренными летними температурами и коротким периодом положительных температур процесс глауберитообразования задерживается на метастабильной стадии «полуторного» двойного сульфата, который при резком понижении температуры разлагается на мирабилит и гипс.

Выводы

1. Впервые изучена стабильная изотерма системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°С в полном объеме, включающая поля гипса, глауберита, галита, тенардита и мирабилита.

2. Определена область существования метастабильного игольчатого сульфата $2\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$ при 25°С в растворах системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ и доказано, что данные Камерона и его сотрудников [5] относятся к метастабильной изотерме.

3. Показана способность сульфата состава $2\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$ к очень длительному существованию в виде метастабильной фазы, особенно для части его поля, прилегающей к полю тенардита.

4. Полученные данные дают возможность подойти к объяснению некоторых парагенезов солевых минералов в месторождениях хлорид-сульфатного типа, в частности к объяснению факта отсутствия глауберита в донных отложениях сульфат-хлоридных озера Кулунды.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
23/II 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Щукарев, Н. В. Кудряшева. Гидрохимические материалы, 11, 194 (1939), 17, 70 (1950).
2. Э. Б. Штернина, Е. В. Фролова. Изв. СФХА, ИОНХ АН СССР, 17, 354 (1949).
3. F. Cameron. J. Phys. Chem., 5, 559—564 (1901).
4. Я. Г. Вант-Гофф. Океанические соляные отложения. ОНТИ, 1936.
5. F. Cameron, J. Bell, W. Robinson. J. Phys. Chem., 11, 406—409 (1907).
6. И. Н. Лепешков, Х. Б. Фрадкина. Журн. неорг. химии, 4, вып. 12, 2803 (1959).
7. D'Ans, Bertsch, Gessner. Kali, 17, 263—265 (1915) — цит. по [10].
8. F. D'Ans. Die Lösungsgleichgewichte der Systeme der Salze ozeanische Salzablagerungen. Berlin, 1933.
9. F. D'Ans, O. Schreiner. Z. anorg. Chem., 62, 132 (1909).
10. А. Б. Здановский, Е. И. Ляховская, Р. Э. Шлеймович. Справочник по растворимости водно-солевых систем, т. II. ВНИИГ, 1954.
11. А. Г. Василевская. Изв. СО АН СССР, № 1, 1959.

И. Е. БЫКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ТИОМОЧЕВИНЫ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ИОННОГО ОБМЕНА

Комплексообразование является одним из важнейших факторов, определяющих направление и эффективность ионного обмена. Несмотря на это, степень изученности ионообменных свойств различных групп комплексных соединений совершенно недостаточна. Весьма ограничены, в частности, и сведения о применении тиомочевины при ионообменных разделениях [1, 2].

С рядом металлов тиомочевина образует в растворах комплексные катионы типа $[Me(TM)_n]^{m+}$, где ТМ — тиомочевина, m^+ — заряд простого иона металла, n — число, в большинстве случаев равное 1—4. Устойчивость комплексных соединений металлов с тиомочевинной различна [3]. Некоторые металлы, например, серебро, ртуть и медь, образуют весьма прочные комплексы с константой нестойкости меньше 10^{-12} . Комплексы кадмия и свинца обладают заметной, но значительно меньшей устойчивостью. Марганец, никель, кобальт и цинк, по-видимому, образуют малоустойчивые соединения с тиомочевинной или не образуют их совсем [4, 5]. Об устойчивости висмутового соединения имеются противоречивые данные [4, 6].

Ионный характер комплексных соединений металлов с тиомочевинной и значительные различия в их устойчивости создают благоприятную основу для осуществления ионообменных разлений. Особенно перспективной представляется возможность избирательного катионообменного поглощения тиомочевинного комплекса меди, устойчивость которого значительно превосходит устойчивость тиомочевинных комплексов многих других металлов, а сама медь является элементом, который препятствует определению многих других элементов и удаление которого при химическом анализе медьсодержащих продуктов производится весьма часто. Изучение этой возможности и было целью нашей работы.

Опыты проводились с эспатитом КУ-1 производства Кемеровского завода. Смола помещалась в колонки с внутренним диаметром 10 мм, изготовленные из обычных бюреток. Каждая из них наполнялась приблизительно 7 г катионита, просеянного через сито 50 меш и промытого соляной кислотой и водой.

Аналитический контроль осуществлялся полярографическим методом на визуальном приборе, изготовленном экспериментальными мастерскими УФАН. Медь, цинк, никель, кобальт и кадмий полярографировались в электролите, содержащем аммиак и хлористый аммоний в одномолярных концентрациях с добавкой сульфата натрия около 0,2 моля на литр и 0,01% желатина. В присутствии виннокислых солей в этом электролите можно было полярографировать и свинец. При подготовке к полярографированию растворов, содержащих тиомочевину, иногда выпадает осадок серы. Его образования удавалось избежать, прибавляя

в еще кислый раствор немного сульфата натрия. Слабокислые растворы с рН около 4 были использованы для определения железа (щавелево-кислый электролит). В некоторых опытах полярографические измерения выполнены в сернокислых растворах.

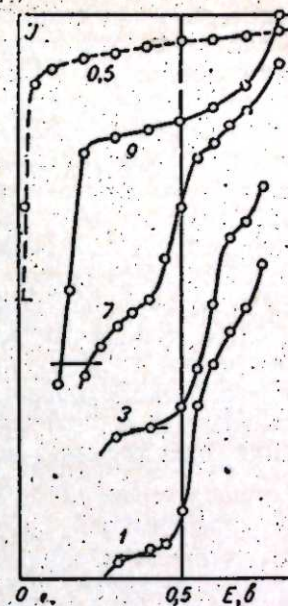
Присутствие тиомочевины мало сказывается на виде полярограмм в аммиачном электролите. Там, где это влияние более заметно (например, в случае волны меди), его можно устранить предварительным окислением тиомочевины перекисью водорода.

Медь образует в присутствии избытка тиомочевины комплексный ион состава $Cu(TM)_4^+$ [7], а по другим данным, — $Cu(TM)_4^+$ [8].

В соединении с анионами кислот комплексный ион меди дает соответствующие соли, а с ионами гидроксила — основание. Комплексные хлорид, нитрат и основание умеренно растворимы и при большом содержании меди забивают ионообменную колонку. Поэтому удобнее работать с сернокислыми растворами.

Комплексный ион весьма устойчив по отношению к серной кислоте, как об этом можно судить по рисунку. В отсутствие тиомочевины предельный ток меди обнаруживается в начале полярограммы. При добавлении тиомочевины потенциал полуволны меди сильно смещается в отрицательную сторону (нижняя кривая). Увеличение концентрации серной кислоты в растворе до семимольной не изменяет положения волны. Только в девятимолярной серной кислоте волна меди по своему виду приближается к виду волны меди, образующейся в отсутствие тиомочевины, что свидетельствует о разрушении комплексного иона.

Важной особенностью комплексного иона является его способность поглощаться катионитом из сильноокислых растворов (табл. 1). Даже из трехмолярной серной кислоты поглощение может происходить с большой полнотой при наличии в растворе достаточного количества тиомочевины. В большинстве методик ионного обмена не рекомендуется работать с сильноокислыми растворами вследствие высокой способности ионов водорода адсорбироваться катионитом и даже вытеснить из него другие ранее поглощенные им ионы, на чем, как известно, основана возможность регенерации и повторного использования катионита. Между тем как в аналити-



Волны меди в растворах серной кислоты: сплошная линия — в присутствии 0,1М тиомочевины, штриховая — без тиомочевины. Концентрация серной кислоты (моль/л) указана около кривых. Горизонтальными черточками обозначено положение нулевой точки гальванометра.

Таблица 1
Поглощение меди эспатитом КУ-1 из сернокислых растворов, содержащих тиомочевину (через колонки пропускалось по 50 мл исходных растворов и по 50 мл промывной жидкости с тем же содержанием серной кислоты и тиомочевины, что и в исходных растворах)

Состав исходного раствора			Поглощено Cu	
Cu, мг	тиомочевины, моль/л	H ₂ SO ₄ , моль/л	мг	%
5	0,1	1	4,96	99,2
5	0,01	1	4,56	91,2
5	0,1	2	4,92	98,5
5	0,1	3	4,82	96,5
5	0,01	3	3,64	72,8

качестве регенерации и повторного использования катионита. Между тем как в аналити-

ческой, так и в технологической практике кислые растворы отнюдь не являются исключением. Их кислотность перед проведением операции ионного обмена снижают выпариванием или нейтрализацией, что не только связано с затратой времени и материалов, но нередко вызывает дополнительные затруднения вследствие значительного повышения концентрации катиона, вводимого с нейтрализующим веществом, а также вследствие гидролиза соединений некоторых элементов и образования нерастворимых осадков. Поэтому сохранение меди в сильноокислых растворах в присутствии тиомочевинны ионообменной активности представляет большой практический интерес.

Ион, поглощаемый катионитом из кислого раствора, естественно, не будет отмываться от катионита раствором кислоты той же концентрации, и в этом случае регенерация катионита обычным путем невозможна. Действительно, не только одномолярный, но даже пятимолярный раствор серной кислоты извлекает из смолы тиомочевинное соединение меди только в незначительном количестве (табл. 2).

Таблица 2

Извлечение сернокислыми растворами меди, поглощенной эспатитом КУ-1 в виде тиомочевинного комплексного соединения (исходные растворы содержали в 25 мл 10—100 мг Си и 0,2 мол/л (в опыте со 100 мг — 0,3 мол/л) тиомочевинны; извлечение производилось порциями промывной жидкости по 25 мл с последовательным возрастанием в ней концентрации серной кислоты)

Номер порции промывной жидкости	Концентрация H_2SO_4 в промывной жидкости, мол/л	Извлечено Си при содержании ее в исходном растворе					
		10		50		100	
		мг	%	мг	%	мг	%
1	0	0,02	0,2	0,03	0,06	0,04	0,04
2	1	0,03	0,3	0,04	0,08	0,03	0,03
3	2	0,03	0,3	0,03	0,06	0,05	0,05
4	3	0,06	0,6	0,06	0,12	0,12	0,12
5	4	—	—	—	—	0,19	0,19
6	5	0,33	3,3	0,23	0,46	—	—
Всего		0,47	4,7	0,39	0,78	0,43	0,43

Столь высокую прочность связи между комплексным ионом и катионитом нельзя объяснить ее ионным характером. В литературе неоднократно допускалось образование между ионообменной смолой и адсорбируемым ионом не только ионных, но и ковалентных связей.

Яцимирский и Асташева [9] указали на возможность образования устойчивыми комплексными катионами металлов и, в частности, катионами, содержащими медь и тиомочевину, малорастворимых соединений с крупными анионами. Представление о катионообменной смоле как крупном нерастворимом полианионе в настоящее время является общепринятым. Независимость абсолютного количества меди, извлекаемой раствором серной кислоты данной концентрации, от количества меди, поглощенной катионитом (см. табл. 2); можно рассматривать как подтверждение существования труднорастворимого соединения между тиомочевинным комплексом меди и катионитом. Постоянство количества извлеченной меди отражает постоянство растворимости предполагаемого соединения в серной кислоте данной концентрации. Если бы медь была только адсорбирована катионитом в ионной или молекулярной

форме, она реагировала бы с серной кислотой с установлением равновесий, зависящих от концентрации поглощенной меди, и количество извлеченной кислотой меди не было бы постоянным.

Как же извлечь из катионита прочно поглощенную медь и подготовить его для повторного цикла? Это легко сделать после прибавления к промывной жидкости 0,5 объемных процента пергидроля. Тиомочевина окисляется, комплексное соединение разрушается, и медь переходит в раствор. Эффективность предлагаемого приема можно видеть на следующем примере. После поглощения смолой 100 мг меди в виде тиомочевинного комплекса четырьмя порциями по 25 мл серной кислоты средней концентрацией кислоты 2,5 мол/л было извлечено только 0,39% меди. В аналогичном опыте при извлечении меди одномолярной серной кислотой с добавкой пергидроля почти вся медь была извлечена первыми двумя порциями такого же объема. В третью порцию перешло только 0,35% и в четвертую — 0,09% взятой меди.

Концентрирование малых количеств элементов из разбавленных растворов — область, в которой метод ионного обмена достиг больших успехов и в которой он неоднократно обнаруживал свои преимущества перед другими методами. В связи с описанными выше результатами работы возник вопрос о возможности концентрирования меди из кислых растворов. Чтобы решить этот вопрос по 2 л растворов, содержащих медь, тиомочевину и серную кислоту, пропускали через колонки со скоростью 7—8 мл/мин. Холостой опыт проводился с 2 л раствора, не содержащего меди и одномолярного в отношении серной кислоты и сантиметового в отношении тиомочевинны. Полученные результаты (табл. 3) свидетельствуют о том, что даже при неблагоприятных условиях опыта

Таблица 3

Поглощение меди эспатитом КУ-1 из разбавленных сернокислых растворов, содержащих тиомочевину

Состав исходного раствора			Извлечено Си, мг
Си, мг	H_2SO_4 , мол/л	тиомочевинна, мол/л	
1	0	0	0,98
1	0	0,01	1,00
1	0,1	0,01	0,98
1	1	0,01	0,96
1	2	0,01	0,83
1	3	0,01	0,60

(высокое разбавление раствора, низкая концентрация тиомочевинны, незначительное абсолютное количество меди) медь в форме тиомочевинного комплекса хорошо поглощается катионитом из кислых растворов. При одномолярной концентрации кислоты извлечение еще остается практически полным. Таким образом, изучаемый метод пригоден для концентрирования меди из кислых растворов.

Металлы, не образующие с тиомочевинной устойчивых комплексных соединений, не поглощаются катионитом из кислых растворов, содержащих тиомочевину, и в отличие от меди, проходят в фильтрат (табл. 4). Кадмий, комплексное соединение которого обладает заметной устойчивостью, поглощается из кислого раствора, но в отличие от меди может

Таблица 4

Поглощение металлов эспатитом КУ-1 из кислых растворов, содержащих тиомочевину

(исходные растворы содержали по 10 мг металла в 25 мл, серную кислоту в одномолярной и тиомочевину в децимолярной концентрации; промывание в два приема: 25 мл воды для удаления тиомочевинны и 25 мл одномолярной серной кислоты)

Металл	Перешло, мг металла в промывную жидкость	
	1-я порция	2-я порция
Zn	3,68	5,08
Ni	4,25	5,30
Co	4,84	3,87
Fe	5,32	3,88
Cd	0,06	0,64

быть извлечен при отсутствии избытка тиомочевинны трех- или даже двухмолярным раствором серной кислоты. Так, при продолжении промывки в опыте с кадмием (см. табл. 4) трехмолярной серной кислотой в первые же 25 мл фильтрата перешло 9,05 мг кадмия.

Свинец с хлор- и сульфат-ионами, а в присутствии тиомочевинны и с нитрат-ионами образует труднорастворимые соединения и в ионном обмене не участвует.

Различия в ионообменном поведении комплексных катионов, образованных металлами с тиомочевинной, нами были использованы для разделения металлов. После успешного разделения пар $Cu - Zn$ и $Cu - Ni$ в опытах с синтетическими растворами при различном соотношении металлов изучаемый метод был испытан при анализе различных стандартных образцов (табл. 5).

Таблица 5
Результаты анализа стандартных образцов, проведенного с применением ионообменного отделения меди в виде тиомочевинного комплексного соединения

Номер СО	Название СО	Определяемый элемент	% содержания элемента	
			по паспорту	найденно после ионообменного разделения
73	Цинк металлический	Cu	0,0014	0,0015 0,0015 0,0013
67	Бронза оловянно-цинковая фосфористая	Zn	2,78	2,71 2,83 2,72
68	Бронза алюминиево-железо-марганцевистая	Zn	0,14	0,14 0,13
45	Руда сульфидная медно-цинковая	Cd	0,03	0,024 0,026 0,026 0,026 0,025

Первый пример (СО 73) иллюстрирует применимость метода для концентрации и поглощения меди. Навески цинка по 10 г растворялись в соляной кислоте. Растворы после окисления меди азотной кислотой выпаривались с соляной или серной кислотой до выпадения солей. Соли растворялись в небольшом количестве воды. Полученные растворы после прибавления тиомочевинны разбавлялись водой приблизительно до 150 мл и пропускались через катионит. Концентрация тиомочевинны в растворе составляла 0,03 моль/л, кислоты — не более 1 моль/л. Избыток тиомочевинны отмывался 50—100 мл воды, после чего медь извлекалась 25 мл двухмолярной серной кислоты с добавкой 3 капель пергидроля. Результаты определений свидетельствуют о том, что большое количество цинка не препятствует образованию тиомочевинного комплекса меди и его поглощению смолой.

При анализе бронзы (СО 67 и 68) ионообменный метод был использован для удаления большого количества меди, что делало возможным последующее определение небольшого содержания цинка. Бронза растворялась в азотной кислоте, которая затем удалялась выпариванием с соляной или серной кислотой. Остатки, полученные после выпаривания

до выпадения солей, растворялись в воде. К aliquотным частям растворов, соответствующим навескам по 50 мг, прибавлялось по 10 мл одномолярного раствора тиомочевинны и вода до получения объема около 50 мл. После пропускания полученных растворов через ионообменную колонку и промывания ее 200 мл воды поглощенный цинк извлекался 25 мл одномолярного раствора серной кислоты.

Особенно интересным представлялось проверить разделимость пары медь—кадмий, поскольку в этом случае различие в константах нестойкости тиомочевинных комплексных соединений менее значительно, чем у пары медь—цинк. Выше (см. табл. 4) уже отмечалось, что тиомочевинный комплекс кадмия извлекается из катионита хуже, чем цинк и некоторые другие металлы. В качестве объекта для проверки применимости метода был взят СО 45, который оказался единственным образцом с известным содержанием кадмия, имевшимся в нашем распоряжении. Навески руды по 0,5 г разлагались в смеси соляной и азотной кислот. Растворы выпаривались до выпадения солей, которые затем растворялись в небольшом количестве воды. К полученным растворам прибавлялось по 10—25 мл одномолярного раствора тиомочевинны и вода в количестве, необходимом для получения объемов около 50 мл. Растворы пропускались через колонки, которые затем промывались 50 мл воды. Поглощенный кадмий извлекался 25 мл двухмолярного раствора серной кислоты.

Все сказанное позволяет сделать следующее заключение. Прочность, с которой удерживаются на катионите КУ-1 различные комплексные катионы, образованные металлами с тиомочевинной, соответствует устойчивости комплексных катионов. Чем устойчивее комплекс, тем прочнее связь его с катионитом. Это может быть использовано для выделения меди, комплексное соединение которой с тиомочевинной весьма устойчиво, из сильноокислых растворов и для отделения меди от некоторых других металлов с целью последующего определения как самой меди, так и других металлов.

