

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

8

НОВОСИБИРСК

1960

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА

- Б. В. Фаддеев. Значение капитальных затрат при определении предельной глубины открытых работ 3

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Б. Н. Девятков, С. В. Лапшин. Передаточные функции и структурные схемы теплообменных аппаратов как объектов регулирования 11
 Э. И. Григолюк. О смятии цилиндрической трубы за пределом упругости 24
 С. И. Галкин. Кручение открытой цилиндрической оболочки при упругой заделке торцовых сечений 29
 Л. С. Попырин, К. вопросу о выборе конечных параметров крупных конденсационных турбин 38
 Е. П. Гусев. Исследование к. п. д. характерных схем настроенных электропередач 46

ХИМИЯ

- А. Н. Киргинцев. О нижней границе смешиваемости в гетерогенных системах 57
 Ф. Т. Шостак, М. В. Виттих, А. К. Шарова, И. Г. Чуфарова. Выделение германия методом ионного обмена 69
 Е. П. Бабин, В. Г. Плюсин, И. А. Алексеева. О кинетике образования изомеров алкилбензолов в процессе алкилирования 75

БИОЛОГИЯ

- И. Ф. Беликов, Е. Я. Неделько. Аминокислотный состав белка амурских сортов сои 84
 Ф. Т. Сухенко. Протеолитические ферменты ржавого и пушистого микроспорумов 91
 Э. Л. Афанасьева. Науплиальные стадии рачка *Epischura baicalensis* Sars. из озера Байкал 103
 И. П. Петухова. Деревья и кустарники Северной Америки в озеленении Среднего Урала 113
 О. Ф. Васильев, Н. А. Притвиц, В. М. Титов. Некоторые гидродинамические расчеты, относящиеся к методам борьбы с личинками кровососущих мошек (гнуса) в речных потоках 124

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Ю. И. Соловьев. О пластическом состоянии материала под жестким шероховатым штампом при симметричном нагружении 135
 В. Г. Савицкий, К. В. Попов. Определение начала отклонения действительного хода температурной зависимости предела текучести от хода, предсказываемого теорией Котрелла 138
 А. В. Новоселова, Л. Р. Бацанова. О взаимодействии сфена (титанита) с кремнефтористым натрием 142
 К. Е. Миронов. О тройных соединениях в системе $NH_3-N_2O_2-N_2O$ 143
 А. Б. Гукасян. Новый возбудитель болезни сибирского шелкопряда 146
 А. Ф. Хлонова. К вопросу о применении международных правил ботанической номенклатуры при описании ископаемых видов спор и пыльцы 150

ХРОНИКА

- Новое пополнение членов Сибирского отделения Академии наук СССР 153
 А. И. Беляков. Якутское совещание по охране природы 154
 В. А. Гаврилов. О путях лучшего использования трудовых ресурсов Сибири и Дальнего Востока 155
 А. К. Черненко. В объединенном Ученом совете по физико-математическим и техническим наукам 158

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ

А К

П-28868

1960	Известия Сибирского
№ 8	отделения АН
	СССР
	7 р.

П-28868

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1960

Б. В. ФАДДЕЕВ

ЗНАЧЕНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ОТКРЫТЫХ РАБОТ

Непрерывный рост механизации горных работ вызывает все увеличивающуюся потребность в капитальных затратах на оборудование горных предприятий, в соответствии с чем растут и амортизационные отчисления.

Современные горные предприятия СССР весьма насыщены механизмами, вследствие чего объем капитальных затрат на 1 т годовой добычи резко возрос и стал важным показателем экономичности новых проектов карьеров и шахт. Перед проектировщиками горных предприятий всегда возникает такой серьезный вопрос, как выбор способа разработки месторождений.

Обыкновенно сравнивается капиталоемкость открытых горных работ с капиталоемкостью подземной выемки. В решении этого вопроса существенное значение имеет установление предельной глубины карьеров, определяющее в основном потребность в капитальных затратах, в связи с чем следует рассмотреть правильность существующей практики их погашения.

Карл Маркс, исследуя процесс превращения прибавочной стоимости в прибыль, отмечал особенности строения капиталов в разных отраслях промышленности. В частности, он подчеркивал, что в горнодобывающей промышленности, где предмет труда не создается человеком, а дается природой [1], эта особенность накладывает определенный отпечаток не только на техническое строение вкладываемого капитала, но и на порядок погашения капиталовложений. Между тем амортизация капитальных затрат в горной промышленности СССР производится так же, как и в других отраслях промышленности, что нередко приводит горные предприятия к нелепым итогам.

Наглядный пример несоответствия общепринятого порядка погашения капитальных затрат с действительными условиями горного производства привел Л. М. Кантор [2]. Из опыта эксплуатации нефтяных скважин он установил, что амортизация основной части основных фондов горнодобывающих предприятий должна производиться не по средней ставке амортизационных отчислений, а по технологическому сроку службы. Работа этого автора страдает некоторыми недостатками [3], но в ней справедливо поднимается вопрос о необходимости пересмотра для горной промышленности существующих норм амортизационных отчислений.

Относительно величины капитальных затрат при открытом и подземном способах разработки месторождений в советской горнотехнической литературе высказано два противоположных мнения. Одни авторы

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), 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.