Уральский филиал АН СССР,
Свердловск

Поступила в редакцию
29/XII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. E. W. Berg, W. L. Senn. Anal. Chem., 27, 8, 1255 (1955).
2. А. Б. Даванков, Е. В. Замбровская. Сб. Хроматография, ее теория и применение. Изд. АН СССР, М., 1960.
3. К. Б. Яцимирский, В. П. Васильев. Константы нестойкости комплексных соединений. Изд. АН СССР, М., 1959.
4. О. С. Федорова. Ж. общ. химии, XXIV, 1, 62 (1954).
5. C. L. Ruffs, E. P. Przybylowicz, C. E. Skinner. Anal. Chem., 26, 2, 408 (1954).
6. А. К. Бабко, А. Т. Пилипенко. Колориметрический анализ. Госхимиздат. М.—Л., 1951.
7. Н. С. Курнаков. ЖРФХО, 25, 565 (1893).
8. E. I. Onstott, H. A. Laitinen. J. Amer. Chem. Soc., 72, 10, 4724 (1950).
9. К. Б. Яцимирский, А. А. Асташева. Ж. анал. химии, VII, 1, 43 (1952).

Р. И. САЛГАНИК, В. П. ТОМСОНС, Л. К. ПРОТАС

**ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ
РИБОНУКЛЕАЗЫ И ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕАЗЫ
НА РАЗМНОЖЕНИЕ ВИРУСА ПОЛИОМИЕЛИТА
В КУЛЬТУРЕ ТКАНИ**

Известными работами Гирера, Шрамма [1] и Френкель-Конрата [2] установлена ведущая роль нуклеиновых кислот в размножении вирусов. Вслед за ними ряд исследователей показал возможность воспроизведения таких патогенных вирусов, как вирус гриппа [3, 4], энцефалита [5, 6], полиомиелита [6—8], ящура [9], введением в клетки тканей одной только очищенной вирусной рибонуклеиновой (РНК) или дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) [10].

В связи с этими исследованиями возник вопрос о возможности задержки размножения патогенных вирусов путем повреждения вирусных нуклеиновых кислот нуклеазами — ферментами, которые, деполимеризуя нуклеиновые кислоты, нарушают их биологическую активность.

В предыдущих исследованиях лаборатории нуклеиновых кислот Института цитологии и генетики СО АН СССР показана способность дезоксирибонуклеазы (ДНК-азы) и рибонуклеазы (РНК-азы) тормозить развитие вируса гриппа [11—14].

Основываясь на этих исследованиях, мы приступили к изучению действия ДНК-азы и РНК-азы на вирус полиомиелита, размножающийся в культуре ткани.

Материалы и методы

Опыты проводились на вирусе полиомиелита типа I штамма Луговникова (титр 10^{-4} — 10^{-5}). Вирус размножали в культуре ткани HE La на вторые сутки выращивания ее в среде № 41 при температуре 37°. Перед опытом среда с ткани удалялась и ткань отмывалась раствором Хэнкса. Подготовленную таким образом культуру ткани заражали вирусом полиомиелита (в разведении 10^{-2}), внося по 0,1 мл вирусной суспензии в каждую пробирку. Ткань находилась в контакте с вирусом 30—45 мин, а затем заливалась средой (90% среды № 199, 10% фильтрата бычьей сыворотки, 10 000 ЕД пенициллина и 10 000 ЕД стрептомицина на 100 мл смеси). В среду в зависимости от условий опыта вводили ферменты и другие вещества, действие которых исследовалось (ДНК-аза, РНК-аза, РНК и ДНК).

ДНК получали методом Гуланда [15], ДНК-азу — методом Мак Карти [16], РНК-аза и дрожжевая РНК использовались продажные. РНК-аза и ДНК-аза вносились по 0,5 мг в пробирку, РНК — по 5 мг, ДНК — по 2 мг в пробирку.

Интенсивность размножения вируса полиомиелита в культуре ткани учитывалась по цитопатогенному эффекту, который развивался при инкубации ткани с вирусом при 37° на протяжении 5—8 дней.

Каждая серия включала 7—10 опытов, давших однозначные результаты, поэтому в таблицах приведены типичные опыты.

Обсуждение результатов

В ходе исследований выяснилось, что размножение вируса полиомиелита тормозят и РНК-аза и ДНК-аза (табл. 1 и 2), однако гораздо более выраженный эффект торможения наблюдался в опытах с РНК-азой.

Вирус полиомиелита является РНК-содержащим вирусом: в нем содержится 24% РНК и 76% белка [17]. Естественно предположить, что РНК-аза лишает вирус инфекционности, вызывая деполимеризацию вирусной РНК. В частности, Ле Клерк [18] объясняет инактивирующее

Таблица 1

Влияние РНК-азы на размножение вируса полиомиелита в культуре ткани

Схема опыта	Дни			
	3	5	7	8
Ткань + вирус	—	+	4+	4+
Ткань + вирус + РНК-аза	—	+	+	+
Ткань + РНК-аза	—	—	±	±

Обозначения:
± начало поражения ткани;
+ ткань поражена на 25%;
2+ > > на 50%;
3+ > > на 75%;
4+ > > полностью.

Таблица 2

Влияние ДНК-азы на размножение вируса полиомиелита в культуре ткани

Схема опыта	Дни				
	1	2	3	4	5
Ткань + вирус	—	+	3+	3+	4+
Ткань + вирус + ДНК-аза	—	—	2+	3+	3+
Ткань + ДНК-аза	—	—	+	+	2+

Обозначения:
+ ткань поражена на 25%;
2+ > > на 50%;
3+ > > на 75%;
4+ > > полностью.

действие РНК-азы на вирус гриппа, размножающийся в культуре ткани и в куриных эмбрионах, специфической деполимеризацией ферментом вирусной РНК, освобождающейся в процессе ее самовоспроизведения.

Проведенные нами ранее опыты [12] позволили предположить, что инактивация РНК-азой вируса гриппа, по-видимому, происходит не только за счет деполимеризации вирусной РНК, но и за счет образования специфического комплекса типа РНК-аза — РНК. Возможность образования такого комплекса была показана на других объектах: так Браше и сотрудники [19] при изучении действия РНК-азы на синтез белка в проростках корешков лука показали, что торможение синтеза белка РНК-азой является результатом образования комплекса между РНК-азой и внутриклеточной растворимой РНК. Сходные данные получены в работе де Клоета и сотрудники [20].

Изучение действия ДНК-азы на вирус полиомиелита показало, что она обладает более слабым тормозящим эффектом (см. табл. 2). Механизм этого влияния еще неясен. В опытах с вирусом гриппа, где

также было показано тормозящее действие ДНК-азы [11—14], авторы на основании биохимических, вирусологических данных и результатов электронной микроскопии пришли к выводу, что ДНК-аза инактивирует вирус гриппа, образуя с ним специфический комплекс. Способность вирусов к комплексообразованию исследовалась ранее: так, возможность инактивации вируса табачной мозаики за счет образования комплекса с РНК-азой была показана Лорингом [21], Товарницкий [22] обнаружил способность вируса гриппа образовывать с папаином и основными белками комплексы, в которых вирус также инактивирован.

Таблица 3

Реактивация вируса полиомиелита нуклеиновыми кислотами после воздействия на него РНК-азы

Схема опыта	Дни				
	1	2	3	4	5
Ткань + вирус	-	+	2+	3+	3+
	-	+	3+	4+	4+
Ткань + вирус + РНК-аза	-	-	±	3+	4+
	-	-	±	2+	4+
Ткань + вирус + РНК-аза + РНК	-	2+	2+	2+	3+
	-	2+	3+	3+	4+
Ткань + вирус + РНК-аза + ДНК	-	4+	4+	+	+
	-	3+	4+	+	+
Ткань + РНК-аза	-	-	-	±	2+
	-	-	-	+	2+
Ткань + РНК	-	-	-	-	+
	-	-	-	-	+
Ткань + ДНК	-	-	-	-	+
	-	-	-	-	+

Обозначения:

- ± начало поражения ткани;
+ ткань поражена на 25%;
2+ > > на 50%;
3+ > > на 75%;
4+ > > полностью.

ферментом, восстанавливая таким образом способность вируса к размножению.

Подобное действие полианонон на инактивированную РНК-азой РНК установлено на иных биологических моделях, например, де Клоет и сотрудники [20] наблюдали восстановление подавленного РНК-азой синтеза белков в дрожжевых протопластах с помощью полианононов. Авторы считают, что при этом за счет образования нового комплекса типа РНК-аза + полианонон освобождается от РНК-азы собственная РНК протопластов. Сходные данные на корешках лука были получены Браше и сотрудниками [19].

Можно думать, что образование специфических комплексов вирусных нуклеиновых кислот (или вирусов), в частности, с нуклеазами может быть одним из путей торможения развития вирусов в организме, одним из способов подавления их инфекционных свойств.

Выводы

1. РНК-аза и ДНК-аза оказывают тормозящее действие на размножение вируса полиомиелита, значительно эффективней в этом отношении РНК-аза.

2. Добавление нуклеиновых кислот в культуру ткани с инактивированным РНК-азой вирусом полиомиелита восстанавливает инфекционные свойства вируса.

3. Полученные результаты дают основание думать, что инактивация вируса полиомиелита РНК-азой происходит в результате образования специфического комплекса типа вирус + фермент или вирусная РНК + фермент, хотя в случае с РНК-азой не исключается возможность и частичного деполимеризующего действия РНК-азы на размножающийся вирус.

4. Механизм действия ДНК-азы на вирус полиомиелита остается невыясненным.

Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
30/VI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Gierer, G. Schramm. *Nature*, 177, 702, 1956.
2. H. Fraenkel-Conrat. *J. Am. Chem. Soc.*, 78, 882, 1956.
3. R. Portocala, W. Boeru. *Samuel C-r Acad. Sci.*, 249, 848, 1959.
4. H. F. Maassab. *Fed. Proc.*, 18, 582, 1959.
5. F. Socol, H. Libicova, J. Zemla. *Acta virologica*, 4, 65, 1960.
6. J. S. Colter, H. H. Bird, R. A. Brown. *Nature*, 179, 859, 1957.
7. H. E. Alexander, G. Koch, J. Mountain. *Virology*, 5, 172, 1958.
8. E. L. Rothstein, J. S. Colter, L. A. Manton. *Fed. Proc.*, 17, 533, 1958.
9. J. A. Thomas, J. Leclers. *Presse med.*, 9, 347, 1959.
10. G. A. Di Mayorca, B. E. Eddy, S. E. Stewart, W. S. Hunter, C. Friend, A. Bendich. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 45, 1805—1808, 1959.
11. Р. И. Салганик, А. Н. Мосолов, Т. Г. Китаева, Изучение действия нуклеаз на вирус гриппа. Нуклеиновые кислоты и нуклеопротенды, 304—309, М., 1961.
12. Р. И. Салганик, А. Н. Мосолов, Т. Г. Китаева. О механизме действия нуклеаз на вирус гриппа. Докл. АН СССР, 1961 (в печати).
13. Р. И. Салганик, Т. П. Ятель, А. Н. Мосолов, Инактивация вируса гриппа нуклеазами и восстановление инфекционных свойств его с помощью нуклеиновых кислот. Докл. АН СССР, 129, № 1, 212—215, 1959.
14. Р. И. Салганик, А. Н. Мосолов, Т. П. Ятель, Т. Г. Китаева. Исследование инактивирующего действия рибонуклеазы и дезоксирибонуклеазы на вирус гриппа. Тез. докл. XIII науч. сессии Ин-та вирусологии АМН СССР, М., 1960.
15. J. Gulland, D. Jordan, C. Threlfall. *J. Chem. Soc.*, 1129, 1947.
16. H. D. Mc Carthy, *J. Gen. Physiol.*, 29, 123—129, 1946.
17. Ф. Крик, Дж. Уотсон. *Природа вирусов*. Изд-во иностр. лит., 12—20, 1958.
18. Le Clerc. *Nature*, 177, 578, 1956.
19. J. Brachet, N. Six. *Bioch. biophys. acta*, 35, № 2, 580, 1959.
20. S. R. de Kloet, R. K. A. Van Wermeskerken, V. V. Koningsberger. *Bioch. biophys. acta*, 47, № 1, 144—148, 1961.
21. H. S. Loring. *J. Gen. Physiol.*, 25, 497—503, 1942.
22. В. И. Товарницкий. Вирус-протенновые комплексы. Биохимия, 10, вып. 2, 104—115, 1945.

А. Н. МОСОЛОВ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛЕТОК КУЛЬТУРЫ ТКАНИ С ВИРУСОМ, ВЫДЕЛЕННЫМ ОТ БОЛЬНЫХ РЕВМАТИЗМОМ

Сообщение 2

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ МИКРОСКОПИЯ И ЦИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Фазовоконтрастный микроскоп позволяет вести непрерывное прижизненное наблюдение клеток культуры ткани. Однако этот метод не дает возможности судить о химической природе наблюдаемых структур. В настоящем сообщении приводятся результаты люминесцентного и цитохимического изучения культуры эмбриональной ткани человека, зараженной вирусом, выделенным от больных ревматизмом [1].

Люминесцентная микроскопия широко применяется в вирусологических исследованиях как для непосредственного изучения морфологии крупных вирусов, так и для индикации ранних изменений в культурах тканей при развитии на них вирусов.

А. А. Авакян и др. [2] с помощью люминесцентного микроскопа показали, что изменения в культуре *He La* при развитии вируса полиомиелита обнаруживаются уже в первые сутки после заражения. Другие методы исследования не дают возможности обнаружить вирус в такой короткий срок.

В. Д. Неустроев и В. Н. Милютин [3] успешно изучали развитие вируса орнитоза в культуре *He La*. Авторы показали, что люминесцентная микроскопия позволяет обнаруживать элементарные тельца вируса орнитоза как в цитоплазме клетки, так и вне ее. При этом удалось проследить отдельные этапы онтогенеза вируса.

В первом сообщении [4] было указано, что в культуре эмбриональной ткани человека, зараженной вирусом, выделенным от больных ревматизмом, развиваются определенные морфологические изменения, которые начинались с появления в цитоплазме, около ядра, темного уплотнения. Уплотнение увеличивалось и превращалось в овальное включение. В дальнейшем включение подвергалось разрушению с выходом из него зернистого содержимого. Эти изменения были обнаружены с помощью фазового контраста.

Материалы и методы

Культура ткани, штаммы вируса и камера для длительного наблюдения использовались те же самые, что и при фазовоконтрастной микроскопии [4].

После испытания большого числа различных флюорохромов мы остановились на акридиновом оранжевом, который вводился непосред-

венно в питательную среду камеры с культурой ткани. Этот краситель дает наиболее четкие результаты, так как окрашивает различно рибонуклеиновую (РНК) и дезоксирибонуклеиновую (ДНК) кислоты [5]. Вирусы же по своей химической природе являются нуклеопротеидами, имея в своем составе РНК или ДНК, реже обе нуклеиновые кислоты.

Культура ткани исследовалась в живом нефиксированном состоянии, поскольку фиксаторы часто искажают истинную картину изменений и характер свечения. Кроме того, при фиксации и промывке многие детали исчезают из препарата, так как дегенерировавшие клетки теряют отростки и не держатся на стекле. Культура фибробластов окрашивалась путем введения красителя в питательную среду за 1 ч до исследования [6]. Клетки хорошо переносили концентрацию красителя 1 : 1000000. Однако при такой концентрации не получалось дифференциального окрашивания РНК и ДНК клеток. Все части клеток давали бледно-зеленое свечение. Только концентрация красителя в пределах 1 : 30000 обеспечивала нормальное свечение отдельных элементов клетки — цитоплазма и ядрышки светились красным цветом, а ядра — зеленым. Но такая концентрация губительно действовала на ткань, и уже в конце первых суток наступала неспецифическая дегенерация клеток, которая выражалась в исчезновении ядрышек, тусклом свечении и сморщивании цитоплазмы и ядра. Кроме того, разрушающее действие на ткань оказывало ультрафиолетовое освещение объекта. Поэтому невозможно было вести непрерывное наблюдение зараженной ткани, как это делалось при фазовоконтрастной микроскопии. Приходилось одновременно заражать одним штаммом вируса серию препаратов с культурой ткани и через определенные промежутки времени (2—4 ч) брать один препарат из серии, вводить краситель и наблюдать изменения в люминесцентный микроскоп.

Часть препаратов была зафиксирована смесью Карнуа и окрашена метилгрюнпиронином по Браше и по Фельгену. В обоих случаях окраска препаратов сопровождалась контролями с РНК-азой и ДНК-азой соответственно. Наблюдение велось в микроскоп МЛ-1 в падающем свете с объективами ВИ-40X и МИ-90X. Фотографирование производилось микрофотонасадкой МФН-1 с малоформатной фотокамерой МФК-3.

Результаты исследования

Люминесцентная микроскопия. В контрольной ткани, не зараженной вирусом, цитоплазма светилась кирпично-красным цветом, особенно выделялись в ней ярко-красные гранулы размером 1—2 мк. Ядро темно-зеленое, мелкозернистой структуры, с красными ядрышками. В препаратах встречаются клетки, содержащие по 2 и более ядер. Форма клеток веретенообразная, клетки имеют по 2, реже по 3—4 отростка. Митотирующие клетки выделяются ярко-красной зернистой цитоплазмой, отсутствием ядра и отростков. Хромосомы их ярко-зеленые, форма клеток овоидная (рис. 1).

В ткани, зараженной вирусом, через 8—12 ч, а иногда и позднее можно было обнаружить яркие светло-зеленые включения в цитоплазме, расположенные вблизи ядра. С течением времени включения увеличивались, часто отнесся ядро. Яркость свечения цитоплазмы и ядра резко снижалась. Через 48—72 ч ядро и цитоплазма пораженной клетки приобретали слабый светло-коричневый цвет. Ядрышки не определялись. Многие клетки в своей цитоплазме имели ярко-зеленые зернистые включения, часто в форме кольца или подковы. По своей яркости эти вклю-

чения превосходили все элементы нормальной клетки, имеющие зеленое свечение. Под действием ультрафиолетового света они выцветали гораздо слабее, чем нормальная ткань и уцелевшие клетки зараженной ткани (рис. 2). Фазовоконтрастная микроскопия показала, что через 26—28 ч после заражения ткани вирусом ядро пораженной клетки перестает обнаруживаться. Однако при люминесцентной микроскопии видно, что ядра пораженных клеток сохраняются длительное время. При этом резко снижается интенсивность их свечения. Следовательно, невозможность обнаружения ядра пораженной клетки в фазовоконтрастном микроскопе не связана с его исчезновением, а, по-видимому, является результатом уплотнения цитоплазмы.

Чтобы подтвердить вирусную природу описанных включений, была произведена окраска препаратов по Браше на РНК и реакция Фельгена на ДНК.

Окраска метилгрюнпиронином по Браше. В контрольной ткани цитоплазма клеток имела розово-красную окраску, ядра — синезеленую, ядрышки — красную. Митотирующие клетки отличались ярко-красной цитоплазмой и интенсивно окрашенными синезелеными хромосомами.

Внутриклеточные вирусные включения всегда были окрашены интенсивным синезеленым цветом. Расположение их в препарате зависело от стадии размножения вируса. На ранних стадиях они располагались в цитоплазме около ядра. Затем их можно было обнаружить в ядре и на его поверхности. На поздних стадиях развития цитопатогенного действия обнаруживается большое количество включений, расположенных вне клеток. Форма включений в виде одиночных или многочисленных точек, в виде зернистых глыбок, колец, подков.

Реакция Фельгена. В контрольной ткани типичную реакцию Фельгена давали ядра клеток и хромосомы. Ядра зараженных клеток окрашивались намного бледнее контрольных. Вирусные включения имели форму и расположение, как и при реакции Браше, они давали интенсивную реакцию Фельгена, что указывает на содержание в них ДНК.