утверждают, что открытые работы требуют больших, по сравнению с подземными работами, капитальных затрат, и считают это одним из основных недостатков открытых работ [4, 5, 6]. Другие, наоборот, утверждают, что открытый способ разработки предопределяет меньшие капитальные затраты, чем шахтная выемка, и причисляют это качество к важнейшим преимуществам открытых работ [7, 8, 9]. Такое противоречие в оценке капиталоемкости открытых и подземных работ происходит вследствие того, что бухгалтерские отчеты о стоимости сооружения шахт и карьеров не приспособлены для технико-экономического анализа, поэтому сумму капиталовложений приходится принимать из проектно-сметной документации, часто не совпадающей с действительностью.

Для правильного сопоставления капиталоемкости открытых и подземных разработок следует всегда различать «общие капиталовложения» и «капитальные затраты по промстроительству», чего многие авторы не делают.

Затраты на жилищное и культурно-бытовое строительство обычно составляют значительную долю общих капиталовложений, причем величина этой доли определяется не только уровнем производительности труда в шахте или карьере, но и местными условиями, к числу которых относятся: обжитость района, срок службы предприятия и т. д. Например, А. С. Попов по показателям 32 шахт средней производительности установил, что в условиях Донбасса затраты на жилищное строительство составляют от 18 до 45% общих капиталовложений, или около 56% капитальных затрат по промстроительству [10]. П. З. Звягин по проектам 15 крупных шахт Кузбасса капитальные затраты на жилищное строительство определяет в размере 87% от затрат по промстроительству, но для предварительной оценки общих капиталовложений он рекомендует затраты на жилищное строительство принимать одинаковыми с затратами по промстроительству [11].

В условиях эксплуатации одного и того же или аналогичного месторождения главнейшим критерием для определения потребности затрат на жилищное строительство является уровень производительности труда сравниваемых вариантов или различных способов разработки. При сравнении открытых работ с подземными первые всегда имеют значительно более высокую производительность труда, чем вторые, значит, удельные капитальные затраты на жилищное строительство для карьеров будут всегда значительно меньше, чем для шахтного варианта.

Общие капиталовложения для открытой и подземной разработки необходимо сопоставлять только при выборе способа разработки месторождения, т. е. при определении общей рентабельности намечаемого строительства горного предприятия. Иная задача возникает, если месторождение уже эксплуатируется, допустим, карьером и требуется определить предельную границу его развития. В данном случае следует учитывать наличие действующего карьера с выстроенным при нем благоустроенным поселком и исходить не из общей выгодности открытых работ, а из рентабельности их применения на глубине предельного горизонта.

По мере углубления любого карьера потребность в рабочей силе для производства вскрышных работ всегда возрастает. Так, при разработке наклонного месторождения в течение всего периода его нормального развития необходимо непрерывно расширять жилой поселок в соответствии с растущими потребностями вскрышных работ, что создает очень выгодную поэтапность капитальных затрат на жилищное строительство.

Проследим, что получается с объемом капитальных вложений к моменту перехода с открытых работ на подземную выемку. Когда карьер

достигает горизонта, где стоимость открытой и подземной добычи выравнивается, его жилой фонд оказывается близким по объему к жилому фонду, потребному для шахтной эксплуатации; на горизонте равных трудовых затрат открытой и подземной разработки жилой фонд карьера будет полностью соответствовать переходу на подземные работы. Таким образом, при остановке открытых работ на горизонте, примерно равных стоимостей открытой и подземной добычи, потребность в дополнительных капитальных затратах по жилищно-бытовому строительству будет весьма незначительна и переход к шахтной выемке никаких новых затрат по жилищно-бытовому строительству требовать не будет. Следовательно, при реконструкции карьеров или при определении границы между открытыми и подземными работами сравнение капитальных затрат нужно сделать только по промышленному строительству.

Первое сопоставление капитальных затрат по промстроительству угольных шахт и угольных карьеров сделал П. З. Звягин, основываясь на нескольких проектах горных предприятий, расположенных в восточных районах СССР [11]. Средние показатели указанных проектов свидетельствуют о том, что при существовавшей до 1935 г. механизации угольных шахт и карьеров открытые работы были более капиталоемкими, чем подземные (табл. 1).

Таблица 1

Средние показатели капиталовложений по промстроительству (по П. З. Звягину)

Вид разработки	Количество использов. проектов	Средняя производительность предприятия, тыс. т	Средневзвешенные капиталовложения на 1 т годовой добычи
Шахта	22	872	11 руб. 25 коп.
Карьер	3	830	18 руб. 65 коп.

После 1935 г. механизация открытых и подземных работ резко увеличилась, причем карьеры за это время получили значительно более мощное и дорогостоящее оборудование, чем шахты. В новых условиях можно было предполагать, что повышенная капиталоемкость карьеров против подземных работ возрастает еще в большей степени, однако в действительности произошло обратное явление. Крупная механизация угольных карьеров способствовала резкому увеличению их производительности, что, в свою очередь, вызвало снижение доли всех других капитальных затрат на 1 т карьерной добычи. Механизация угольных шахт, наоборот, производилась не столько за счет увеличения мощности горных машин, сколько за счет увеличения их количества, так как мощность шахтных машин всегда ограничивается специфическими условиями подземной выемки.

В результате этого общая капиталоемкость подземных работ в настоящее время оказалась выше капиталоемкости открытых работ. Для подтверждения изложенного приведем показатели капитальных затрат по новым уральским буроугольным карьерам и шахтам, разрабатываемым примерно одинаковые пласты как по мощности, так и по углу залегания. При одинаковых геологических условиях различная мощность предприятий открытых и подземных работ отражает их специфические особенности (табл. 2).

В горной промышленности потребность капитальных затрат принято учитывать двумя показателями: на 1 т годовой добычи и на 1 т запасов. Первый показатель является наиболее ярким измерителем эффективности капиталовложений, учитывающим до некоторой степени и фактор времени этих затрат, тогда как второй — менее характерен и при-

Таблица 2

Показатели капитальных затрат из проектов бурогольных шахт и карьеров Урала

Названия разработок	Год выпуска проекта	Годовая произво- димость, тыс. т	Срок эксплуа- тации, лет	Капиталовложений на 1 т годовой добычи, руб.			Промзагат на 1 т запасов, руб.	Амортизация, отчис- ления в себестоим. угля, руб.
				промстрои- тельство.	жилищно- стройка.	всего		
Карьеры								
Турьинский № 5	1944	1200	17	57,7	7,0	64,7	3,4	2,0
Веселовский № 1	1945	1000	5	51,1	16,0	67,1	10,2	3,0
Волчанский № 3	1947	1500	20	46,2	20,3	66,5	2,3	2,9
» № 4	1947	1500	9	44,7	26,0	70,7	5,0	2,8
Красносельск. № 7	1947	600	3,5	70,0	30,0	100,0	20,0	4,0
Волчанский № 5	1948	1500	15	76,0	16,2	92,2	5,1	4,1
» № 2	1949	1000	35	60,8	52,3	113,1	1,7	—
В среднем по 7 карьерам		1200	15	56,9	22,7	79,6	3,8	—
Шахты								
Южно-Батурицкая	1947	300	25	55,5	35,0	90,5	2,2	4,2
Красносельск. № 1	1947	300	31	65,0	34,5	99,5	2,1	4,4
Кулярская № 1	1947	300	26	125,3	60,0	185,3	4,0	6,1
Еманжелинская 19-А	1947	400	15	53,2	31,5	85,7	3,4	3,0
Калачевская 35-бис	1948	200	18	70,1	47,6	117,7	3,9	3,2
Калачевская 19-накл.	1949	200	8	75,0	3,8	78,8	9,4	3,4
Еманжелинская 18-бис	1949	350	20	111,4	73,0	184,4	5,6	7,6
Кулярская № 2	1949	450	49	159,5	84,0	243,5	3,3	12,2
В среднем по 8 шахтам		310	24	94,7	50,0	144,7	3,9	—

меняется только для углубленного изучения сравниваемых вариантов. Оба эти показателя приведены в табл. 2, итоговые цифры которой свидетельствуют о том, что современные угольные карьеры при оснащении их крупной механизацией требуют на 1 т годовой добычи почти в два раза меньших затрат по промстройству, чем угольные шахты; между тем доля промышленных затрат на 1 т запасов для карьеров и шахт почти одинакова.

Такое сочетание итоговых показателей свидетельствует не только о высокой эффективности капиталовложений на открытых работах, но и о более быстрой окупаемости основных средств при открытом способе разработки по сравнению с подземным способом. Кроме того, из табл. 2 видно, что величина капитальных затрат по жилищному строительству на 1 т годовой добычи для новых карьеров требуется в 2,2 раза меньшая, чем для шахт, а общая капиталоемкость открытого способа в настоящее время составляет всего 55% общей капиталоемкости подземных разработок.

К. М. Звягинцева аналогичные данные приводит по Кузнецкому бассейну [12]. Она указывает, что удельные капиталовложения на 1 т годовой добычи угля составляют: в северных районах бассейна по шахтам около 200—220 руб., по карьерам — около 100—120 руб., в южных районах по шахтам — 250—300 руб., по карьерам — 180—200 руб. Следовательно, в северных районах Кузбасса открытые работы при их современной механизации требуют на 47,5%, а в южных — на 30,7% меньше капиталовложений, чем подземные работы. Разница в показателях между районами объясняется различной степенью их обжитости.

II

Капитальные затраты на промышленное строительство новых карьеров условно можно подразделить на две главные части: а) необъемные капитальные затраты, куда входят приобретение оборудования и строительство поверхностных сооружений (бункера, механический цех и т. д.), и б) объемные, к которым относятся проходка капитальных и разрезов траншей, строительство отвалов и подъездных путей.

Необъемная часть капитальных затрат учитывается непосредственно в стоимостных показателях открытых работ, например в себестоимости собственно добычи угля всегда участвует амортизация добычных экскаваторов, транспортных средств и погрузочных бункеров, а в себестоимости вскрышных работ — амортизация вскрышных экскаваторов, подвижного состава и железнодорожных путей. Все объемные капитальные затраты в экономических расчетах приходится учитывать отдельно, чтобы погашать их особыми амортизационными отчислениями в течение срока существования данного горного предприятия.

Капитальные горные выработки, в отличие от механического оборудования, не могут быть использованы после ликвидации горного предприятия, поэтому погашение их стоимости должно производиться так, чтобы шахта или карьер к концу своей работы не могли принести государству убытка или перенакопления амортизационных отчислений. Последнее является искусственным удорожанием стоимости горного продукта, которое неблагоприятно отражается на экономике всего народного хозяйства. К сожалению, этот момент у нас почти нигде не учитывают и для упрощения бухгалтерских расчетов распределение объемных затрат делают по средней ставке амортизационных отчислений, устанавливаемой директивным порядком.