Обсуждение

С помощью люминесцентного микроскопа изучена культура эмбриональной ткани человека, зараженная вирусом, выделенным от больных ревматизмом. Первые видимые изменения обнаруживались в клетках через 8—12 ч после заражения ткани вирусом, на 5—10 ч ранее, чем при фазовоконтрастном методе исследования. Поражение клеток началось с образования в цитоплазме, около ядра, ярко-зеленого включения. С течением времени включение увеличивалось, часто сдавливая ядро. Дальнейшие изменения были аналогичны изменениям, наблюдаемым в фазовом контрасте. Яркость свечения цитоплазмы и ядра снижалась уже на первых этапах вирусной инфекции клетки, что свидетельствует о резком уменьшении количества нуклеиновых кислот в зараженной ткани. Обращает на себя внимание факт, что наряду с общим уменьшением яркости ядра в области соприкосновения с включением свечение ядра даже возрастало, совпадая с ним по интенсивности и цвету (рис. 3).

Фазовоконтрастная микроскопия показала, что через 26—28 ч после заражения ткани вирусом ядро пораженной клетки перестает обнаруживаться. Однако при люминесцентной микроскопии видно, что ядра пораженных клеток сохраняются длительное время. Невозможность



Рис. 1. Культура эмбриональной ткани человека, не зараженная вирусом. N — ядра интерфазных клеток; T — две молодые клетки; H — хромосомы митотирующей клетки (увеличение: об. 40X, ок. 10X).

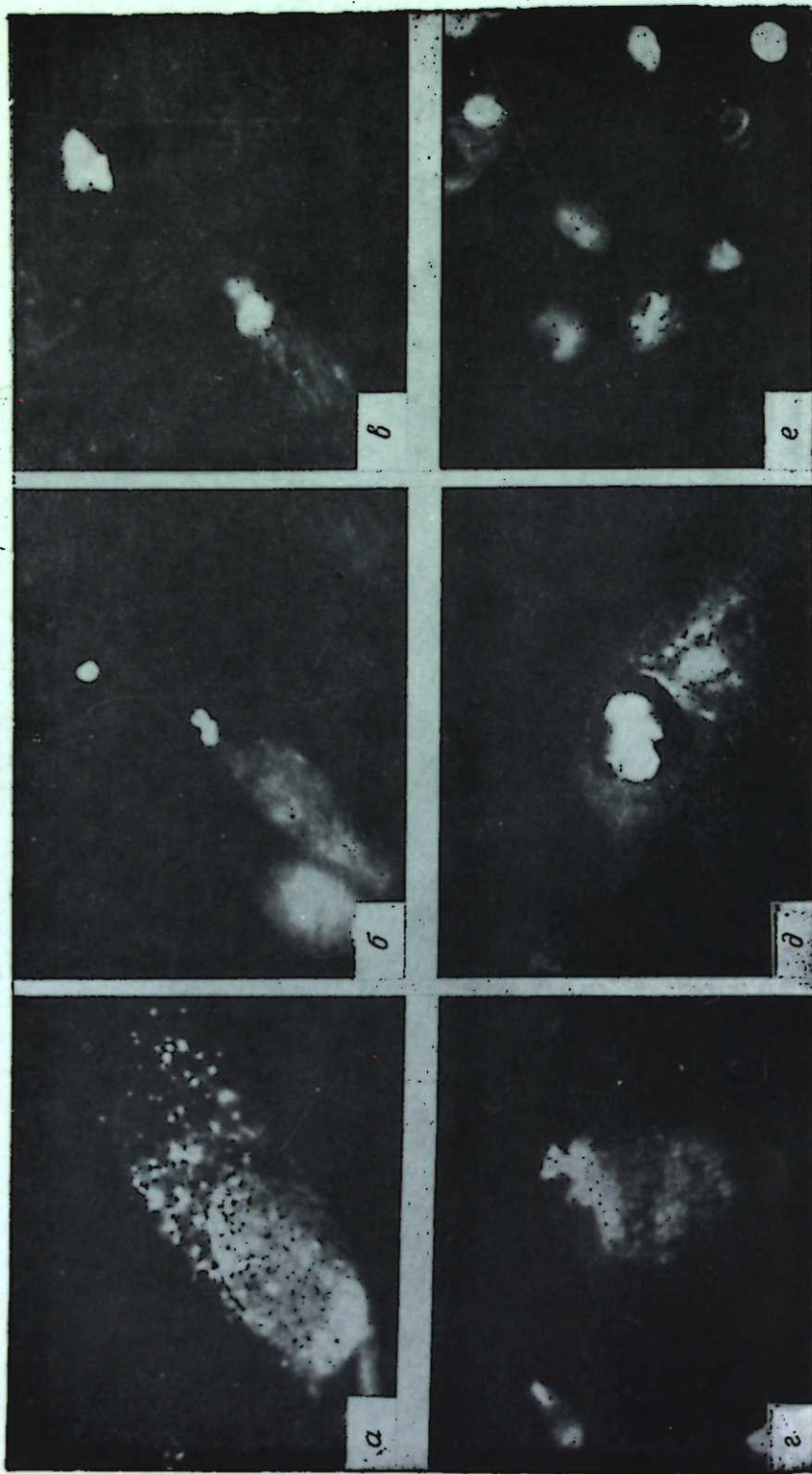


Рис. 2. Эволюция клеточных изменений при заражении ткани вирусом, выделенным от больных ревматизмом.

4 — клетка до заражения; б — фибробласт через 10 ч. после заражения; в — клетка через 12 ч. после заражения; г — клетка через 18 ч. после заражения; д — клетка через 48 ч. после заражения; е — клетка через 96 ч. после заражения; ф — клетка через 96 ч. после заражения (увеличение: об. 40X, ок. 10X).

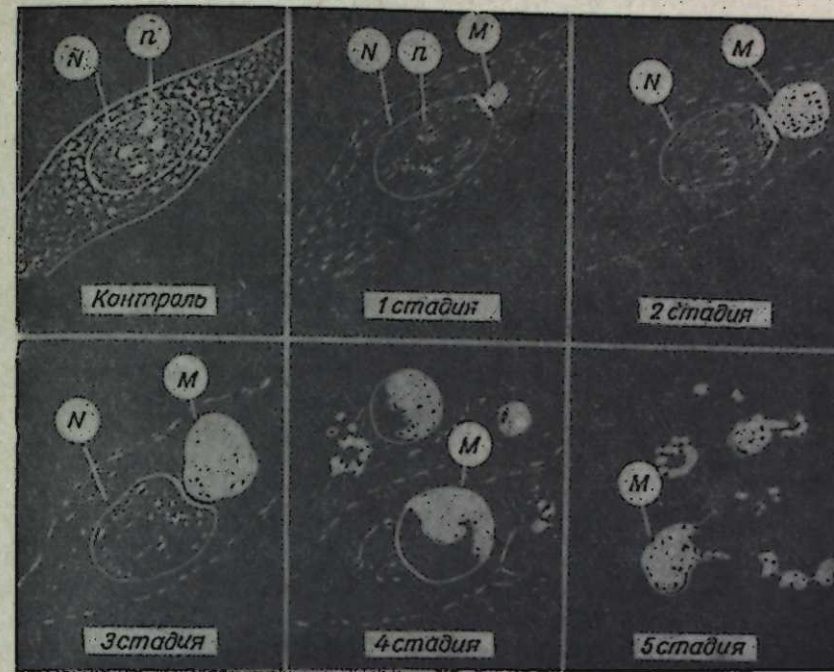


Рис. 3. Схема развития цитопатологических изменений в культуре фибробластов, зараженных вирусом, выделенным от больных ревматизмом.

N — ядро фибробласта; n — ядрышки; M — вирусное включение.

- 1 стадия — около ядра появляется ярко-зеленое включение; свечение ядра и цитоплазмы снижено.
- 2 стадия — включение увеличивается, ядрышки не определяются.
- 3 стадия — включение сдавливает ядро.
- 4 стадия — включения отделяются от погибших клеток, зернистое содержимое их сосредоточивается на одном из полюсов.
- 5 стадия — разрушение включений и выход из них содержимого в питательную среду.

обнаружить ядра пораженных клеток в фазовконтрастном микроскопе связана не с исчезновением их, а с уплотнением цитоплазмы. Известно, что вирусы являются нуклеопротеидами, имея в своем составе РНК или ДНК. С помощью люминесцентного метода и цитохимических реакций показана дезоксирибонуклеиновая природа включений, возникающих в клетках культуры фибробластов при заражении ее вирусом, выделенным от больных ревматизмом. Этот факт говорит в пользу вирусного происхождения обнаруженных включений. По-видимому, включения в данном случае являются зонами размножения и выделения вируса.

Выводы

1. Примененные методы исследования позволили обнаружить внутриклеточные вирусные включения в ткани, зараженной вирусом, выделенным от больных ревматизмом. Все 16 изученных штаммов дали одинаковые морфологические изменения в клетках.
2. Обнаруженные внутриклеточные включения имеют в своем составе ДНК, что подтверждает их вирусную природу.

Новосибирский
медицинский институт

Поступила в редакцию
17/III 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Залесский, Н. Н. Воробьева, О. И. Пирогова и др., О специфическом возбудителе ревматизма. Терап. арх., т. 30, вып. 5, стр. 3—15, 1958.
2. А. А. Авакян, А. И. Бурак, М. Д. Скобельский, Применение люминесцентного метода микроскопии для усовершенствования лабораторной диагностики полиомиелита. Вопросы вирусологии, № 6, 1956.
3. В. Д. Неустроев, В. Н. Милютин, Экспериментальное изучение вируса орнитоза на различных стадиях развития. Вопросы вирусологии, № 5, 1959.
4. А. Н. Мосолов, Взаимодействие клеток культуры ткани с вирусами, выделенными от больных ревматизмом. Сообщ. 1, Изв. СО АН СССР, № 10, 1961.
5. М. Н. Мейсель, В. Б. Корчагина, Люминесцентно-микроскопическое выявление нуклеиновых кислот и нуклеопротеидов. Бюлл. эксперимент. биологии и медицины, 3, 1952.
6. М. Н. Мейсель, Л. Ф. Ларионов, Т. П. Кондратьева, Прижизненное флуорохромирование тканей, культивируемых вне организма. Докл. АН СССР, т. 76, № 5, 1951.

Н. Б. ХРИСТОЛЮБОВА, Н. З. ЗАГОРСКАЯ, Р. М. ВОЛКОВА

НАСЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
ОПРЕДЕЛЕННЫХ УЧАСТКОВ ХРОМОСОМ СЛЮННЫХ ЖЕЛЕЗ
DR. MELANOGASTER

При изучении действия версена на некоторые стадии развития личинок *Dr. melanogaster* было показано изменение физиологической активности определенных участков хромосом слюнных желез [1]. Такое изменение метаболизма отдельных участков хромосом морфологически проявлялось в образовании дополнительных ядрышек, не встречающихся никогда в норме.

Было показано, что как морфологически, так и по химическому составу дополнительные ядрышки сходны с основными. Нами проводилось детальное исследование процесса образования дополнительных ядрышек и изучение наследуемости полученных изменений метаболической активности отдельных участков хромосом.

Предполагают, что механизм действия версена состоит в связывании бивалентных катионов Са и Mg и в сдвиге в результате этого, ионного баланса в клетке в целом [2]. Такой сдвиг ионного баланса приводит, вероятно, к изменению, в первую очередь структуры гетерохроматиновых районов, которые приобретают способность образовывать дополнительные ядрышки. Исследованиями ряда авторов показано, что при действии некоторых химических агентов в гетерохроматиновых районах хромосом разрывы обнаруживаются чаще, чем в эухроматиновых районах (см. обзор Прокофьевой-Бельговской [3]). Была найдена такая концентрация версена, которая ведет к физиологическим изменениям в ядре, проявляющимся морфологически в образовании в определенных участках хромосом дополнительных ядрышек.

Возникновение в ядрах побочных ядрышек и ядрышкоподобных образований, а также выделение хромосомами капельного секрета было показано рядом исследователей [4—7]. Во всех этих случаях речь идет либо об обратимых образованиях, возникающих в процессе жизнедеятельности клеток, либо о перенесении ядрышкообразующих участков в другие места хромосомы.

В нашем опыте создавалось специфическое изменение физиологического состояния клетки, связанного с определенными морфологическими изменениями, которые прослеживаются в ряде последующих поколений. Появление дополнительных ядрышек при специфическом воздействии на организм является еще одним доказательством активного участия хромосом в обменных процессах клетки. На эти процессы можно воздействовать извне, что при более подробном исследовании этого вопроса может привести к возможности повышения уровня рибонуклеопротеидного обмена и у других объектов.

Методика эксперимента заключалась в получении от мух кладок яиц на корм, содержащий версен. Таким образом, личинки с самых пер-

вых стадий развивались под воздействием версена. Представляется вероятным, что гибель части личинок на 2—3-й день после вылупливания можно объяснить неблагоприятными условиями, созданными в опыте. Возможно, выживали лишь те особи, уровень рибонуклеопротеидного обмена которых повышался, соответственно усиливая синтез белков, входящих в состав секрета слюнной железы.

Для изучения наследования дополнительных ядрышек в ряде последующих поколений был поставлен опыт на индивидуальных культурах *Dr. melanogaster*. В качестве исходного материала были использованы мухи из дикой популяции. От каждой из 30 исходных пар мух было получено потомство сначала на нормальном корме. В дальнейшем потомство этих мух использовалось во всех поколениях как контроль. После получения яйцекладок на нормальном корме те же пары мух пересаживались на версеновый корм, содержащий 372 мг версена на 100 г корма. Потомство опытных мух, начиная с первого поколения, выращивалось на нормальном корме.

Изучение хромосом проводилось на давленных препаратах слюнных желез, окрашенных уксуснокислым кармином или орсеином. Затем временные препараты переводились в постоянные.

В норме в ядрах слюнных желез личинок *Dr. melanogaster* имеется одно крупное ядрышко, прикрепленное к хромоцентру. При развитии личинок на версеновом корме на хромосомах слюнных желез, кроме основного ядрышка, обнаруживается появление дополнительных ядрышек, имеющих круглую или несколько вытянутую форму с хорошо выраженным местом прикрепления к хромосоме (рис. 1, 2). Они более интенсивно окрашиваются уксуснокислым кармином (орсеином) и выглядят оптически более плотными, чем основное ядрышко. На одной хромосоме обычно образуется одно, а иногда два дополнительных ядрышка. В образовании дополнительных ядрышек принимают участие оба гомолога хромосом, на что указывает расположение двух ядрышек одинаковой величины и формы по обеим сторонам хромосомы (рис. 3). Дополнительные ядрышки, так же как и основное, пиронинофильны, что говорит о присутствии в их составе РНК [1].

Выше отмечалось, что появление дополнительных ядрышек можно рассматривать как проявление усиленного рибонуклеопротеидного обмена. На повышение уровня обменных процессов в клетках слюнной железы личинок, выросших на версеновом корме, указывают также часто встречающиеся неконъюгирующие гомологи хромосом [8]. В слюнных железах контрольных семей такое явление встречается крайне редко.

Функциональные изменения хромосом, полученные в первом поколении путем воздействия версеном, сохраняются в потомстве опытных мух, развивавшихся в нормальных условиях.

На рис. 4 графически показано изменение числа дополнительных ядрышек по поколениям. При биометрической обработке материала найдены границы достоверности, в которых с вероятностью 0,95 может заключаться процент клеток с дополнительными ядрышками в генеральной совокупности. В первом поколении личинок, развивающихся на версеновом корме, наблюдается большое количество ядер, содержащих дополнительные ядрышки в среднем 11% от общего числа просмотренных ядер слюнной железы. В отдельных же семьях процент таких ядер был выше. Соответственно были семьи, отличающиеся меньшей способностью к ядрышкообразованию. Во втором поколении наблюдается резкое снижение (до 2,9%) числа ядер с дополнительными ядрышками по отношению к общему числу просмотренных ядер. Во втором поколении

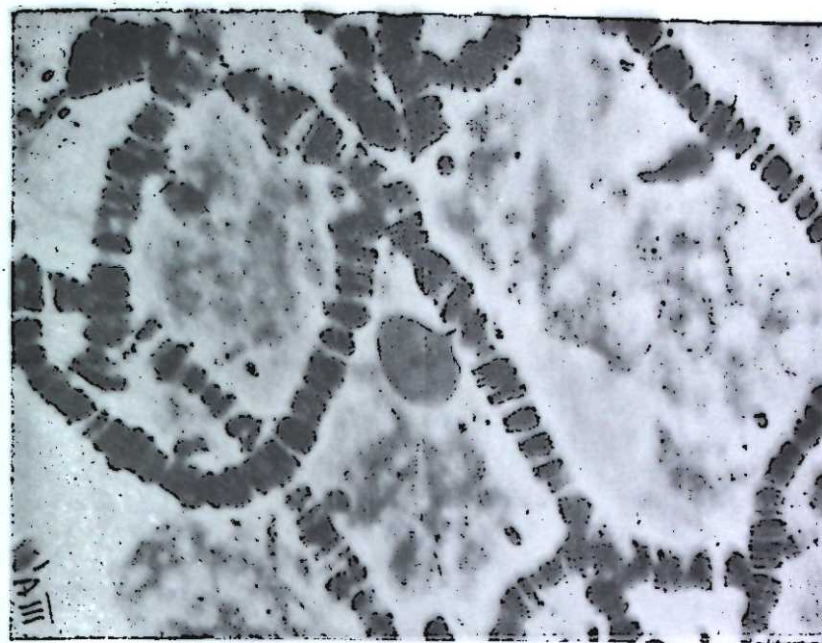


Рис. 1. Дополнительное ядрышко, прикрепленное к правому плечу второй хромосомы (2R). Район 47 BC (ув. 90×20).

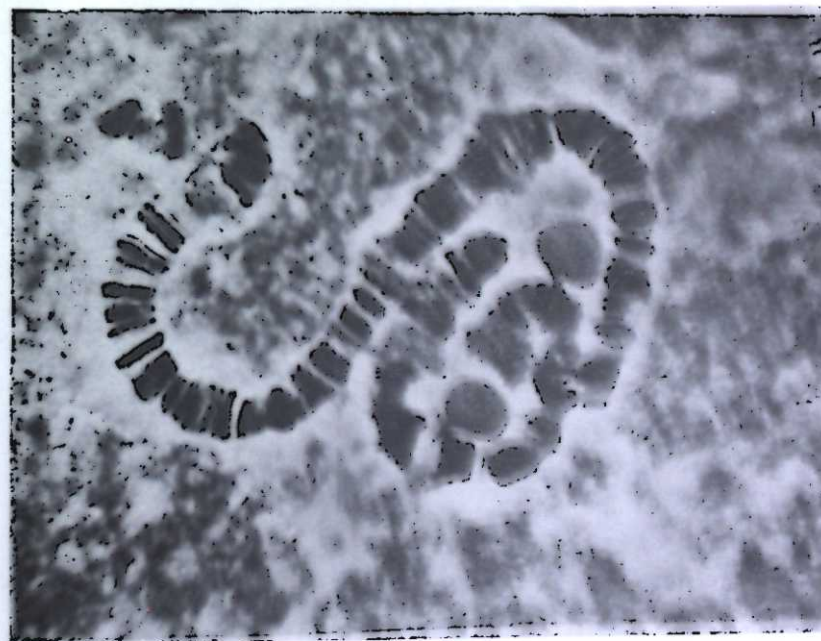


Рис. 2. Дополнительные ядрышки, прикрепленные к X-хромосоме. Районы 3 BC и 8 AB. Фото 90×20.