Практика применения средней ставки амортизационных отчислений зачастую приводит к тому, что предприятия, дающие дешевую добычу, заканчивают свою деятельность с большим убытком для государства, в то время как явно убыточные предприятия, наоборот, приносят сверхплановую прибыль. Наглядным примером первого случая может служить проект Красносельского карьера № 7 (табл. 2), где доля амортизационных отчислений в себестоимости добычи составляет всего 4 руб., а капитальные затраты по промстройству на 1 т запасов определяются в 20 руб., из которых на горные работы (т. е. объемные затраты) приходится 5 руб. Значит, данный проект ориентирует предприятие на возврат капитальных вложений по промстройству в размере только $\frac{4 \cdot 100}{20} = 20\%$, остальные же 80% капитальных затрат не погашаются и при ликвидации карьера должны быть списаны в убытки. Из подземных предприятий аналогичным примером является проект Калачевской шахты № 19-накл. (табл. 2), где капитальные затраты по промстройству на 1 т запасов составляют 9,4 руб., а доля амортизационных отчислений в себестоимости добычи предусмотрена в размере только 3,4 руб., т. е. также заранее планируется убыток государству в несколько десятков миллионов рублей.

Указанное несоответствие между капитальными затратами и долей амортизационных отчислений происходит потому, что экономические записки в проектах предприятий угольной промышленности СССР составляются по приказу НКТП № 17 от 16/1—1938 г. Этот приказ для всех капитальных затрат промышленного характера по шахтам и карьерам определяет среднюю ставку амортизационных отчислений в размере 4,62%. Подобный порядок погашения затрат существует и на действующем

щих предприятиях угольной промышленности: здесь погашение основных средств производится также по средней ставке амортизационных отчислений, которую, например, в 1949 г. Министерство угольной промышленности СССР установило в размере 3,88%, а затем повысило до 4,2%.

Второй случай неправильного погашения стоимости основных средств, приводящий к излишнему удорожанию добычи, можно проиллюстрировать на примере Волчанского карьера № 2, обеспеченного запасами угля на 35 лет эксплуатации (табл. 2). Капитальные затраты по промышленному строительству этого карьера определены в 60,8 млн. руб., в том числе 14,6 млн. руб. составляют проходка капитальных траншей и строительство отвалов, т. е. объемные работы. При данной структуре основных средств средняя ставка амортизации, согласно приказу НКТП № 17 от 16/1—1938 г., проектом исчислена в 4%.

Распространив эту ставку на объемные затраты, мы через 25 лет полностью погасим стоимость всех капитальных горных выработок. Но ведь карьер будет эксплуатироваться не 25 лет, а 35 и в последние 10 лет, по существующим правилам, амортизация горных работ должна насчитываться на себестоимость добычи в прежнем размере. Следовательно, в течение 10 лет будет искусственно завышаться себестоимость продукции Волчанского карьера № 2 и всех предприятий, потребляющих уголь этого карьера, с общей суммой переплат 5,84 млн. руб. (4% от 14,6 млн. руб. × 10 лет). Если же срок службы данного карьера по каким-либо причинам (например, в связи с приростом запасов месторождения или освоением новых методов разработки) заметно увеличится против первоначального проекта, а дальнейшее развитие горных работ не потребует реконструкции карьера, то излишние накопления средств от неправильного погашения объемных капитальных затрат достигнут весьма и весьма крупной суммы.

Для подземных работ подобный расчет перенакопления амортизационных отчислений можно привести по любой старой шахте, например по шахте Кулярская № 2 (табл. 2) или др. Удельный вес горно-капитальных работ в общих затратах по промстроительству при подземных разработках всегда значительно больше, чем при открытых. Следовательно, правильное погашение объемных затрат на подземных работах имеет еще более важное значение, нежели в открытых работах.

Некоторые экономисты перенакопление амортизационных отчислений склонны оправдывать необходимостью капитального ремонта горных выработок (для их эксплуатации) после истечения среднего срока амортизации. Однако такие рассуждения весьма неубедительны потому, что каждая шахта имеет свои условия. При слабых породах капитальные затраты на проходку горных выработок будут относительно малы, зато стоимость поддержания их будет всегда значительна, и сумм амортизационных накоплений может не хватить на покрытие расходов по капитальному ремонту выработок. При крепких породах происходит обратное явление: проходка выработок дорога, а стоимость поддержания незначительна, в результате чего амортизационные накопления никогда полностью израсходованы быть не могут. Тем более нелогично всякое оправдание излишних амортизационных накоплений в открытых работах, где капитальные горные выработки (траншеи и пионерные насыпи) вообще не требуют каких-либо затрат на ремонт и при надлежащей затоске бортов могут сохраняться в течение нескольких столетий.

Только непониманием различной природы объемных и необъемных затрат в угольной промышленности можно объяснить неправильную систему бухгалтерских отчетов, согласно которой все капитальные вложе-

ния остаются на балансе основных средств горного предприятия до момента его ликвидации, и до последнего года работы бухгалтерия карьера или шахты включает в калькуляцию амортизацию погашенных затрат, искусственно увеличивая себестоимость 1 т угля. Отсюда должно быть ясным, что коренное упорядочение проектно-сметных и отчетно-бухгалтерских расчетов в горной промышленности является давно назревшей и неотложной необходимостью.

Для того, чтобы правильно решать вопрос о погашении капитальных затрат в горной промышленности, следует ознакомиться со структурой этих затрат. Понимание некоторых особенностей структуры капитальных затрат на горнодобывающих предприятиях дает составленная П. Буничем [13] структура основных фондов в трех областях промышленности СССР (табл. 3).

Таблица 3

Структура основных фондов в процентах

Отрасль промышленности	Здания	Сооружения	Словесное оборудование	Производств. оборудован.	Передач. устройства	Транспортные средства	Инвентарные инструменты
Угольная	16,6	51,8	5,5	16,4	2,2	6,1	1,4
Нефтяная	9,6	51,8	3,8	18,9	11,4	3,4	1,1
Черная металлургия . .	25,7	21,2	7,4	32,8	6,9	4,6	1,4

Как показывает табл. 3, добывающие отрасли промышленности отличаются пониженным удельным весом зданий в общей сумме основных фондов и резко увеличенным удельным весом сооружений по сравнению с обрабатывающей промышленностью. Основным видом сооружений в добывающей промышленности являются горные выработки или эксплуатационные скважины, которые, по нашему делению, относятся к «объемным» капитальным затратам.

Доля производственного оборудования в основных фондах угольной промышленности СССР сравнительно невелика (16,4%), но на угольных карьерах она, вероятно, будет выше, чем на шахтах. Учитывая быструю механизацию горных предприятий СССР, согласно решению XXI съезда КПСС и июльского Пленума ЦК КПСС, в будущем следует ожидать заметного увеличения доли производственного оборудования в структуре основных фондов угольной промышленности. Причем наиболее заметное увеличение этой доли должно произойти на открытых разработках, где началось внедрение весьма тяжелого и дорогостоящего оборудования.

Следует указать, что наблюдающаяся тенденция повышения мощности и габаритов землеройного оборудования часто приводит к перерасходу металла и неоправданному завышению доли амортизационных отчислений в себестоимости карьерной добычи. Например, экскаватор ЭШ—25/100 имеет вдвое больший вес и стоимость против экскаватора ЭГ—15/90, а производительность его всего на 30% больше производительности ЭШ—15/90. Поэтому не следует удивляться, что на экскаваторе еще большей мощности (ЭШ—50/125) Уралмашзавод вообще не может найти заказчика.

В экономическом расчете предельной глубины карьера различие между объемными и необъемными капитальными затратами должно быть обязательно учтено именно потому, что открытые капитальные выработки не изнашиваются от времени (как здания) или от использования (как оборудование), а сохраняют свой первоначальный вид на многие годы. Независимо от того, будет ли данное месторождение ниже

проектной глубины карьера разрабатываться открытым способом, или же перейдет на подземную выемку, все выстроенные траншеи и отвалы останутся на территории месторождения в виде ущелий и холмов как фиксированный рельеф земной поверхности.

В том случае, когда благоприятная топография местности позволяет строить карьер без проходки капитальных траншей (например, Магнитогорский рудник), затраты на их проходку не включают в генеральную смету карьера и себестоимость открытой добычи не содержит амортизации траншей. Очевидно, незачем восстанавливать первоначальную стоимость открытых выработок при определении предельной глубины карьера, чтобы затем распределять искусственно восстановленные капитальные затраты на запасы прирезки карьерного поля. Только так должна пониматься экономика открытых работ на нижних уступах карьера, и с этой позиции следует делать необходимые сравнения стоимости выемки полезного ископаемого на граничном горизонте или ниже его.

Любая прирезка карьерного поля, вызванная пересмотром глубины открытых работ, должна рассматриваться в условиях существующего на этот момент рельефа земной поверхности, т. е. себестоимость выемки прирезаемых запасов должна быть свободна от амортизационных отчислений с объемных капитальных затрат прежних лет, так как эти затраты не были вызваны увеличением срока существования карьера. Отсюда вытекает, что все объемные капитальные затраты в расчетах глубины открытых работ подлежат распределению только на промзапасы карьера до горизонта равных стоимостей.

Уральский филиал
АН СССР

Поступила в редакцию
27/II 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Карл Маркс, Капитал, том III. Госполитиздат, 1950.
2. Л. М. Кантор, Амортизация и ремонт в промышленности СССР. Госпланиздат, 1949.
3. А. И. Ноткин, Рецензия на книгу Л. М. Кантора «Амортизация и ремонт в промышленности СССР». Советская книга, № 8, 1950.
4. Н. И. Трушков, Разработка рудных месторождений. Металлургиздат, 1946.
5. П. И. Городецкий, Проектирование горнорудных предприятий. Metallurgizdat, 1949.
6. Н. В. Мельников, Добыча ископаемых открытым способом. Углетехиздат, 1948.
7. П. Э. Зурков, Открытые разработки. Metallurgizdat, 1941.
8. Н. Г. Домбровский, Перспективы развития угледобычи открытым способом. Механизация тяжелых и трудоемких работ, № 7, 1947.
9. В. Хоэн, Механизация и электрификация открытых работ в США и СССР, Гос. научн.-техн. горное изд-во, 1932.
10. А. С. Попов, Техничко-экономический анализ в горном искусстве. ОНТИ, 1932.
11. П. З. Звягин, Проектирование и расчеты элементов разработки пластовых месторождений. ОНТИ, 1935.
12. К. М. Звягинцева, Развитие открытой добычи угля в Кузбассе. Уголь, № 7, Госгортехиздат, 1959.
13. П. Бункич, Амортизация основных фондов в промышленности. Госфиниздат, 1957.