появляются особи, совершенно не образующие дополнительных ядрышек. С третьего до пятого поколения наблюдается постепенное снижение ядрышкообразования до 0,85%. В шестом же поколении процент ядер с дополнительными ядрышками неожиданно возрастает до 1,5%; из графика видно, что этот скачок достоверен. Причины такого скачка неясны, так как условия опыта в этом поколении не отличались от предыдущих. Начиная с седьмого поколения, на препаратах встречаются лишь единичные дополнительные ядрышки. В более поздних поколениях

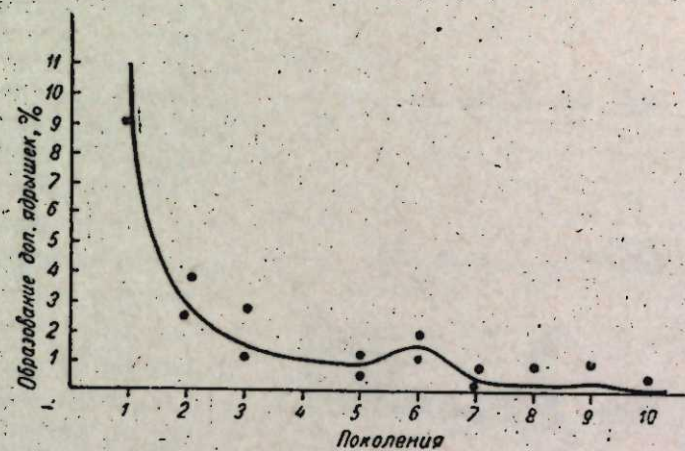


Рис. 4. Изменение числа дополнительных ядрышек в ряду поколений. Точками обозначены границы достоверности.

уменьшается как общее число ядер с дополнительными ядрышками, так и количество особей, способных к их образованию. Количество ядер, содержащих по 2—3 дополнительных ядрышка и более, от поколения к поколению изменяется приблизительно с такой же закономерностью, как и общее число ядер, содержащих дополнительные ядрышки. В одной из семей дополнительные ядрышки продолжают появляться вплоть до тринадцатого поколения.

Кривая, приведенная на рис. 4, построена по сумме имеющихся данных, объединяющих все опытные семьи, и выражает поэтому общую тенденцию передачи по наследству способности ядрышкообразования. При рассмотрении же отдельных семей видно, что способность к наследованию в потомстве последствий действия версена у отдельных семей различна. В большинстве семей наблюдалось постепенное уменьшение количества ядрышек по всем поколениям и ядра с дополнительными ядрышками встречались вплоть до двадцатого поколения.

В других семьях при очень большом числе ядер с дополнительными ядрышками в двух первых поколениях, начиная с 5—6-го поколений, не встретилось ни одного дополнительного ядрышка.

В большом числе просмотренных контрольных препаратов не обнаружено ни одного дополнительного ядрышка.

Различные участки хромосом слюнных желез личинок дрозофилы не равнозначны в отношении способности к образованию дополнительных ядрышек. Наибольшее число дополнительных ядрышек во всех поколениях образовывалось в районе левого плеча второй хромосомы (рис. 5). В 50, 56—59-м районах (по карте Бриджеса) этой хромосомы возникло наибольшее количество дополнительных ядрышек, значитель-

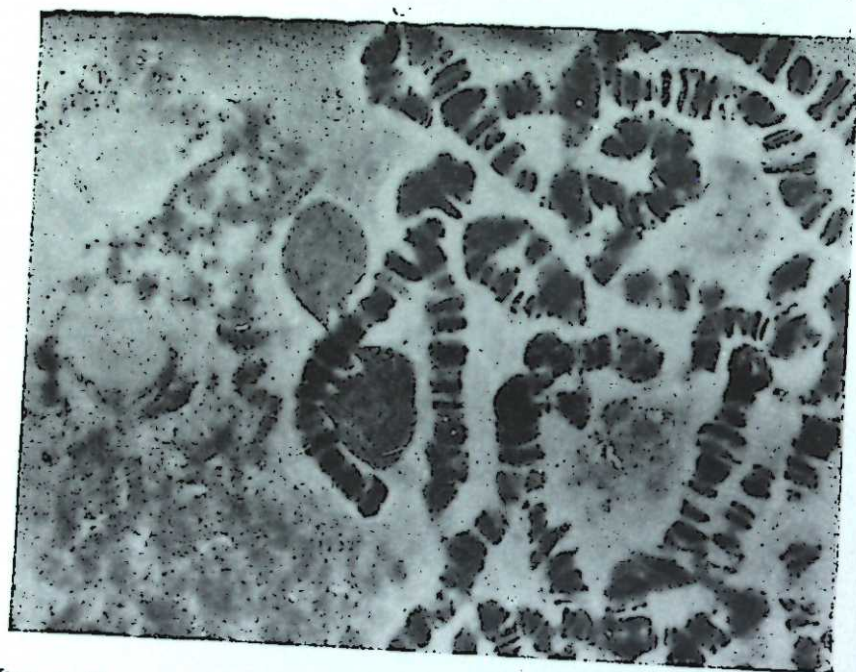


Рис. 3. Два дополнительных ядрышка, прикрепленные к одному участку правого плеча второй хромосомы (2R). Район 59 ABC. Фото 90×20.

ное число их встречается также в X-хромосоме в районах 2—3, 7, 11 и в районах 67 и 70 левого плеча третьей хромосомы.

Способность к образованию дополнительных ядрышек определенных участкам хромосомы, по-видимому, передается по наследству в различной степени у разных семей.

Нахождение дополнительных ядрышек в определенном месте хромосомы часто повторяется у разных особей одной и той же семьи в одном и том же поколении. Например, в одной из семей у четырех личинок в первом поколении были найдены дополнительные ядрышки в районе 3 BC. По другим семьям и в других поколениях неоднократно встречаются дополнительные ядрышки, прикрепленные к одним и тем же районам хромосом.

Повторение мест образования дополнительных ядрышек в разных поколениях одной и той же семьи тоже явление нередкое. Так, в районе 50 EF в одной из семей были найдены ядрышки в первом, четвертом и шестом поколениях, в районе 26 — в первом и четвертом поколениях. В другой семье в районе 3 AB ядрышки образовывались в первом и седьмом поколениях. В третьей семье дополнительные ядрышки образовывались в районе 25 BC во втором и восьмом поколениях, в районе 50 BC — в третьем и восьмом поколениях, в районе 58 AB — в третьем и девятом поколениях. В четвертой семье во втором и шестом поколениях были обнаружены ядрышки в районе 74 BC. Такая повторяемость

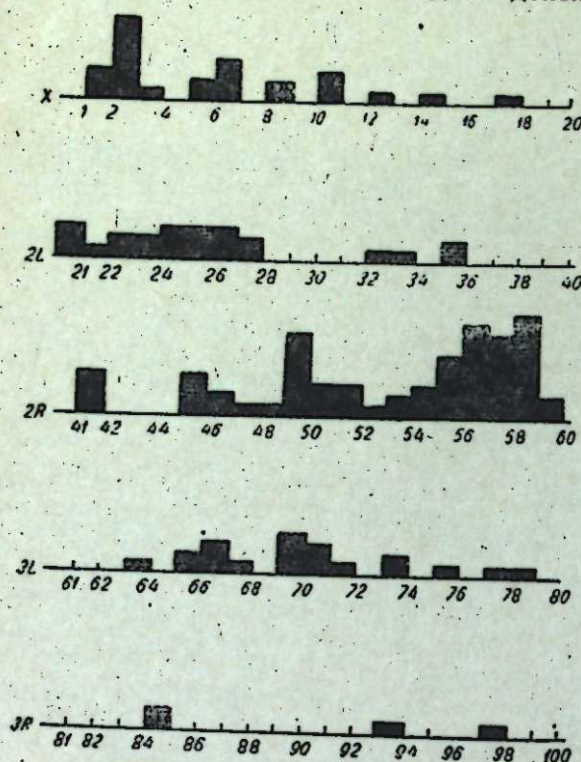


Рис. 5. Распределение мест образования дополнительных ядрышек по длине хромосом.

X — X-хромосома; 2L — левое плечо второй хромосомы; 2R — правое плечо второй хромосомы; 3L — левое плечо третьей хромосомы; 3R — правое плечо третьей хромосомы.

мест образования дополнительных ядрышек свидетельствует о том, что участки хромосом, к которым оказываются прикрепленными дополнительные ядрышки, не случайны и обладают свойствами, передаваемыми по наследству в большем или меньшем числе поколений. Большинство мест образования дополнительных ядрышек лежит в гетерохроматиновых районах хромосом. В некоторых же районах, до сих пор не описанных в качестве гетерохроматиновых (23 CD, 26 BCE, 27 ABC, 28 CDE, 51 DEF, 52 BCD, 54 CDE, 58 ABC, 70 BCD, 74 BC, 85 BC), отмечалась возможность образования дополнительных ядрышек. Возможно, эти районы также являются гетерохроматиновыми.

Подводя итог, можно сделать вывод, что при воздействии на ранние стадии развития личинок дрозофилы версеном имеет место контролируемое изменение физиологической активности определенных участков хро-

мосом слюнных желез *Dr. melanogaster*. Это изменение, выражающееся морфологически в образовании дополнительных ядрышек, прослеживается в ряду поколений, являясь, вероятно, длительной модификацией. Изучение характера наследования дополнительных ядрышек продолжается.

Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
17/V 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Б. Христолюбова, Контролируемое изменение физиологической активности определенных участков гигантских хромосом слюнных желез дрозофилы в результате воздействия версеном. Докл. АН СССР, т. 138, № 3, стр. 681, 1961.
2. В. Р. Kaufmann, M. R. Mc Donald. The nature of the changes effected in chromosomal materials by the chelating agent EDTA. Proc. Nat. Sci. USA, 43, 3, 262—270, 1957.
3. А. А. Прокопьева-Бельговская, Стрессные хромосомы. В кн.: «Итоги науки», Биологические науки, т. 3, Ионизирующие излучения и наследственность, стр. 7—60, 1960.
4. В. Mc Clintock. The relation of a particular chromosomal element to the development of the nucleoli in *Zea mays*. Z. Zellforsch., 21, 284, 1934.
5. R. L. King, H. W. Beams. Somatic synapsis in *Chironomus* with special reference to the individuality of the chromosomes. J. Morph., 56, 577, 1934.
6. Н. Bauer. Der Aufbau der Chromosomen aus den Speicheldrüsen von *Chironomus Thummi*. Kiefer. Z. Zellforsch., 23, 280—313, 1935.
7. В. Р. Kaufmann. Nucleolus organizing regions in salivary gland chromosomes of *Drosophila melanogaster*. Z. Zeitsch., 2, 1—11, 1938.
8. W. Beermann. Der Nucleolus als lebenswichtiger Bestandteil des Zellkernes. Chromosoma, 11, 2, 263—296, 1960.

А. И. СИДОРЕНКО, И. Л. КЛЕВЕНСКАЯ

ОБРАЗОВАНИЕ РОСТОВЫХ ВЕЩЕСТВ НЕСПОРОНОСНЫМИ БАКТЕРИЯМИ, ВЫДЕЛЕННЫМИ ИЗ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ СИБИРИ

Очень многие микроорганизмы содержат в своих клетках и выделяют из них разнообразные ростовые вещества. Как известно, самым распространенным среди веществ такого рода является гетероауксин. Он играет очень большую и разнообразную роль в жизни бактериальной клетки и во взаимодействии ее с высшими растениями. Однако из-за отсутствия совершенных методов определения роль гетероауксина детально не изучена. Это делает необходимым поиски новых и усовершенствование старых методов исследования.

История открытия ростовых веществ (биоса, гиббереллина и др.) связана с применением методов, основанных на биологической реакции растительного организма на эти вещества. Одним из первых методов изолирования ростовых веществ был метод улавливания их в агар [1—5 и др.]. Позже широкое распространение получил экстракционный метод с применением вытяжек ростовых веществ серным эфиром [6], этиловым спиртом [7], метиловым спиртом [8], водой [9] и другими жидкостями.

В качестве биологического теста до сих пор употребляется изгиб coleoptily овса [1—3, 5, 10—12]. В последнее время для определения ростовых веществ у высших растений все чаще пользуются методом распределительной хроматограммы с последующей биологической оценкой элюатов [8, 13—15]. Этим методом устраняется основной недостаток биологических методов, заключающийся в том, что они дают одинаковый ответ как на отдельное ростовое вещество, так и на целый комплекс таких веществ. С применением же метода распределительной хроматографии становится возможным не только установление уже известных физиологически активных веществ, но и открытие новых. Тем не менее таких исследований еще очень мало, а с микроорганизмами такие работы до последнего времени совсем не проводились.

В связи с этим нами было проведено определение ростовых веществ с применением распределительных хроматограмм у различных штаммов азотобактера, неспоронных бактерий и микобактерий, выделенных из некоторых почв Сибири и ризосферы различных растений.

Все испытанные нами штаммы азотобактера были отнесены к одному виду *Azotobacter chroococcum*, неспоронные бактерии — к родам *Bacterium*, *Pseudomonas* и *Mycobacterium*.

Методика

Ростовые вещества выявлялись с помощью несколько модифицированной для микроорганизмов методики, описанной в работе [13] для высших растений.

Культуры азотобактера выращивались на жидкой среде Эшби с маннитом, неспоронсы и микобактерии — на специальной среде состава: $MgSO_4$ — 0,2 г, K_2HPO_4 — 0,2 г, маннит — 10 г, $NaCl$ — 0,2 г, K_2SO_4 — 0,1 г, глюкоза — 10 г, пептон — 20 г, мел — 5 г, дистиллированная вода — 1000 мл.

Среда наливалась тонким слоем (1—2 см) в эрленмейровские колбочки объемом 100 см³. Посев производился 0,5 мл суспензии 2-суточной культуры. Для опытов были взяты культуры 10-суточного возраста.

Перед анализами культуральных жидкостей микроорганизмов было проведено хроматографирование кристаллического гетероауксина методом восходящей хроматограммы на бумаге Б № 2 шириной в 1,5 см на расстоянии 30 см. В качестве растворителя применялась смесь этилового спирта, аммиака и воды (12 : 28 : 1), давшая хорошие результаты при испытании различных смесей в круговых хроматограммах. Проявлялась хроматограмма реактивом С. Сальковских [16] в модификации Гордона и Вебера [17] состава: 200 мл 5%-ной $HClO_4$ + 4 мл 0,05 M $FeCl_3$, где вместо хлорной кислоты была применена соляная кислота.

Коэффициент скорости движения (*Rf*) для кристаллического гетероауксина при соблюдении данных условий оказался равным 0,8.

Хроматограммы культуральных жидкостей микроорганизмов готовились на таких же полосках бумаги Б № 2. Хорошо высушенная хроматограмма разрезалась на 5 равных частей, начиная от стартовой линии до фронта растворителя. Кусочки бумаги помещались в маленькие фарфоровые тигли, которые за 24 ч до помещения отрезков coleoptily заливались 1 мл воды для извлечения ростовых веществ. В контрольные чашечки помещались такие же кусочки хроматограммы стерильной питательной среды.

Семена овса сорта Победа из семенного фонда Центрального Сибирского Ботанического сада проращивались в термостате при 25° в темноте в чашках Петри на фильтровальной бумаге.

Через 3 дня с помощью специального приспособления вырезались кусочки стебля овса длиной в 3 см на 3 мм ниже кончика проростка.

Отрезки помещались в соответствующие чашечки с элюатами, которые затем переносились в темный термостат на 48 ч.

Результаты выражались в разности приростов отрезков овса в элюатах хроматограммы культуральной жидкости от длины контрольных.

Результаты исследования

Как можно видеть из табл. 1 и 2, большинство испытанных нами штаммов *Azotobacter chroococcum* и неспоронных бактерий выделяет вещество с коэффициентом скорости движения $Rf=0,8$. Это доказывает, что представители неспоронных бактерий выделяют гетероауксин. Однако интенсивность этого процесса выражена у различных видов и даже штаммов микроорганизмов неодинаково.

Наиболее энергично образовывали гетероауксин штаммы азотобактера, выделенные из почв Горного Алтая (шт. 30), среднестолбчатых и высокостолбчатых солонцов Барабинской низменности (шт. 15, 3, 18). Прирост отрезка coleoptily в этих случаях достигал 0,7—1 см за 2 суток. Остальные штаммы азотобактера выделяли гетероауксин в значительно меньшем количестве, и прирост отрезков составлял 0,2—0,5 см. У некоторых штаммов гетероауксин методом распределительной хроматограммы обнаружить не удалось (табл. 1).

Таблица 1

Образование ростовых веществ различными штаммами
Azotobacter chroococcum

Почва	Участки хроматограммы	приrost, см				
		1	2	3	4	5
		Rf=0,2	Rf=0,4	Rf=0,6	Rf=0,8	Rf=1
Новосибирская область	Выщелоченный среднесиловый чернозем (шт. 56)	0,8	0,4	0,5	0,5	0,1
	Солонцеватый чернозем (шт. 57)	0,4	0,4	1,0	0,6	0,6
	» » ризосфера лука (шт. 61)	0,4	0,7	0,6	0,2	0,9
	» » » огурцов (шт. 53)	0,2	0	0,3	0,3	0,4
	» » » моркови (шт. 55)	0,3	0,3	0,4	0,6	0,4
	» » » овса (шт. 59)	0,3	0,2	0,4	0,2	0,8
	» » » пшеницы (шт. 60)	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3
Барабинская низменность	Высокостолбчатые солонцы (шт. 58)	0,7	1,4	0,7	0,5	0,9
	Среднестолбчатые солонцы (шт. 15)	0,2	1,2	0,9	0,9	0
	Средние ореховатые солонцы (шт. 21)	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3
	Высокостолбчатые солонцы (шт. 3)	0,5	0,3	1,3	0,7	0,5
	Высокие ореховатые солонцы (шт. 18)	1,2	0,2	0,6	0,7	1,9
	Корковые солонцы (шт. 8)	0	2,0	0	0	0,2
Кулундинская степь	Среднестолбчатые солонцы (шт. 5)	0,1	0,3	0	0	0
	Южный чернозем (шт. 54)	0,2	0,2	0	0,2	0
Горный Алтай	Лугово-черноземная почва, ризосфера щучки луговой (шт. 33)	0,3	0,1	0,2	0,4	0,6
	Лугово-черноземная почва, ризосфера полевицы белой (шт. 30)	0,2	1,5	0,9	1,0	1,0
Иркутская область	Лугово-черноземная почва (шт. 51)	0,1	0,2	0,2	0	0
	Дерново-карбонатная почва (пашня) (шт. 35)	0	0	0,1	0	0,3
	Дерново-карбонатная почва (целина) (шт. 37)	2,9	3,6	3,5	0	0
Кристаллический гетероауксин (800 γ на 1 л)		0	0	0	1,8	0

Способность образовывать гетероауксин так же широко распространена и среди неспороносных бактерий родов *Pseudomonas*, *Bacterium* и *Mycobacterium* (табл. 2).

Некоторые виды *Ps. fluorescens* (шт. 6), *Ps. aeruginosa* (шт. 38), *Myc. phlei* (шт. 34) образовали очень большое количество гетероауксина.