Б. Н. ДЕВЯТОВ, С. В. ЛАПШИН

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ И СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ КАК ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ*

До настоящего времени при решении задач регулирования теплообменники рассматривали приближенно как инерционные (апериодические) звенья, часто как звенья первого порядка с запаздыванием. При этом соответствующие величины запаздывания и постоянной времени определяли либо экспериментально, либо теоретически, исходя из описания процесса обыкновенными дифференциальными уравнениями [2].

Однако такой подход к решению задачи анализа динамических свойств этих аппаратов с самого начала совершенно исключает возможность учета важных их свойств как объектов с распределенными параметрами.

В то же время решение практических задач технологии приводит к необходимости максимального усиления этих свойств. От этого зависит достижение наибольшей эффективности и полноты процесса. В самом деле, хорошо известно общее стремление к наиболее полному осуществлению принципа противотока, что приводит к усилению свойств объекта как объекта с распределенными параметрами.

Учет этих свойств особенно важен при решении задач синтеза систем регулирования. Здесь нельзя учитывать только входные и выходные величины, но нужно контролировать значение параметров и по длине аппарата, выбирая соответствующую схему регулирования**.

В первую очередь при анализе динамических свойств самого объекта регулирования (при описании его структурной схемы и определении передаточных функций) нужно исходить из более точных уравнений процесса с частными производными. Эти уравнения будут отражать свойства распределенности параметров данного объекта.

В дальнейшем, когда в общей структуре исходных уравнений будут учтены указанные свойства, представление данной системы совокупностью звеньев с сосредоточенными параметрами отразит существенные особенности процесса.

§ 1. Дифференциальные уравнения процесса теплообмена

Рассмотрим нестационарный теплообмен между движущимися средами в прямо- и противоточных аппаратах типа «труба в трубе» при тех же предположениях, что и в работе [1].

Величины, относящиеся к первой среде, будем отмечать индексом 1, ко второй среде — индексом 2, к внутренней трубе — индексом 3.

* Для определения передаточных функций использованы дифференциальные уравнения процесса теплообмена в частных производных [1].

** Решение задачи синтеза системы регулирования будет дано в специальных работах.

Выберем ось Ox , совпадающую с направлением движения первой среды. Обозначим начальные и конечные координаты теплоносителя, движущегося по аппарату, соответственно через x_n и x_k . Начало координат выберем так, чтобы $x_{n1} = 0$, $x_{k1} = l$, где l — длина теплообменника.

Тогда для противоточного теплообменника

$$x_{k2} = 0, \quad x_{n2} = l.$$

Для прямоточного теплообменника

$$x_{n2} = 0, \quad x_{k2} = l.$$

Процесс теплообмена описывается уравнениями [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vartheta_1}{\partial t} + \lambda_1 \frac{\partial \vartheta_1}{\partial x} &= \alpha_{31} (\vartheta_3 - \vartheta_1), \\ \frac{\partial \vartheta_2}{\partial t} + \lambda_2 \frac{\partial \vartheta_2}{\partial x} &= \alpha_{32} (\vartheta_3 - \vartheta_2), \\ \frac{\partial \vartheta_3}{\partial t} &= \alpha_{13} (\vartheta_1 - \vartheta_3) + \alpha_{23} (\vartheta_2 - \vartheta_3). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Для прямотока $\lambda_1 = w_1$, $\lambda_2 = w_2$.

Для противотока $\lambda_1 = w_1$, $\lambda_2 = -w_2$.

Здесь w — линейная скорость движения среды, ϑ — температура среды в соответствующем сечении аппарата. Коэффициенты α характеризуют теплообмен между соответствующими средами:

$$\begin{aligned} \alpha_{31} &= \frac{k_{31} p_{31}}{c_1 \gamma_1 s_1}, & \alpha_{13} &= \frac{k_{13} p_{31}}{c_3 \gamma_3 s_3}, \\ \alpha_{32} &= \frac{k_{32} p_{32}}{c_2 \gamma_2 s_2}, & \alpha_{23} &= \frac{k_{23} p_{23}}{c_3 \gamma_3 s_3}, \end{aligned}$$

где k — коэффициент теплопередачи, отнесенный к единице поверхности,

p — периметр сечения внутренней трубы по границе с соответствующей средой,

c — удельная теплоемкость,

γ — плотность,

s — площадь поперечного сечения.

Решение уравнений (1, 1) определяется начальными условиями:

$$\vartheta_i(x, 0) = \varphi_i(x), \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1.2)$$

и граничными условиями:

$$\vartheta_i(x_{ni}, t) = T_{\text{вх}}(t), \quad (i = 1, 2). \quad (1.3)$$

Если толщина внутренней трубы мала, то

$$p_{31} = p_{32}, \quad s_3 = 0$$

и теплоемкость внутренней трубы равна нулю.