Применение метода распределительных хроматограмм показало, что микроорганизмы чаще всего обладают целым набором физиологически активных веществ. Особенно часто у испытанных нами микроорганизмов встречался фактор с $Rf=0,6$, который сильно стимулировал рост отрезков овса (см. табл. 1 и 2). Такими же свойствами обладали вещества с $Rf=0,2$ и $0,4$. Интересно отметить, что такие же компоненты (с $Rf=0,2$, $Rf=0,45$ и $Rf=0,6$) были выделены Рикаром и Ничем [18] из пшеницы.

Сравнение результатов, полученных нами описанным выше методом, с полученными ранее [19] методом изгиба coleoptilia овса показало, что реакция изгиба coleoptilia овса, вызываемая культурой микроорганизмов, иногда зависит не от наличия гетероауксина, а от других физиологически активных веществ. Так, 37-й штамм азотобактера, который вы-

Таблица 2
Образование ростовых веществ различными штаммами неспороносных бактерий

Название видов	Участки хроматограммы					
	1	2	3	4	5	
	Rf=0,2	Rf=0,4	Rf=0,6	Rf=0,8	Rf=1	
приrost, см						
<i>Ps. sinuosa</i> (шт. 33)	0,2	0,5	0,5	0,5	0	
<i>Ps. rubiginosa</i> (шт. 30)	0,2	0,5	0,5	0,5	0	
<i>Ps. centrifugans</i> (шт. 29)	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2	
<i>Ps. nonliquefaciens</i> (шт. 24)	0,3	0,5	0	0	0	
<i>Ps. denitrificans</i> (шт. 31)	0,2	0,4	0,4	0,3	0	
<i>Ps. crucivivae</i> (шт. 11)	0,3	0,5	0,1	0,2	0	
<i>Ps. fluorescens</i> (шт. 4)	(-0,2)	0,9	(-0,6)	(-0,6)	(-0,6)	
<i>Ps. fluorescens</i> (шт. 6)	2,4	2,1	2,6	3,0	3,1	
<i>Ps. fluorescens</i> (шт. 39)	(-0,6)	(-0,4)	(-0,4)	(-0,3)	0	
<i>Ps. aeruginosa</i> (шт. 38)	3,0	1,2	1,2	3,5	0	
<i>Ps. aurantiaca</i> (шт. 12)	0,1	(-0,1)	(-0,1)	0,2	0,3	
<i>Ps. gracilis</i> (шт. 5)	0	0,9	(-0,1)	(-0,4)	(-0,4)	
<i>Chr. prodigiosum</i> (шт. 22)	(-0,1)	0,5	0,5	0,3	0	
<i>Chr. prodigiosum</i> (шт. 8)	0,1	0,5	0,5	0	0	
<i>B. delicatulum</i> (шт. 25)	0,3	0,4	0,4	0,5	0	
<i>B. liquefaciens</i> (шт. 27)	(-0,1)	0,5	0,6	0,2	0	
<i>B. album</i> (шт. 17)	0,2	0,4	0,4	0,5	0	
<i>B. agile</i> (шт. 9)	0,4	0,5	0,5	0,6	0	
<i>Myc. rubrum</i> (шт. 19)	1,5	1,6	0,4	0,6	1,6	
<i>Myc. citreum</i> (шт. 21)	2,4	1,5	2,3	1,8	1,6	
<i>Myc. phlei</i> (шт. 34)	3,3	1,1	2,7	3,0	2,7	
<i>Myc. luteum</i> (шт. 28)	(-0,5)	(-0,3)	(-0,3)	(-0,3)	0,1	
<i>Myc. cyaneum</i> (шт. 7)	0,17	0,4	1,9	1,1	0	
<i>Myc. cyaneum</i> (шт. 37)	0,1	1,6	1,4	2,0	2,1	
<i>Myc. hyalinum</i> (шт. 35)	(-0,5)	(-0,1)	0	0,1	0	
(шт. 36)	(-0,5)	(-0,4)	(-0,4)	(-0,1)	0	
(шт. 15)	(-0,3)	1,1	0,7	2,0	0	
Кристаллический гетероауксин (800 γ на 1 л)		0	0	0	1,8	0

звал сильный изгиб coleoptilia, не выделял вещества с $Rf=0,8$. В то же время он образовал очень большое количество других ростовых веществ (см. табл. 1).

Следует также отметить, что применение метода распределительной хроматограммы с последующей биологической пробой на отрезках овса позволяет выявить у микроорганизмов вещества, тормозящие их рост. Такие вещества нам удалось обнаружить у некоторых неспороносных бактерий и микобактерий (*Ps. fluorescens* — шт. 4 и 39, *Myc. luteum* и *Myc. hyalinum*).

Выводы

1. Разработанный для высших растений метод хроматографии на бумаге (с последующей биологической оценкой элюатов) был применен для определения гетероауксина и других ростовых веществ у микроорганизмов, выделенных из некоторых почв Сибири.
2. Интенсивность выделения ростовых веществ может сильно варьировать у различных культур неспороносных бактерий.
3. При помощи описанного метода можно выделить также вещество, тормозящее рост высших растений.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
10/IV 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Бойсен-Иенсен, Ростовые гормоны растений. М.—Л., 1938.
2. Н. Г. Холодный, Фитогормоны, М., 1939.
3. Г. Зедниг, Ростовые вещества растений. ИЛ, М., 1955.
4. F. W. Went, Wuchsstoff und Wachstum. Rec. trav. bot. neerl., v. 25, 1928.
5. K. V. Thimann, J. Bonner. Studies of the growth hormone of plants II. The entry of growth substance into the plant. Proc. Nat. Acad. Sci., v. 18, 1932.
6. F. G. Gustafson. The extraction of growth hormones from plants, Amer. J. Bot., v. 28, № 10, 1941.
7. T. A. Bennet-Clark, N. P. Kefford. Chromatography of the growth substances in plant extracts. Nature, 171, 1953.
8. J. P. Nitsch, C. Nitsch. Separation chromatographique des auxins de l'ovule feconde de haricot á differents stades de son developpement. Bull. soc. bot. France, v. 102, № 9, 1956.
9. G. S. Avery, J. Berger, B. Shalucha. The total extraction of free auxin and auxin precursor from plant tissue. Amer. J. Bot. 23, 1942.
10. Н. А. Красильников. Микроорганизмы почвы и высшие растения. Изд. АН СССР, 1958.
11. В. Т. Смалый, О. И. Бершова. Утворения гетероауксину в культурах азотобактера. Повідомлення I, Микробиологічний ж. АН УРСР, т. IX, № 4, 1948.
12. В. Т. Смалый, О. И. Бершова. Образование гетероауксина в культурах азотобактера. Микробиология, т. XXVI, вып. 5, 1957.
13. А. М. Гродзинский, Д. М. Гродзинский. Биологические методы исследования ростовых веществ у растений. Сб. Ростовые вещества и их роль в процессах роста и развития растений. Л., 1959.
14. В. В. Stöwe, K. V. Thimann. The paper chromatography of indole Compounds and some indole containing auxins of plant tissues, Arch. Biochem. Biophys., v. 51, № 499, 1954.
15. L. C. Luckwill. Studies of fruit development in relation to plant hormones. IV. Aids auxins and growth inhibitors in leaves and fruits of the apple. J. Hort. Sci., v. 32, № 1, 1957.
16. E. Salkowski, H. Salkowski. Über die skatolbidende Substanz. Ber. Deut. Chem. Gesell. Bd. 13, 1880.
17. S. A. Gordon, R. Weber. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. Plant Physiol., v. 26, № 1, 1951.
18. J. Ricar, I. P. Nitsch. Intervention de substances naturelles autres que l'acide indolyl-3-acétique dans la croissance du jeune coleptile de blé. C. r. Acad. Sci., v. 247, № 21, 1958. Р. ж. Биология, № 44255, 1960.
19. Научный отчет лаборатории микробиологии БИ СО АН СССР за 1957—1960 гг.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Ю. Н. ПИОТТУХ

К. П. Д. ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТЭЦ

В настоящее время тепловые электрические станции, потребляя твердое топливо, вырабатывают два вида энергии — электрическую и тепловую.

Однако бурное развитие техники и экономики уже сейчас ставит перед энергетиками вопрос о еще более рациональном использовании наших топливных ресурсов. В частности, стоит вопрос о комплексном энерготехнологическом использовании твердых топлив, когда из них наряду с вырабатываемой сейчас на ТЭЦ электрической и тепловой энергией будут вырабатываться высококалорийный газ и смолы, являющиеся сырьем для химической промышленности.

Такое комплексное использование твердых горючих ископаемых, являющихся не только энергетическим топливом, но и ценным химическим сырьем, еще более повысит эффективность их использования.

Тепловая экономичность ТЭЦ характеризуется по принятой на электростанциях в СССР методике энергетическими показателями, определяющими экономичность производства электрической и тепловой энергии. Рассмотрим влияние дополнительно вырабатываемых, по новой схеме, продуктов на энергетический к. п. д. ТЭЦ.

При комплексном энерготехнологическом использовании твердых топлив все потенциальное тепло исходного топлива, поступающего на ТЭЦ, расходуется на выработку электрической, тепловой энергии и часть этого тепла переходит в газ и смолы.

$$B \cdot Q_{II}^p \cdot \eta_{ЭК} = 860 W_e + Q_p + Q_g + Q_{см} \quad (1)$$

Для общей оценки тепловой экономичности ЭТЭЦ и использования топлива в энерготехнологических установках можно воспользоваться полным к. п. д. ЭТЭЦ.

$$\eta_{ЭК} = \frac{860 \mathcal{E} + Q_p + Q_g + Q_{см}}{B Q_{II}^p} \quad (2)$$

где Q_p — тепло, идущее в отбор пара,

$Q_g, Q_{см}$ — тепло, заключенное в газе и смоле.

Однако полный к. п. д. является чисто балансным показателем и не характеризует экономичности каждого из процессов в отдельности.

Для получения более развернутой формулы к. п. д. комбинированного энерготехнологического производства рассмотрим этот процесс как сложный цикл, состоящий из простых циклов. В соответствии с разделением общего потока потенциальной тепловой энергии исходного топлива составим уравнение теплового баланса для комплексной энерготехнологической установки, воспользовавшись методикой, разработанной И. Н. Бутаковым* для установок с комбинированным производством тепла и электроэнергии:

$$\frac{860 \mathcal{E} + Q_p + Q_g + Q_{см}}{\eta_{ЭК}} = \frac{860(\mathcal{E} - \mathcal{E}_T)}{\eta_{к}} + \frac{860 \mathcal{E}_T + Q_p}{\eta_T} + \frac{Q_g + Q_{см}}{\eta_{ЭТ}} \quad (3)$$

где \mathcal{E} — общая выработка электроэнергии всей установкой в киловаттчасах,

\mathcal{E}_T — выработка электроэнергии в киловаттчасах на тепловом потреблении,

Q_p — количество тепла, отданное с отбором пара,

Q_g — количество тепла, перешедшего в газ,

$Q_{см}$ — количество тепла, перешедшего в смолу,

$\eta_{ЭК}$ — экономический к. п. д. всей комбинированной установки.

* И. Н. Бутаков, Теплосиловые установки, ч. I, Изд. Томск. политехн. ин-та, Томск, 1954.

η_k — эффективный к. п. д. конденсационной части установки,
 η_T — эффективный к. п. д. теплофикационной части установки,
 $\eta_{ЭТ}$ — эффективный к. п. д. энерготехнологической части установки.
 Исходя из этого уравнения, можно получить к. п. д. комплексной энерготехнологической установки как функцию от к. п. д. ее отдельных составляющих.

$$\eta_{ЭК} = \frac{860 \Xi + Q_{П} + Q_{Г} + Q_{СМ}}{\frac{860(\Xi - \Xi_T)}{\eta_k} + \frac{860 \Xi_T + Q_{П}}{\eta_T} + \frac{Q_{Г} + Q_{СМ}}{\eta_{ЭТ}}}, \quad (4)$$

обозначив $860 \Xi + Q_{П} + Q_{Г} + Q_{СМ} = Q_{исп}$,

$$860(\Xi - \Xi_T) = Q_k,$$

$$860 \Xi_T + Q_{П} = Q_T,$$

$$Q_{Г} + Q_{СМ} = Q_{ЭТ}.$$

получим

$$\eta_{ЭК} = \frac{Q_{исп}}{\frac{Q_k}{\eta_k} + \frac{Q_T}{\eta_T} + \frac{Q_{ЭТ}}{\eta_{ЭТ}}}, \quad (5)$$

Уравнение (5) состоит из трех самостоятельных частей, каждая из которых характеризует соответственно выработку электрической, тепловой энергии и технологической продукции.

При отсутствии какой-либо из составляющих уравнение (5) упростится. Так, если из знаменателя уравнения (5) исключить последний член, то полученное уравнение может быть легко преобразовано в обычное уравнение, характеризующее экономический к. п. д. ТЭЦ, и, наконец, если из знаменателя уравнения исключить два последних члена, получим обычное уравнение эффективного к. п. д. конденсационной электростанции.

Транспортно-энергетический институт
 Сибирского отделения АН СССР,
 Новосибирск

Поступила в редакцию
 23/VI 1961

В. М. КЛЕМЕНТЬЕВ

ОБ ОТКРЫТОМ (ДИСКОВОМ) РЕЗОНАТОРЕ

Открытые (дисковые) резонаторы представляют собой по существу аналог интерферометра Фабри-Перо. В работе [1] предложено использовать такие резонаторы в области радиочастот. В приближениях геометрической оптики открытые резонаторы рассмотрены в работе [2]. Экспериментальное изучение проведено в [3], при этом выяснено, что добротность дисковых резонаторов равна примерно 7000, излучение и число колебаний зависят от диаметра дисков. Авторы указывают, что резонатор можно возбуждать как электрическим, так и магнитным диполями, что резонатор можно возбуждать существенно зависит от степени параллельности дисков. В работе [4] описано применение резонаторов открытого типа в области инфракрасного излучения. Все полученные результаты существенны и необходимы для характеристики резонатора. Однако некоторые вопросы, касающиеся излучения из резонатора, и связанные с этим эффекты не изучены. В связи с этим было проведено экспериментальное исследование зависимости излучения из резонатора от формы дисков, зависимости излучения от величины связи резонатора с волноводным трактом и расстояния между дисками L , дифракционного резонатора и распределения резонансов различных типов колебаний в зависимости от расстояния между дисками и величины связи. Проведено также измерение добротности при различных диафрагмах, и упрощена методика определения Q (добротность).

Была сконструирована резонатор с круглыми дисками диаметром в 100 мм, т. е. порядка 12λ , связанного через индуктивную диафрагму с прямоугольным волноводом. Диаметр выбирался из соображений, приведенных в работах [3] и [4]. Результаты измерений добротности при различных диафрагмах приведены в табл. 1, из которой видно, что добротность при больших связях снижается. Это объясняется некоторым увеличением излучения при резонансах. Следует, однако, подчеркнуть, что Q все же остается высокой.

С точки зрения отдельных типов колебаний целесообразно знать распределение их в зависимости от расстояния между дисками и от величины связи резонатора с линией.

Ниже приведена таблица смещений $\Delta \epsilon_n$ ($n = 0, 1, 2, \dots, 6$) резонансов колебаний различных типов (а следовательно, плотности их распределения) от резонанса колебания низшего типа, при котором расстояние между дисками равно L_0 , для трех диафрагм с окнами связи d . Из табл. 2 следует, что плотность распределения типов колебаний высокого порядка меньше плотности распределения низкого порядка, а по мере увеличения связи плотность распределения уменьшается. Таким образом, проще выделить колебание более высокого порядка. Число типов колебаний от связи не зависит.

Добротность измерялась методом отраженной волны, но с той особенностью, что, кроме осциллографа, в блок-схему (рис. 1) были включены самописец типа Н16-Ф16 и

Таблица 1

Диафрагма, мм	Q	λ , мм
2,1	6700	8,2
5	6100	
7,2	5600	

Таблица 2

n	d	$\Delta \epsilon_n$	d	$\Delta \epsilon_n$	d	$\Delta \epsilon_n$	Примечание
0		0		0		0	$\Delta \epsilon_n$, МК
1		28		30		44	
2		60		90		118	
3	2,1 мм	88	3,5 мм	132	5 мм	228	
4		126		188		374	
5		182		262		584	
6		238		392		716	

генератор НГПК-2 с регулируемой частотой развертки пилообразного напряжения (от 0,01 до 100 Гц). Из записей легко построить резонансные кривые. Ширина полосы определялась по расстройке резонатора. В качестве фиксатора расстройки применялся микронный индикатор с ценой деления 0,002 мм. Если каждому его делению соответствовало m мГц, то

$$2\Delta f = m\Delta l, \quad (1)$$

где Δl — полная расстройка по уровню отсчета ширины полосы. Самописец удобно применять также для определения резонансов разного типа колебаний и их распределения. Параллельность между дисками устанавливалась с помощью плиток Иогансона и специальных винтов, предусмотренных в конструкции резонатора.

В практике могут потребоваться различные формы дисков. В связи с этим были изготовлены диски квадратной формы, равные по площади круглым. Для такого резонатора были получены добротности порядка 5000.

Если дисковый резонатор рассматривать как радиальную линию, то при определенной величине связи и расстоянии между дисками могут выполняться условие согласования двух линий (прямоугольной волноводной и радиальной) и условие распространения волн вдоль радиуса. При этом из области между дисками можно ожидать сильное излучение в пространство. Интересно, что если допустить наличие однородных цилиндрических волн в резонаторе, для которых

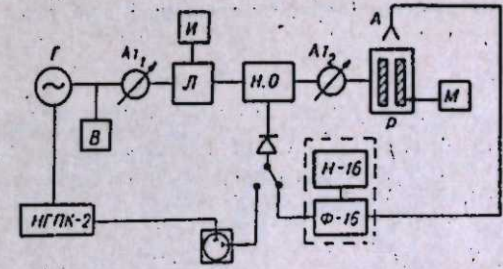


Рис. 1:

А — антенна, НО — направленный ответитель,
 М — микрометр, Л — измерительная линия, P — резонатор, И — индикатор, Аг — аттенюатор,
 В — волновод; Г — генератор.

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} = \frac{\partial}{\partial z} = 0 \text{ и } H_r = E_r = 0, \quad (2)$$

а решением является

$$E_z = A H_0^{(1)}(j\gamma r) + B I_0(j\gamma r), \quad (3)$$

где $H_0^{(1)}(j\gamma r)$ — функция Ханкеля мнимого аргумента (функция Макдональда),

$I_0(j\gamma r)$ — модифицированная функция Бесселя нулевого порядка, то окажется, что волновое сопротивление ($Z_0 = E_z/H_\varphi$) действительно для решения данного уравнения с функцией Макдональда ($Z_0 = -\sqrt{\mu/\epsilon}$), что соответствует распространяющейся волне. Решение комплексное [$Z_0 = j\sqrt{\mu/\epsilon} \operatorname{ctg}(j\gamma r - \frac{\pi}{4})$] или чисто мнимое при мнимом γ с модифицированной функцией, что соответствует отсутствию распространения волн в линии. Можно ожидать, что при точном решении эти случаи соответствуют разным расстояниям между дисками.