Для теплообменника с тонкими стенками общие уравнения процесса теплообмена (1, 1) примут вид:

$$\frac{\partial \vartheta_1}{\partial t} + \lambda_1 \frac{\partial \vartheta_1}{\partial x} = \mu_{21} (\vartheta_2 - \vartheta_1); \quad \frac{\partial \vartheta_2}{\partial t} + \lambda_2 \frac{\partial \vartheta_2}{\partial x} = \mu_{12} (\vartheta_1 - \vartheta_2). \quad (1.4)$$

Коэффициенты μ характеризуют теплообмен между средами:

$$\mu_{12} = \frac{k_{12} p_2}{c_2 \gamma_2 s_2}, \quad \mu_{21} = \frac{k_{21} p_1}{c_1 \gamma_1 s_1},$$

где k — коэффициент теплопередачи.

Таким образом, приведенные выше уравнения (1, 1) и (1, 4) описывают нестационарные процессы в движущихся средах в прямо- и противоточных теплообменниках с толстыми и тонкими стенками.

§ 2. Передающие функции и структурные схемы теплообменников по температурному каналу

Из уравнений (1, 1) определим передающие функции теплообменника по температурному каналу.

Обозначим через $\Theta(p)$ изображение по Лапласу отклонения температуры в сечении аппарата x от начального значения:

$$\Theta_i(p, x) = L[\vartheta_i(t, x) - \varphi_i(x)], \quad (i = 1, 2, 3).$$

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} \cdot dt.$$

Принимаем, что начальные значения $\varphi_i(x)$ удовлетворяют уравнениям начального стационарного процесса, которые получаются из общих уравнений (1, 1) приравниванием к нулю всех частных производных по времени.

Применяя преобразование Лапласа к уравнениям (1, 1), получим:

$$(p + \alpha_{31}) \Theta_1 + \lambda_1 \frac{d\Theta_1}{dx} - \alpha_{31} \Theta_3 = 0,$$

$$(p + \alpha_{32}) \Theta_2 + \lambda_2 \frac{d\Theta_2}{dx} - \alpha_{32} \Theta_3 = 0,$$

$$(p + \alpha_{13} + \alpha_{23}) \Theta_3 - \alpha_{13} \Theta_1 - \alpha_{23} \Theta_2 = 0.$$

При этом граничные условия будут иметь вид:

$$\Theta_i(x_{ni}, p) = L[\vartheta_{\text{вх}}(t) - \varphi_i(x_{ni})] = \Theta_{\text{вх}}(p), \quad (i = 1, 2).$$

Исключая Θ_3 и вводя безразмерную относительную координату $\xi = \frac{x}{l}$, получим:

$$[p \tau_1 + \beta_1(p)] \Theta_1 + \frac{d\Theta_1}{d\xi} - \frac{\beta_1(p)}{1 + p \frac{1}{\alpha_{23}}} \cdot \Theta_2 = 0,$$

$$[p \tau_2^* + \beta_2^*(p)] \Theta_2 + \frac{d\Theta_2}{d\xi} - \frac{\beta_2^*(p)}{1 + p \frac{1}{\alpha_{13}}} \cdot \Theta_1 = 0, \quad (2.1)$$

$$\Theta_i(x_{ni}, p) = \Theta_{\text{вх}}(p), \quad (i = 1, 2),$$

где

$$\tau_1 = \frac{l}{\lambda_1}, \quad \beta_1(p) = \frac{l}{\lambda_1} \cdot \frac{\alpha_{23} \alpha_{31}}{(\alpha_{13} + \alpha_{23})} \cdot \frac{1 + p \frac{1}{\alpha_{23}}}{1 + p \frac{1}{\alpha_{13} + \alpha_{23}}},$$

$$\tau_2^* = \frac{l}{\lambda_2}, \quad \beta_2^*(p) = \frac{l}{\lambda_2} \cdot \frac{\alpha_{13} \alpha_{32}}{(\alpha_{13} + \alpha_{23})} \cdot \frac{1 + p \frac{1}{\alpha_{13}}}{1 + p \frac{1}{\alpha_{13} + \alpha_{23}}}.$$

Обозначим $\theta_i(x_{kl}, p) = \theta_{i \text{ вых}}(p)$, ($i = 1, 2$).

Решая уравнения (2, 1), найдем:

$$\theta_{1 \text{ вых}}(p) = K_{11}(p) \theta_{1 \text{ вх}}(p) + K_{21}(p) \theta_{2 \text{ вх}}(p), \quad (2.2)$$

$$\theta_{2 \text{ вых}}(p) = K_{12}(p) \theta_{1 \text{ вх}}(p) + K_{22}(p) \theta_{2 \text{ вх}}(p).$$

Существенным обычно является показатель температуры на выходе какой-нибудь одной среды, например первой. Поэтому второе соотношение можно вообще не рассматривать*.

Структурная схема теплообменника, составленная в соответствии с первым соотношением, изображена на рис. 1. В соответствии с этой общей

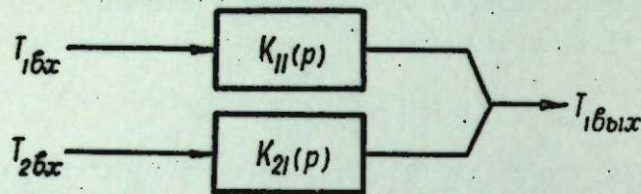


Рис. 1.

схемой рассмотрим подробнее отдельно два случая проточка и противотока, анализируя в каждом из этих случаев передаточные функции K_{11} и K_{21} .