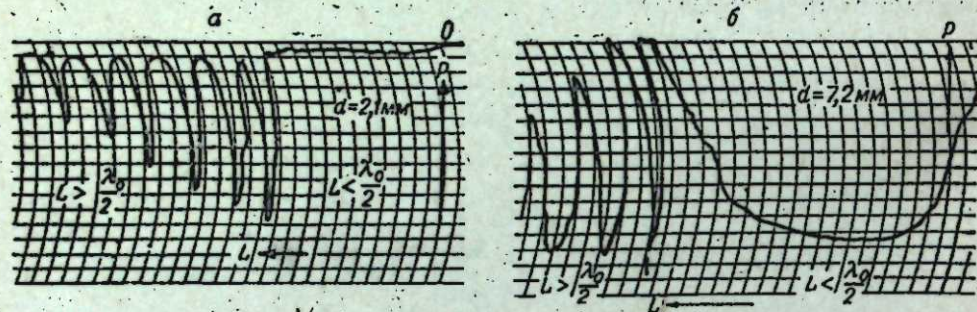


Рис. 2. Запись резонансов на самописце типа Н-16:

а — при диафрагме в 2,1 мм, б — при диафрагме в 7,2 мм.

Для изучения указанных явлений были изготовлены сменные диафрагмы с окнами связи d , равными 2,1 мм; 3,5 мм и 7,2 мм. Экспериментально получено, что при увеличении связи из области $L < \frac{\lambda_0}{2}$ (λ_0 — длина волны низшего типа колебаний) излучение возрастает и достигает максимума при $d = 7,2$ мм (рис. 2). Интересно, что при $L \sim \frac{\lambda_0}{2}$ излучение в диапазоне для всех диафрагм падало. В области $\frac{\lambda_0}{2} < L < \lambda_0$ наблюдались резонансы.

На основе полученного эффекта дисковый резонатор можно возбуждать благодаря дифракции волн из первичной области, образованной двумя дисками с расстоянием между ними $L < \frac{\lambda_0}{2}$, из которых второй диск по диаметру несколько меньше, чем первый, во вторичную область (резонатор), которая заключена между средним (вторым) и третьим дисками (рис. 3). Этот резонатор был назван дифракционным.

На рис. 4. приведена запись отраженной мощности в зависимости от расстояния между средним и третьим дисками. Видно, что при $L \geq \frac{\lambda_0}{2}$ резонатор возбуждается.

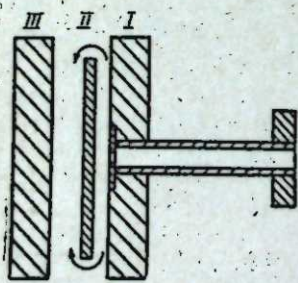


Рис. 3. Схема дифракционного дискового резонатора:

I, II, III — диски.

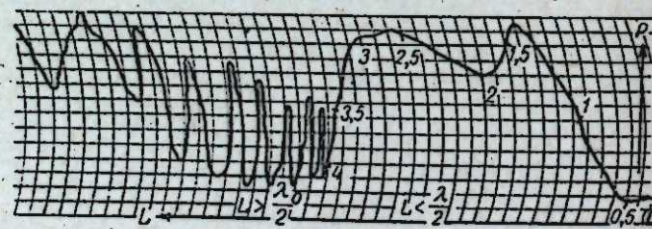


Рис. 4. Запись резонансов на самописце для дифракционного дискового резонатора.

Колебания низкого порядка выражены слабее. Из первичной области при $L \ll \frac{\lambda_0}{2}$ излучение весьма интенсивно, что соответствует выбору расстояния между первыми дисками. При увеличении вторичной области излучение падает. Особенностью резонаторного устройства с перестройкой можно применять для возбуждения соответствующих замедляющих устройств.

Институт радиофизики и электроники
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Прохоров, О молекулярном усилителе и генераторе на субмиллиметровых волнах. ЖЭТФ, т. 34, вып. 6, июнь, 1958.
2. A. L. Schawlow, C. H. Townes. Infrared and Optical Masers, Phys. Rev., 112, № 6, 1958.
3. А. И. Барчуков, А. М. Прохоров, Экспериментальное исследование дисковых резонаторов в миллиметровом диапазоне длин волн. Радиотехника и электроника, т. IV, вып. 12, 1959, стр. 2094.
4. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, Ю. М. Попов, Генерация, усиление и индикация инфракрасного и оптического излучений с помощью квантовых систем. Успехи физ. наук., т. XXII, вып. 2, 1960.

А. М. КОМЛЕВ

СРЕДНЕГОДОВОЙ СТОК РЕК БАСЕЙНА КАТУНИ

Река Катунь является наиболее богатой гидроэнергоресурсами водной артерией Горного Алтая. Обширный бассейн этой реки (60 900 км²) отличается разнообразием физико-географических факторов, обуславливающих большие изменения в водности и режиме рек как по отдельным его частям, так и по различным высотным зонам.

Карты изолиний нормы стока для этого района составлялись П. П. Пиварелисом [1], Н. А. Задубиним [2], Н. М. Алюшинской [3]. Кроме того, рядом исследователей давалась схематическое распределение стока в горах Алтая при составлении аналогичных карт для более обширных территорий [4—8]. Однако наиболее полной для Горного Алтая остается карта, составленная Н. М. Алюшинской [3] с использованием материалов по 1945 г.

В процессе исследований формирования стока в бассейне Катунь нами были собраны, проанализированы и приведены к многолетнему ряду все имеющиеся данные по годовому стоку рек этого бассейна по состоянию на 1 января 1960 г. с использованием материалов наблюдений различных ведомств (ЗСУГМС, Ленгидэпа, ГГИ, Транспортно-энергетического института СО АН СССР и др.). В результате этой работы были получены значения нормы стока по 25 пунктам (см. табл.), в то время как в распоряжении Н. М. Алюшинской имелись данные лишь по 11 пунктам.

Наличие большего числа пунктов с длительными наблюдениями позво-

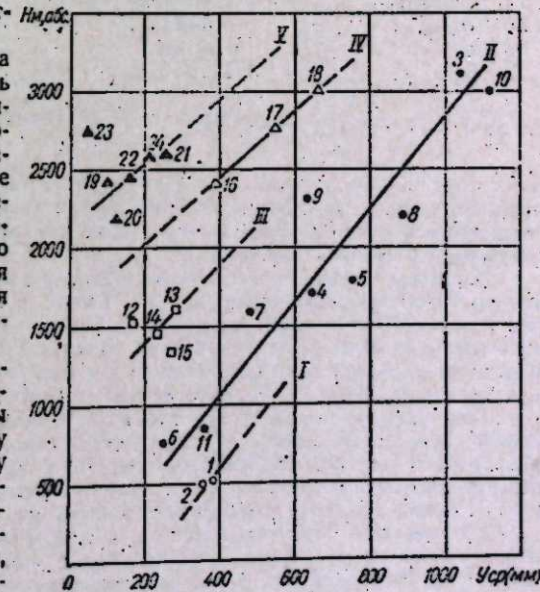


Рис. 1. Региональные зависимости нормы стока рек (Y) от средней высоты их водосборов (H).

I — северная предгорная часть; II — верховья бассейна (до устья р. Аргут) и правобережье средней части; III — левобережье средней части; IV — бассейн р. Аргут, а также примыкающая к нему высокогорная часть бассейна Чуи; V — юго-восточная часть.

Средний годовой сток рек бассейна Катунь (в мм слоя)

№ пункта	Река	Пункт	Площ. басс., км ²	Средн. высота басс., м. абс.	Годы наблюдений	Принятая норма стока, мм
3	Катунь	У подн. г. Белухи	65	(3100)	1933—1935	(1040)
4	Катунь	Тюнгур	13490	1720	1933—1935 1957—1959	645
5	Катунь (без Коксы и Курагана)	Тюнгур	7260	1780	1932—1935	752
6	Катунь	Участок Анос-Сростки	8750	750	1940—1945	253
25	Катунь	Сростки	58400	1700	1936—1958	348
7	Кокса	Усть-Кокса	5650	1580	1932—1935 1945—1959	483 (880)
8	Кураган	Бедняк	617	2210	1933	(630)
9	Кучерла	Кучерла	600	2320	1933	1114
10	Аккем	Аккем	72	(3000)	1933—1935 1952—1957	
16	Аргут	Аргут	7020	2420	1934—1935 1957—1958	386
19	Чуя	Чаган-Узун	8100	2410	1959	(100)
20	Чуя	Белый Бом	10600	2190	1932—1935 1950—1959	123
21	Бар-Бургазы	14 км от устья	446	2610	1958	259
22	Кызыл-Шин	Кокорю	1260	2460	1958	(160)
23	Чаган-Бургазы	35 км от устья	358	2740	1958	(50)
24	Кок-Узек	Ниже устья реки Себыстей	217	2570	1958	(210)
17	Чаган	Кызыл-Маны	365	2760	1951—1959	544
18	Актру	Альплагерь	42	(3000)	1958—1959	664
12	Урсул	Онгудай	3260	1510	1934—1958	167
13	Сема	Топуча	114	1610	1958—1960	284
14	Сема	Шебалино	490	1440	1956—1959	234
15	Шебалик	Шебалино	50	1360	1946—1954	272
11	Майма	Майма	840	830	1940—1959	357
1	Иша	Нарлык	1660	520	1955—1959	379
2	Иша	Усть-Иша	3320	500	1954—1959	360

Примечание. Значения в скобках следует считать приближенными.

лило уточнить норму стока исследуемых рек и на основе построения региональных зависимостей значений этой нормы от средней высоты водосборов (рис. 1) получить уточненную и более детальную характеристику распределения водности по территории Катунского бассейна (рис. 2).

Наиболее существенное уточнение нормы годового стока произведено по высокогорным бассейнам верхней Катунь (рр. Катунь у подножья горы Белухи; Аккем, Кураган, Кучерла). По первым двум из этих бассейнов норма стока в сравнении с имеющимися данными [3, 5, 6] получена ниже почти в 2 раза. Это обстоятельство может быть объяснено особенностями формирования и многолетнего изменения стока в высокогорных бассейнах, которые, видимо, не учитывались указанными авторами.

Как показали наши исследования [9], многолетние колебания стока рек высокогорной зоны Алтая происходят асинхронно с колебаниями на реках среднегорной и низнегорной зон. Это объясняется тем, что в высокогорной зоне основным фактором, определяющим сток данного года, является температура воздуха, в средней же и нижней зонах величина годового стока определяется количеством выпадающих осадков.

Не учитывая этих особенностей, авторы выбирали аналоги для подсчета нормы стока указанных рек в среднегорной зоне с иными стокообразующими факторами. В результате 1933—1935 гг., в которые здесь велись наблюдения, приняты по аналогии со средней зоной за маловодные, в то время как в высокогорной зоне они характеризовались повышенной водностью.

Указанные предположения полностью подтверждаются фактическими данными по р. Аккем, где с 1950 г. были возобновлены наблюдения, и по имеющемуся теперь более длинному ряду норма стока получается почти вдвое ниже той, которая была принята ранее по данным 1933—1935 гг.

Уточнение значений нормы стока по ряду пунктов и наличие новых данных привело, естественно, к существенным отличиям приведенной карты от той части карты

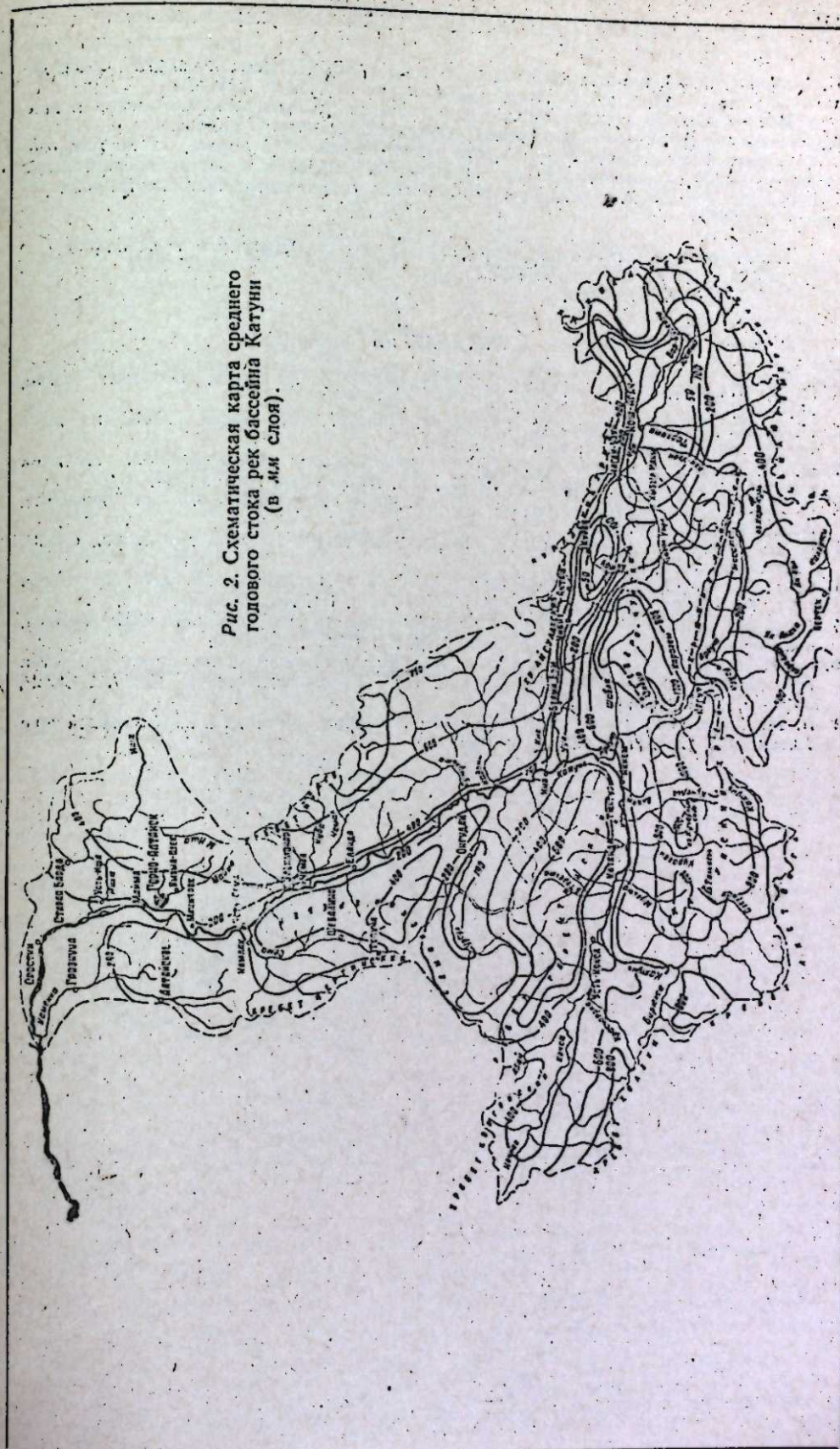


Рис. 2. Схематическая карта среднего годового стока рек бассейна Катунь (в мм слоя).

Н. М. Алюшинской, которая касается бассейна Катунь. Настоящая карта более детальная и полнее освещает характер водности рек отдельных районов.

Как региональные зависимости, так и карта могут быть использованы для приближенной оценки водности неизученных рек рассматриваемого района.

В заключение следует отметить, что уточнение значений нормы стока рек, особенно в верховьях Катунь, заставит существенно изменить и наши представления о количестве атмосферных осадков в этой области, оцениваемых часто по гидрометрическим данным.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
30/III 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Пиварелис, Краткий гидрологический очерк Алтая. Большой Алтай, Л., 1934.
2. Н. А. Задубин, Гидроресурсы Ойротии. Ойротия, Тр. сессии СОПС по изуч. произв. сил Ойротской а. о., М.—Л., 1937.
3. Н. М. Алюшинская, Вертикальная зональность в распределении стока на территории Алтая. Уч. зап. ЛГУ, № 199, сер. геогр. наук, № 10, 1955.
4. К. И. Лубны-Герцык, Алтайско-Иртышский энергопромышленный комплекс. Большой Алтай, Л., 1934.
5. Б. Д. Зайков, Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Гидрометиздат, 1946.
6. С. Г. Чемоданов, Средний сток рек Западной Сибири и его распределение в году. Тр. Трансп.-энерг. ин-та ЗСФАН СССР, вып. III. Новосибирск, 1952.
7. А. В. Агунов, Норма стока и колебания водности рек Западной Сибири. В кн. Колебания и изменения речного стока. Изд. АН СССР, М., 1960.
8. М. И. Баюшева, Г. В. Павленко, Среднегодовой и максимальный сток рек южных районов Западной Сибири. Тр. Трансп.-энерг. ин-та СО АН СССР, вып. XIII. Новосибирск, 1961.
9. А. М. Комлев, Некоторые особенности формирования стока в высокогорной зоне Алтая. Изв. СО АН СССР, № 9, 1961.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Н. М. САВЕЛЬЕВА «БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕМЕННОЙ ЛЮЦЕРНЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ»

В монографии Н. М. Савельева многосторонне и обстоятельно освещаются биологические основы и приемы возделывания люцерны на семена. Известно, что развитие культуры люцерны в условиях Сибири задерживалось из-за трудностей получения семян. Урожай семян в 1,5—2 ц/га считались уже некоторым достижением. Автор с помощью пересадки корневых черенков старовозрастной люцерны добился урожая семян от 5,9 до 10,3 ц, а при удобрении и влагообеспеченности даже до 12—15 ц/га.

Этот выдающийся успех был достигнут в результате проведения многолетних комплексных исследований в Ботаническом саду, на подзолистых супесях боровой террасы Оби и на среднемощном солонцеватом черноземе Чановского стационара. Кроме детальных биометрических наблюдений за ростом и развитием надземной и корневой частей люцернового растения, детально изучались интенсивность дыхания и осмотическое давление клеточного сока корней в связи с возрастом растения, усвоение надземной массой Са, Mg и P, содержание азотистых веществ, сахаров, жиров, клетчатки, каротина и аскорбиновой кислоты, активность каталазы и пероксидазы, интенсивность транспирации и дыхания, продуктивность фотосинтеза. Были проведены тонкие наблюдения энергии роста пылевых трубок под влиянием различных стимуляров, самого механизма оплодотворения и переноса пыльцы. Одновременно велись детальные наблюдения за водным и питательным режимом почв по фазам развития растений.

Весь этот сложный арсенал биохимических и агрохимических анализов хорошо сочетался с простой схемой полевых опытов, поставленных с надлежащей повторностью и с обработкой результатов с помощью вариационной статистики. Полевые опыты завершены широкой проверкой выводов в колхозах и совхозах, ценными рационализаторскими предложениями в области механизации приема пересадки и экономической оценкой, до которой часто не доходят биологи, да страдают этим и агрономы. В результате такой многосторонней комплексности исследования каждый предлагаемый агроприем обоснован с биологической стороны и в свою очередь каждое выявленное в биологических и физиологических исследованиях свойство люцернового растения интерпретировано с агрономических позиций с учетом возможностей наилучшего его использования.

В монографии вскрыт ряд важнейших сторон жизни люцерны, до того не известных или стоявших в тени. Вместо господствовавшего положения предшественников о том, что низкая семенная продуктивность люцерны вызывается в основном малой сохранностью репродуктивных органов в результате недостаточной раскрываемости (триппинга) цветков и перекрестного опыления, автор установил, что истинной причиной низкой семенной продуктивности является неполноценность корневого питания в широком смысле этого слова.

При изучении корневой системы выявилось, что по мере углубления корней интенсивность их дыхания, осмотическое давление клеточного сока и поглотительная способность быстро снижаются, а корневое питание ухудшается. Благодаря этому издавна известный факт низкого плодородия глубоких горизонтов почвы получает новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение.

При изучении корневой системы выявилось, что по мере углубления корней интенсивность их дыхания, осмотическое давление клеточного сока и поглотительная способность быстро снижаются, а корневое питание ухудшается. Благодаря этому издавна известный факт низкого плодородия глубоких горизонтов почвы получает новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение.

При изучении корневой системы выявилось, что по мере углубления корней интенсивность их дыхания, осмотическое давление клеточного сока и поглотительная способность быстро снижаются, а корневое питание ухудшается. Благодаря этому издавна известный факт низкого плодородия глубоких горизонтов почвы получает новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение.

При изучении корневой системы выявилось, что по мере углубления корней интенсивность их дыхания, осмотическое давление клеточного сока и поглотительная способность быстро снижаются, а корневое питание ухудшается. Благодаря этому издавна известный факт низкого плодородия глубоких горизонтов почвы получает новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение.

При изучении корневой системы выявилось, что по мере углубления корней интенсивность их дыхания, осмотическое давление клеточного сока и поглотительная способность быстро снижаются, а корневое питание ухудшается. Благодаря этому издавна известный факт низкого плодородия глубоких горизонтов почвы получает новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение. С помощью пересадки корневых черенков или глубокой пропашки новое освещение.

видируется вредный для получения семян подгон (израстание), улучшается процесс оплодотворения, резко повышаются урожай и качество семян. Одновременно повышается биологическая активность почвы и содержание в ней подвижных питательных веществ.

В общем работа автора и коллектива, которым он руководил, является ярким примером направленного изменения природы растения, стройного, глубоко продуманного и хорошо организованного эксперимента, результаты которого могут иметь принципиальное значение в биологии и агрономии. Установленные в люцерне закономерности формирования корней и определяющая роль корневого питания в семенной продуктивности могут быть широко использованы в культуре других растений, особенно многолетних, в практике селекции и агротехники. Очевидно, что эти закономерности должны проявляться по-разному в различных почвенно-климатических условиях обширной Сибири.

Практические выводы и рекомендации автора хорошо обоснованы экспериментальным материалом и могут служить основой для рациональной системы люцернового семеноводства. Надо предполагать, что и прием пересадочной культуры люцерны найдется в ближайшие годы широкое применение.

Таким образом, работа Н. М. Савельева заслуживает высокой оценки.

Однако имеются в работе и недостатки. В поставленной автором цели дать монолитную биологическую характеристику семенной люцерны заложены необычайные трудности. Необходимо было освоить целый арсенал новых методов быстроразвивающейся биохимии и физиологии растений, войти в курс огромной литературы по таким вопросам, как влагооборот растений, поступление и использование питательных веществ, микроэлементов, цветение и оплодотворение, соле- и другие виды устойчивости и т. п.

Естественно, что автор не смог одинаково полноценно изложить все вопросы, и некоторые из них освещены поверхностно. В качестве примера можно привести изложение вопроса об усвояющей способности корней люцерны (стр. 86—92), который рассматривается автором только в отношении усвоения растениями фосфора и фосфоритов с учетом действия pH и токсичности H^+ и Al^{3+} , да и то на основе старых работ. Следовало бы этот сложный вопрос изложить с более общих позиций усвоения растениями катионов и анионов в зависимости от pH среды, состава поглощающего комплекса почвы, окислительно-восстановительных условий среды и самого растения. Полноценные исследования по этому вопросу Владимирова и Петербургского не используются, и в большом списке литературы их работы отсутствуют.

Элементарен анализ Н. М. Савельевым наших (Орловский Н. В. и Афанасьев А. А., 1928 г.) данных по характеристике строения корневых систем растений по основным почвенным зонам СССР (стр. 81—82). Установленный нами факт более глубокого расположения корней одних и тех же растений на сухих каштановых почвах Западного Казахстана по сравнению с влажными подзолистыми почвами Подмосковья автором противопоставляется схеме Уивера. При этом глубина проникновения корней не различается от глубины расположения корневой массы. Важный факт влияния зональных условий не разбирается.

Описание морфологии почвы Ботанического сада, где проводились опыты, сделано неясно. По-видимому, данную почву можно определить как дерново-слабоподзолистую реградированную под влиянием длительной культуры.

В табл. 17 хлориды в процентах даны увеличенными в 10 раз (ошибка в запятой): возможно, что подобная же опечатка имеется в табл. 93, где «мг» транспирированной воды, возможно, выражают граммы.

Можно было бы сделать ряд замечаний и по другим разделам монографии. Редактору книги проф. П. А. Генкелю следовало бы более внимательно отнестись к работе над рукописью автора. Но эти замечания не могут сколько-нибудь влиять на общую высокую оценку оригинального, глубоко продуманного исследования, имеющего принципиальное значение в развитии биологических и агрономических исследований в целом и дающего сельскохозяйственной практике хорошо обоснованную систему мероприятий по семеноводству люцерны.

Безвременная смерть Н. М. Савельева — тяжелая утрата для сибирского земледелия. Изданная Академией наук монография является памятником, который оставил по себе автор. Эта книга сохранит на долгие годы добрую память о Н. М. Савельеве как талантливым исследователе, много и с пользой потрудившемся для развития сельскохозяйственной науки и земледелия в Западной Сибири.

Изд-во АН СССР, М., 1960.

Н. В. ОРЛОВСКИЙ.

СТАТЬИ,
ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР»
В 1961 ГОДУ

Сибирское отделение Академии наук СССР накануне XXII съезда КПСС, № 10.
Крылов Г. В. М. В. Ломоносов — основоположник русской науки, № 11.
Кузнецов Б. Г. Научные идеи М. В. Ломоносова, № 11.

Экономика

Граник Г. И. Вопросы освоения природных ресурсов Северо-Востока СССР, № 7.
Кротов В. А. Сдвиги в размещении производительных сил в Восточной Сибири, № 10.
Лахтин Т. А. О повышении производительности труда при проведении технологических исследований, № 8.
Правдин А. М. Экономическая роль лесов и некоторые вопросы использования лесных богатств Сибири и Дальнего Востока, № 9.
Фомин В. Г. О развитии экономических исследований в Сибирском отделении АН СССР, № 10.
Чернов И. В. Сбережение времени трудящихся — важная задача организации труда на угольных шахтах, № 8.
Шапалин Б. Ф. Природные ресурсы Камчатской области и проблемы комплексного развития ее народного хозяйства, № 11.

Технические науки

Александров К. С., Рыжова Т. В. Модули упругости пирита, № 6.
Болштянский М. П. Кратковременные напряжения в упрочненном грунте, № 5.
Бородовский П. А. Стрелотронный генератор дециметровых волн, № 10.
Брезе Ю. К. Влияние параметров на поведение электромеханической системы в «малом», № 12.
Верхоланцев П. Г. Селективная флотация касситерита катионным собирателем, № 6.
Владимиров В. М. К теории экскавационных колес роторных экскаваторов, № 2.
Ганджа Л. И. Автоколебания в нелинейной системе генератор — двигатель, № 5.
Горбачев Т. Ф., Федянин А. С. Разработка мощных крутых пластов опускающимися блоками с гидророботкой, № 9.
Гречищев С. Е. О скорости ползучести мерзлых грунтов при сложном напряженном состоянии, № 5.
Гречищев С. Е., Бродская А. Г. К вопросу о сжимаемости мерзлых грунтов, № 7.
Давыдова К. И., Николаев И. Н. Химико-технологические свойства углей Тугнуйской депрессии, № 4.
Девятков Б. Н., Корнев Ю. Н. Определение инерционности и регулируемости прямооточных теплообменных аппаратов, № 1.
Девятков Б. Н., Гимельштейн Ф. Я. Уравнения взаимодействия движущихся сред в технологических аппаратах с учетом влияния теплового эффекта химической реакции, № 3.
Девятков Б. Н., Хорькова Г. С. Инерционность и регулируемость противоточных теплообменников при нарушениях режима работы по скорости движения теплоносителя, № 8.
Девятков Б. Н., Корнев Ю. Н. Определение переходных процессов в непрерывнодействующих теплообменниках, № 9.
Дюнин А. К. Общие дифференциальные уравнения двухфазных потоков, № 10.
Дюнин А. К. Определение твердого расхода в двухфазных потоках с твердой зернистой фазой, № 11.
Ильин А. А. Система комплексной телемеханизации горных работ, № 2.
Каганов З. Г. Аналитический учет краевого эффекта в обмотках электрических машин, № 1.
Каганов З. Г. Электромагнитное поле в трехкомпонентной среде с цилиндрической симметрией, № 3.

- Каганов З. Г. Емкостные связи в электрических машинах с двухрядными обмотками, № 10.
- Калужный А. Х. Исследование статической устойчивости дальней электропередачи с помощью математической машины непрерывного действия, № 3.
- Капралов И. И., Федотов М. А., Марков Ю. Г. Высокочастотный газоразрядный датчик, № 7.
- Капустин Н. Г. Основные экономические критерии установления типоразмера комбайна и длины лавы, № 1.
- Капустин Н. Г. Оптимальный коэффициент одновременности разработки пластов угольной свиты, № 2.
- Капустин Н. Г. К вопросу проектного обоснования техники и технологии открытых разработок, № 12.
- Каскевич Э. П. Повышения напряжений несимметричных к. з. в электропередаче через полувольтную линию, № 4.
- Киренский Л. В., Буравихин В. А., Кан С. В., Дегтярев И. Ф. Доменная структура тонких ферромагнитных пленок, № 5.
- Коржавин К. Н. Воздействие льда на инженерные сооружения в условиях Сибири, № 10.
- Куршин Л. М., Фильштинский Л. А. Устойчивость равномерно сжатой многоугольной пластинки, № 4.
- Ларионов М. Н. Применение осциллографического метода для исследования термического разложения углей при высокоскоростном нагреве, № 8.
- Лоскутова Е. Н., Лаврик С. Н. Влияние слабого окисления на процесс образования пористой структуры и прочность кокса, № 6.
- Лукашов Э. С. Влияние регулирования возбуждения на параметрическое самораскачивание синхронной машины, № 6.
- Мизюк Л. Я. Анализ методов помехозащиты при измерении слабых гармонических сигналов, № 7.
- Мизюк Л. Я. Методы помехозащиты при измерении гармонических сигналов с изменяющейся фазой, № 8.
- Моргунов В. К. Новый аппарат для изучения кинематики движущихся объектов, № 12.
- Пеев Х. Д. Косвенные признаки лавинной опасности, № 8.
- Пиотух Ю. Н. О движении трехкомпонентного потока, № 2.
- Пиотух Ю. Н., Шабанов С. И. Теплосбмен в условиях трехкомпонентного потока, № 11.
- Попырин Л. С. Выбор оптимальных конечных параметров и единичных мощностей турбин крупных конденсационных электростанций в условиях Центральной Сибири, № 2.
- Попырин Л. С., Ефимов Н. Т. Перспективные начальные параметры пара крупных конденсационных электростанций в условиях Центральной Сибири, № 12.
- Потрашков Г. Д., Хрусталева Л. Н. О влиянии текстуры оттаявших глинистых грунтов на их прочность и фильтрационные свойства, № 1.
- Соловьев Ю. И. К вопросу о жестко-пластическом равновесии под штампом, № 7.
- Турко М. Н. О распределении ионов в плазме дугового разряда, № 6.
- Фурман А. А. Методика расчета пневматических закладочных машин, № 4.
- Черняк С. С., Толстикова Е. А., Кузнецов Р. А. Повышение износостойкости сталей и чугунов методом электролитического сульфидирования, № 1.
- Шпарберг Е. М. Вопросы методики расчета загрузочно-обменных аппаратов для высоконапорного гидротранспорта, № 11.
- Яворский И. А. О роли летучих веществ при горении ископаемых углей, № 3.

Гидрология

- Афанасьев А. Н. Распределение среднего стока рек Иркутской области, № 11.
- Комлев А. М. Некоторые особенности формирования стока в высокогорной зоне Алтая, № 9.
- Малик Л. К. Характеристика снежного покрова как одного из факторов формирования паводков в бассейне р. Оби, № 9.

Химия

- Бацанов С. С., Мазалов Л. Н. Влияние кристаллического поля на величины ионных рефракций, № 5.
- Бацанов С. С., Абаулина Л. И. Взаимодействие галогенидов ртути с халькогенами. Сообщение II, № 10.
- Беззубенко А. А., Пещевский Б. И. К вопросу о существовании аква-иона золота $3+$, № 8.
- Бергер А. С. О фазовом составе продуктов взаимодействия β -двухкальциевого силиката с бессодовыми растворами алюмината натрия, № 1.

- Бирюков Н. Д. Периодический закон Менделеева и нормальные стандартные потенциалы металлов, № 6.
- Бурдэ Л. Н., Козлов В. Н. Химический состав отходов лесоразработок, № 4.
- Быков И. Е. Применение тиомочевны при разделении металлов с помощью ионного обмена, № 12.
- Вайнштейн Э. Е., Антипова-Каратаева И. И. Спектрофотометрическое изучение структуры сольватированных ионов в растворах и степени их устойчивости при воздействии рентгеновской радиации, № 3.
- Вайнштейн Э. Е., Старый И. Б., Цукерман В. Г. О некоторых особенностях использования монокристаллов CdS для регистрации слабых интенсивностей в рентгено-спектральном анализе, № 7.
- Вальцев В. К., Артамонова С. М., Дидора Н. Ф., Кравченко Л. Х. Осаждение элементов из расплавленных солей. Сообщение I, № 4.
- Вальцев В. К., Артамонова С. М., Кравченко Л. Х. Осаждение элементов из расплавленных солей. Сообщение II, № 5.
- Вальцев В. К., Аввакумов Е. Г., Пырьев М. Ф. Распределение лантанидов в расплаве нитрата аммония в процессе зонной кристаллизации, № 6.
- Вальцев В. К., Ковырзина В. П. Термографическое исследование взаимодействия оксида лантана с маленовой кислотой, № 9.
- Гайдуков Г. В., Волкова Н. М. Получение литого ванадия, № 2.
- Гиндин Л. М., Бобиков П. И., Коуба Э. Ф. Экстракция платиновых металлов аминами, № 10.
- Ивановский Л. Е., Степанов Г. К., Красильников М. Т., Петенев О. С. Изучение электролитического растворения хлора и хлористого водорода на индифферентных электродах, № 4.
- Калабина А. В., Прилежаева Е. Н., Власова Н. Н. Синтез β -арилоксиэтилсульфонов, № 9.
- Калабина А. В., Тюкавкина Н. А., Топорова Л. М. Полимеризация простых виниловых эфиров фенолов смолы полукоксования черемховских углей, № 12.
- Калечиц И. В., Салимгареева Ф. Г., Иванова М. Ф., Тржницкая Б. В. О химизме превращений сложных эфиров в условиях жидкофазной гидрогенизации, № 1.
- Калечиц И. В., Салимгареева Ф. Г., Тржницкая Б. В., Иванова М. Ф. О химизме превращений простых эфиров в условиях жидкофазной гидрогенизации, № 4.
- Киргинцев А. Н., Ефанов Л. Н., Бурлакова Н. И. Изучение переходов стабильного состояния в метастабильное, № 2.
- Киргинцев А. Н., Лукьянов А. В. Нижняя граница смешиваемости в процессах сокристаллизации, № 9.
- Киргинцев А. Н., Ефанов Л. Н., Бурлакова Н. И. Поверхностное натяжение водных растворов солей, претерпевающих в твердом состоянии полиморфные превращения, № 11.
- Колосов А. С. Система $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ при 25°C , № 12.
- Котляревский И. Л., Ермолова Т. И. Синтез ацетатов ацетиленовых γ -кетоспиртов, № 10.
- Крамарева Т. В., Шульман В. М. Определение констант нестойкости комплексных соединений из окислительно-восстановительных потенциалов. Сообщение II, № 8.
- Ляпунов М. Ф. Гидрохимическая характеристика р. Оби на участке Новосибирского водохранилища, № 2.
- Ляпунов М. Ф. Проблема комплексного использования водных и соляных ресурсов Кулундинской степи, № 3.
- Ляпунов М. Ф. О формировании химического состава рапы озера Б. Ажбулат, № 8.
- Михайлов М. А., Ведерникова Т. И., Ожигов Е. П. Пирогидролиз кварц-карбонатных датолитовых руд в динамических условиях, № 2.
- Михайлов В. А. Растворимость неэлектролитов в смешанных растворителях, № 5.
- Николаев А. В., Михайлова М. П. Четвертная система $\text{FeCl}_3 - \text{HCl} - \text{H}_2\text{O} - (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$, № 3.
- Николаев А. В., Старостина Л. И., Эйхе С. Н. Растворимость некоторых солей кальция и магния в присутствии комплексонов, № 9.
- Николаев А. В., Сорокина А. А., Голубь Г. И. Некоторые химические вопросы растворения почечных камней, № 10.
- Овсянникова И. А. К вопросу о происхождении сателлита $\text{K}\beta'$ в спектрах элементов группы железа, № 6.
- Овсянникова И. А. Исследование рентгеновских спектров соединения NiS , № 11.
- Ожигов Е. П., Корень Л. И., Хожаннова Л. В. Получение долгодействующих микроудобрений (фритт) из датолитовых руд, № 1.
- Петров Е. С., Фадеев В. Н. Термодинамические основы высокотемпературного хлорирования полиметаллических оловянных материалов, № 9.
- Подклетнов Н. Е. Применение метода газожидкостной хроматографии для углубленного изучения химического состава нефтей, № 5.

- Попов А. Н., Кононов Ю. С. Выделение борной кислоты из смеси с раствором сульфата магния методом ионного вытеснения, № 3.
- Попова Н. И., Мильман Ф. А., Латышева Л. Е. Окисление изобутилена в метилакролеин над медными катализаторами, № 7.
- Попова Н. И., Стукова Р. Н., Латышев В. П. Изучение каталитического окисления пропилена. Сообщение 6, № 8.
- Попова Н. И., Жданова К. П. Изучение процесса каталитического окисления пропилена. Сообщение 7, № 12.
- Птицын Б. В., Шеронов Л. Н. О комплексном оксиде ниобия, № 9.
- Птицын Б. В., Шеронов Л. Н. О комплексном оксиде циркония, № 10.
- Розентрер Р. Г., Берсенева Н. С., Горюнова А. А. О спекании алюмосиликатов с известняком и восстановителем в полувыводной вращающейся печи, № 2.
- Самоделов А. П. Электрические свойства мембранного электрода скандия, № 4.
- Самоделов А. П. Сорбция скандия нитратами из растворов азотной, серной, соляной и хлорной кислот, № 5.
- Сандхчиев Л. С., Мамаев В. П. О дигидроурацилах, № 7.
- Сидько Ф. Я., Терсков И. А. Оптическое изучение концентрации красителей в биологических рассеивающих средах, № 3.
- Сташкова Н. В., Зелянская А. И. О механизме восстановления четырехвалентного германия на ртутном капельном электроде, № 1.
- Степанов Г. К., Трунов А. М. Электропроводность системы NiO — Li₂O в интервале температур от 20 до 900°С, № 6.
- Стромберг А. Г., Каргушинская А. И. Полярнографическое изучение состава участвующих в электродной реакции комплексов в системе Ti (IV) — Ti (III) в солянокислых растворах, № 11.
- Терсков И. А., Сидько Ф. Я. Некоторые вопросы спектрофотометрии светорассеивающих суспензий, № 9.
- Фишер Л. Б., Терлугова М. П., Котляревский И. Л. Дегидрирование дизамещенных бутанов. Дегидрирование 2, 3-диметилбутана и 2, 3-диметилбутенов в присутствии разбавителей, № 2.
- Хазанов Е. И., Шульц Б. В. Восстановление титаномагнетита при спекании в присутствии твердого восстановителя, № 11.
- Хазанов Е. И. Комплексная переработка щелочных алюмосиликатных и других глиноземсодержащих пород спеканием гранулированных шихт, № 12.
- Шостаковский М. Ф., Скворцова Г. Г., Самойлова М. Я., Запунная К. В., Косицына Э. И. Виниловые соединения. Сообщение I. Виниловые эфиры крезолов каменноугольной смолы, № 1.
- Шостаковский М. Ф., Скворцова Г. Г., Самойлова М. Я., Запунная К. В. Виниловые соединения. Сообщение 2. Соплимеризация виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования с акроленом в присутствии ионных катализаторов, № 2.
- Шостаковский М. Ф., Скворцова Г. Г., Самойлова М. Я., Запунная К. В. Виниловые соединения. Сообщение III, № 12.
- Штин А. П. Фосфорнокислая соль ниобия и ее гидраты, № 3.
- Штин А. П. Фосфорнокислая соль тантала и ее гидраты. Сообщение III, № 7.
- Шульман В. М., Крамарева Т. В. Определение констант нестойкости комплексных соединений из окислительно-восстановительных потенциалов. Сообщение I, № 7.

Биология

- Альтергот В. Ф. Функциональное заболевание тепличных томатов в весенне-летний период при многодневном перегреве надземных органов, № 6.
- Бельшев Б. Ф. Зоогеография верхнего Приобья на основании распространения стрекоз (*Odonata, Insecta*), № 8.
- Беляева Е. С., Кикиадзе И. И. Изучение нуклеолономы в митозе и мейозе у *Lilium*, № 7.
- Болдырев Н. К. Листовая диагностика питания и внекорневая азотная подкормка яровой пшеницы, № 4.
- Бычков В. И. Линейная эрозия в северной части Усть-Ордынского Бурятского национального округа Иркутской области, № 3.
- Вернер А. Р., Делова Г. В., Гонтарь Э. М. Фитонцидная активность некоторых дикорастущих луков Сибири, № 7.
- Водопьянова Н. С. Пойменные луга среднего течения р. Бирюсы, № 10.
- Галачалова З. Н., Шурина А. М. Об усвоении растениями азота, вводимого при внекорневых подкормках в лист растения, № 4.
- Карташова Н. Н., Михайлова Е. А. Анатомические особенности *Oxytropis muricata* (Pall.) и близких к нему видов, № 11.
- Клочкова А. Я. Влияние фотопериодических условий на физиологические функции животных, № 2.

- Коломиец Н. Г. Холодостойкость гусениц сибирского шелкопряда и температурный режим в местах их зимовки, № 1.
- Коломиец Н. Г., Гукасян А. Б. О составе и свойствах гемолимфы гусениц сибирского шелкопряда, № 3.
- Комолова Г. С., Левинсон М. С. Роль образующихся в озвученной воде химических веществ в поражающем действии ультразвука на дрожжевые клетки, № 5.
- Кузьмин В. А. Почвы северной части Око-Ангарского междуречья, № 4.
- Лурье М. А., Линдеман Г. В. Стволовые вредители даурской лиственницы в Забайкалье, № 2.
- Малышев Л. И. Растительность южной и средней частей западного побережья Байкала, № 1.
- Маркарянц В. П. О влажности свежесрубленной древесины пихты сибирской, № 8.
- Мосолов А. Н. Взаимодействие клеток культуры ткани с вирусами, выделенными от больных ревматизмом. Сообщение 1, № 10.
- Мосолов А. Н. Взаимодействие клеток культуры ткани с вирусом, выделенным от больных ревматизмом. Сообщение 2, № 12.
- Наплекова Н. Н. Распространение азотобактера в ризосфере дикорастущих растений на некоторых почвах Алтайского края и Новосибирской области, № 8.
- Никифоров А. Ф. Реакция соединительной ткани и ее регенераторные способности *in vitro* при воздействии проникающей радиации, № 1.
- Номоконов Л. И. Некоторые характерные особенности растительного покрова Иркутско-Балаганской лесостепи, № 9.
- Панфилов Д. В., Россолово О. Л., Сыроечковский Е. Е. К фауне и зоогеографии шмелей (*Bombinae*) Тувы, № 6.
- Пастухов В. Д. Об осеннем и раннезимнем распределении нерпы на Байкале, № 2.
- Пешкова Г. А. Кобрезники в Приангарье, № 5.
- Полтев В. И., Гриценко И. Н. Получение вирулентных бактерий для борьбы с водяной крысой (*Arvicola terrestris* L.), № 6.
- Пономаренко М. В. О динамике верхней границы леса в горах южного Сихотэ-Алиня, № 5.
- Поповская Г. И. Фитопланктон Посольского и Истокского соров озера Байкал, № 9.
- Поповская Г. И. Фитопланктон Селенгинского мелководья и прилежащих участков открытого Байкала, № 10.
- Привалов Г. Ф. Изменчивость клена ясенелистного под влиянием X-лучей и нейтронов, № 9.
- Расторгуева Л. И. О разделении растительных белков и углеводов методом электрофореза на бумаге при обычных и высоких напряжениях, № 3.
- Рынкс И. Н. Распределение аммиака в почве и влияние его на рост растений, № 10.
- Сакс А. И. Сравнительная солевосольность видов и сортов земляники, № 7.
- Салганик Р. И., Томсон В. П., Протас Л. К. Изучение действия рибонуклеазы и дезоксирибонуклеазы на размножение вируса полиомелита в культуре ткани, № 12.
- Самойлова А. П. Экологические ряды галофитной растительности в депрессиях соленых озер Хакассии, № 4.
- Сидоренко А. И., Клевенская И. Л. Образование ростовых веществ неспорозными бактериями, выделенными из некоторых почв Сибири, № 12.
- Соболевская К. А., Минаева В. Г. К изучению флоры Алтая как источника флавоновых веществ, № 4.
- Стакан Г. А., Соскин А. А., Вовченко Ф. Я. О методике оценки баранов-производителей по качеству потомства, № 11.
- Сухенко Ф. Т., Подгайная Е. С. Об использовании пролина некоторыми дерматофитами и недерматофитами, № 5.
- Тобиас В. И. К познанию фауны наездников-браконид Сибири, Дальнего Востока и Монголии (*Hymenoptera braconidae*), № 11.
- Христолюбова Н. Б. Ультраструктура хромосом, № 2.
- Христолюбова Н. Б., Загорская Н. З., Волкова Р. М. Наследование функциональных изменений определенных участков хромосом слюнных желез *Dr. melanogaster*, № 12.
- Чагина Е. Г. Формы фосфатов и нитрификационная способность почв низкогорий Северного Алтая, № 6.
- Черепанов А. И. Познание почвенной энтомофауны Западной Сибири, № 1.
- Шкварников П. К. О взаимоотношении между вторичными перетяжками хромосом и ядрышками, № 6.

Краткие сообщения

- Аввакумов Е. Г. Коэффициенты распределения лантанидов в нитрате аммония при зонной перекристаллизации, № 9.
- Архипенко Д. К., Плеханова Е. А. Инфракрасные спектры каолинита и продукта его дегидратации, № 3.

- Бакланов Е. В. К вопросу об оптимальном распределении параметров линейных антенн, № 11.
- Бацанов С. С., Мазалов Л. Н., Чирков В. И. Расчет рефракции «неблагородногазовых» ионов, № 2.
- Бацанов С. С., Горогоцкая Л. И. Ионная рефракция неодаима, № 7.
- Борщевский Ю. Т. К вопросу о нестационарном движении наносов во взвешенном состоянии, № 11.
- Вертопрахов В. Н., Преснов В. А. Об анизотропии поперечного фотомагнитного эффекта в германии, № 1.
- Власов А. Я., Антонов И. В. Температурный магнитный гистерезис и температурный гистерезис магнитострикции никеля и никель-медных сплавов, № 8.
- Водопьянова Н. С. Флористические находки в южной части Тайшетского района, № 9.
- Вотинцев К. К. О гидрохимической классификации поверхностных вод бассейна озера Байкал, № 6.
- Габеев В. Н. Рост культур кедров при различной освещенности в лесостепном Приобье, № 7.
- Грохольский А. Л. Расчет емкости прецизионного поршневого конденсатора для частот до 300 МГц, № 8.
- Гукасия А. Б. О возбудителе «молочной болезни» гусениц сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschlt.), № 7.
- Гуревич Ф. А. Действие ультразвука на развитие почек тополя и на их фитонцидные свойства, № 7.
- Заворотнова Г. И. Спектральный анализ суммы редкоземельных элементов в присутствии олова, № 5.
- Заворотнова Г. И. О влиянии процента содержания внутреннего стандарта на точность спектрального анализа, № 7.
- Земляков Б. А. Распределение горючего и породы каменных углей по классам крупности, № 9.
- Клементьев В. М. Об открытом (дисковом) резонаторе, № 12.
- Кожевников Г. Н., Кузнецов С. И. О кинетике взаимодействия геленита с содой, № 8.
- Комлев А. М. Среднегодовой сток рек бассейна Катунь, № 12.
- Конторович А. Э. Некоторые особенности дуги как источника света для спектрального анализа при введении пробы в разряд воздушной струей, № 11.
- Корень Л. И. Некоторые данные предварительного термографического исследования андезитобазальта, № 10.
- Кунин И. А., Рабко В. Д. Маятниковый прибор для определения коэффициента трения качения, № 8.
- Ландышев Ю. С. О новых очагах эндемического зоба в Томской области, № 11.
- Львов Ю. А. Некоторые особенности строения растительного покрова Сенчинского болота, № 4.
- Мамаев В. П., Седова В. Ф. Получение 3-(фталимидометил) индола по реакции Э. Фишера, № 10.
- Миронов К. Е., Дзяткевич Б. С., Рогожников Т. И. Об одной реакции выделения перекиси водорода в среде жидкого аммиака, № 11.
- Оренбах М. С., Яворский И. А. Температура воспламенения окисленных углей, № 8.
- Орешкин В. Д., Репкин В. Д., Корнилов А. А. Номограмма для определения времени остывания крупных отливок при ускоренном охлаждении, № 11.
- Пиотух Ю. Н. К п. д. энерготехнологических ТЭЦ, № 12.
- Подклетнов Н. Е. Хроматографическое разделение малых количеств бензино-лигроино-вых фракций на парафино-нафтеновую и ароматическую части, № 3.
- Рожков А. С., Сендарович Б. П., Данович К. Н. Об изменении содержания полисахаридов в стволе ливневницы, поврежденной сибирским шелкопрядом, № 2.
- Саланский Н. М., Родичев А. М., Савченко М. К. Эффект Баркгаузена в тонких молибден-пермаллоевых пленках, № 4.
- Салимгареева Ф. Г., Иванова М. Ф., Тржницкая Б. В., Калечиц И. В. О превращениях карбонильных соединений в условиях деструктивной гидрогенизации, № 5.
- Самойлов С. М., Петрова В. Н. Гидрирование бензола под давлением в присутствии железо-угольного катализатора, № 9.
- Соболева А. Д. Особенности реакций соединительной ткани легких в условиях различной патологии, № 10.
- Стрекачинский Г. А., Горбачев А. Т., Салмин М. Я. Расчет емкости аварийного пульповодосборника блока гидрошахты, № 6.
- Сурнина Л. В. Влияние влажности на выход серы при взаимодействии сероводорода с сернистым газом, № 6.
- Титаренко М. В. О защите генераторов постоянного тока, № 5.
- Шмерлинг Л. А. Бактериологические исследования при эпидемическом гепатите, № 7.

Хроника

- 60-летие профессора А. Б. Жукова, № 8.
- Барковский А. Н. Научное совещание по удоканской проблеме, № 10.
- Белюсова В. С. Первая научная конференция Общественного научно-исследовательского института (ОНИИ) в г. Горно-Алтайске, № 9.
- Брехман И. И. Конференция по фармакологии и лекарственному применению элеутерококка колючего, № 10.
- Быков В. Т. Международный симпозиум по неорганическим полимерам, № 11.
- Власенко М. М. Вторая научная конференция по русскому языку ученых Восточной Сибири и Дальнего Востока, № 1.
- Воробьев А. Научное совещание по развитию транспорта Иркутской области, № 6.
- Встреча Н. С. Хрущева с учеными Сибирского отделения Академии наук СССР, № 5.
- Дубинин Н. Г. Петр Трофимович Приходько, № 8.
- Клопотов И. К. Координационное совещание по химическим наукам, № 10.
- Кожова О. М., Маньковский В. И. Конференция, посвященная памяти Г. Ю. Верещагина, № 9.
- Коломиец Н. Г., Гукасия А. Б. Симпозиум по проблеме сибирского шелкопряда, № 3.
- Колосов А. С. О работе солевой комиссии, № 6.
- Лапшина Е. И. Совещание по вопросам геоботанической картографии, № 1.
- Лукашов Э. С. Совещание по вопросам передачи электроэнергии на дальние расстояния, № 4.
- Матвеев И. И., Москаленко А. Т. Важнейшие проблемы коммунистического воспитания трудящихся, № 7.
- Миронов К. Е. В объединенном Ученом совете по химическим наукам, № 4.
- Ожигов Е. П. Химики Дальневосточного филиала СО АН СССР — сельскому хозяйству, № 8.
- Опаловский А. А. Конференция, посвященная 100-летию со дня рождения основоположника физико-химического анализа акад. Н. С. Курнакова, № 2.
- Орловский Н. В. Первая сибирская конференция почвоведов, № 6.
- Салатова Н. Г. IV Всесоюзное совещание по охране природы, № 11.
- Фомин В. Г. Общее собрание Сибирского отделения АН СССР, № 4.
- Фомин В. Г. В Объединенном Ученом совете по экономическим наукам, № 4.
- Хороших П. П. Илимская историко-этнографическая экспедиция Иркутского университета, № 2.
- Черненко А. К. Симпозиум по некоторым проблемам математики и механики, № 1.
- Черненко А. К. В объединенном ученом совете по физико-математическим и техническим наукам, № 6.
- Черненко А. К. Защита диссертаций (в Объединенном ученом совете по физико-математическим и техническим наукам), № 7.

Критика и библиография

- Брехман И. И., Беликов И. Ф., Воробьев Д. П. Рецензия на книгу И. В. Грушвицкого «Женьшень. Вопросы биологии», № 11.
- Дулов В. И. Литература по истории Сибири, вышедшая в 1960 году, № 8.
- Куклина Е. А., Одинокое В. Г. О сборнике «Платон Алексеевич Ойунский», № 7.
- Орловский Н. В. Рецензия на книгу Н. М. Савельева «Биологические основы возделывания семенной люцерны в Западной Сибири», № 12.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать еще неопубликованные результаты исследований по актуальным научным проблемам, полученные за последние два-три года.

2. Объем каждой статьи не должен превышать 1 авторского листа, включая библиографию и иллюстративный материал.

3. На публикацию материалов, представляемых в редакцию, требуется письменное разрешение руководства организации, на средства которой проводились работы, и соответствующая документация, удостоверяющая возможность печатания их в журнале.

4. Рукописи статей и иллюстративный материал к ним представляются в двух экземплярах. Рукопись должна быть четко перепечатана на машинке, через два интервала, на одной стороне листа, тщательно вычитана и подписана автором.

5. Корректур дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректур не высылаются.

6. Формулы, латинские, греческие и т. п. выражения следует давать только в случаях необходимости, вписывая их на машинке, или от руки (темными чернилами или тушью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении каждого знака.

Во избежание недоразумений нужно делать ясное различие между заглавными и строчными буквами в формулах; имеющими одинаковое начертание (V и v, O и o, W и w, K и k, P и p, C и c), подчеркивая заглавные буквы двумя черточками снизу (S), а строчные — сверху (s).

7. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Штриховые же должны быть выполнены ровно наложенной тушью на кальке, допускается также плотная белая бумага.

Не рекомендуется рисунки и чертежи загромождать надписями, лучше детали рисунка занумеровать и дать расшифровку номеров в подрисовочной подписи.

Все иллюстрации к статье должны иметь сквозную нумерацию. Номера эти проставляются простым карандашом на каждом рисунке или чертеже, а также в рукописи на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (вклеивать иллюстрации в текст рукописи нельзя). Кроме того, на обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. В рукопись должна быть вложена список иллюстраций (в 2 экземплярах), согласно их порядковой нумерации.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статей.

8. Библиографические списки: а) литература в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические данные приводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического перечня отделяются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, выпуск, издание, страницы, ставятся после сокращенного слова, например: т. III, вып. 7, изд. 2; г) в тексте ссылка на литературу, перечисленную в библиографическом списке, помещенном в конце статьи, делается по такой форме: «Павлов [10, 11] указывает...».

Числа 10, 11, взятые в квадратные скобки, показывают порядковые номера трудов в библиографическом списке.

Схема перечня библиографических данных:

Для книг: фамилия и инициалы автора, название книги, название издательства (Медгиз, Техиздат), место издания, год издания (слово «год» не ставится, например: 1956)

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала (альманаха, газеты), том или выпуск (т. III, вып. 7), номер, год.

Говоря о месте издания, слова «Москва» и «Ленинград» можно заменять начальными буквами.

Статьи направлять по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401 — редакции журнала.

Художественный редактор В. А. Бурлачук.
Технический редактор А. М. Вялых.
Корректоры: М. А. Башкова, А. А. Симонова.

Подписано в печать 29/XII-61 г. МН 01407 Бумага 70x108/16=7,25 печ. л., 9,93 усл. печ. л.+ 2 вкл.
10,25 уч.-изд. л. Тираж 2300.

Издательство Сибирского отделения Академии наук СССР, Новосибирск, Советская, 20. Зак. 345.
Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20.
Цена 70 коп.

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

В журнале освещаются результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по экономическим, техническим, химическим и биологическим наукам, проведенных в научных учреждениях, исследовательских институтах, высших учебных заведениях Сибири. В журнале печатаются также статьи методического характера, работы, посвященные важнейшим проблемам развития производительных сил восточных районов СССР.

В журнале регулярно дается разносторонняя информация о научной жизни и развитии науки в Сибири и на Дальнем Востоке, печатаются материалы по обмену опытом и координации научной работы, библиография и рецензии на книги, в которых рассматриваются вопросы, связанные с изучением Сибири.

Журнал рассчитан на научных работников, преподавателей вузов, инженеров и руководителей предприятий.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 8 р. 40 к.

на 6 месяцев — 4 р. 20 к.

на 3 месяца — 2 р. 10 к.

Цена отдельного номера 70 коп.

Подписка принимается всеми отделениями Союзпечати и агентствами связи, а также магазинами «Академкнига», с любого очередного номера. Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комната 401).

Цена 70 коп.

Am