1) Передаточные функции проточного теплообменника

В данном случае имеем:

$$K_{11}(p) = \frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} \cdot e^{q_2} - \left(\frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\beta_2^*}{1 + p \frac{1}{z_{12}}} \frac{1}{p\tau_2^* + \beta_2^* + q_2} \right) \times \frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} e^{q_1},$$

$$K_{21}(p) = \frac{-\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} \frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} e^{q_1} +$$

$$+ \frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{(p\tau_1 + \beta_1 + q_1)} \frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} \cdot e^{q_1},$$

где q_1, q_2 — корни характеристического уравнения системы (2,1),

$$q_{1,2} = -\frac{p(\tau_1 + \tau_2^*) + \beta_1 + \beta_2^*}{2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\left[\frac{p(\tau_1 - \tau_2^*) + \beta_1 - \beta_2^*}{2} \right]^2 + \frac{\beta_1 \beta_2^*}{\left(1 + p \frac{1}{z_{23}}\right) \left(1 + p \frac{1}{z_{13}}\right)}}.$$

* Из симметрии (2, 1) по индексам следует, что $K_{12}(p)$ и $K_{22}(p)$ получаются из $K_{21}(p)$ и $K_{11}(p)$, если поменять местами индексы 1 и 2 у соответствующих параметров.

Введем передаточные функции:

$$K_1(p) = \frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} \cdot e^{q_2}, \quad K_2(p) = -\frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} e^{q_1},$$

$$W_{12}(p) = -\frac{\beta_2^*}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \frac{1}{p\tau_2^* + \beta_2^* + q_2}, \quad (2.3)$$

$$W_{21}(p) = -\frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}.$$

Тогда выражения $K_{11}(p), K_{21}(p)$ примут вид:

$$K_{11}(p) = K_1(p) + W_{12}(p)W_{21}(p)K_2(p),$$

$$K_{21}(p) = W_{21}(p)K_1(p) + W_{21}(p)K_2(p). \quad (2.4)$$

В соответствии с соотношениями (2,4) получаем структурную схему и схему тепловых потоков проточного теплообменника (рис. 2).

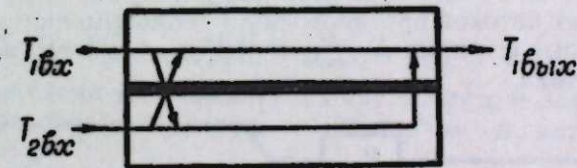
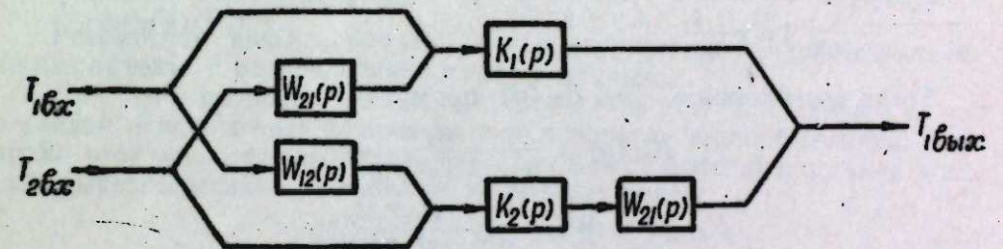


Рис. 2.

При этом функции K_1, K_2 имеют смысл передаточных функций соответствующих сред, а W_{12}, W_{21} — передаточных функций стенки в соответствующих направлениях.

2) Передаточные функции противоточного теплообменника

В данном случае имеем:

$$K_{11}(p) = \frac{q_1 - q_2}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} e^{q_2} \times$$

$$\times \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} \right) \left(\frac{\beta_2^*}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \frac{1}{p\tau_2^* + \beta_2^* + q_2} \right) e^{q_1 - q_2}},$$

$$K_{21}(p) = \left(\frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} \right) \times \frac{1 - e^{-q_1 - q_2}}{1 - \left(\frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} \right) \left(\frac{\beta_2^*}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \frac{1}{p\tau_2^* + \beta_2^* + q_2} \right) \cdot e^{q_1 - q_2}}$$

Обозначим

$$K_1(p) = \frac{q_1 - q_2}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1} e^{q_1}, \quad K_2(p) = - \frac{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}{q_1 - q_2} e^{-q_1},$$

$$W_{12}(p) = \frac{\beta_2^*}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \frac{1}{p\tau_2^* + \beta_2^* + q_2}, \quad (2.5)$$

$$W_{21}(p) = \frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{p\tau_1 + \beta_1 + q_1}, \quad W_{21}^*(p) = \frac{W_{21}(p)}{1 + W_{21}W_{12}K_1K_2}$$

Тогда выражения $K_{11}(p)$, $K_{21}(p)$ примут вид:

$$K_{11}(p) = \frac{K_1}{1 + W_{12}W_{21}K_1K_2}, \quad (2.6)$$

$$K_{21}(p) = W_{21}^* + \frac{W_{21}K_1K_2}{1 + W_{12}W_{21}K_1K_2}$$

В соответствии с соотношениями (2,6) получим структурную схему и схему тепловых потоков противоточного теплообменника (рис. 3). При этом передаточные функции K_1 , K_2 , W_{12} , W_{21} имеют тот же смысл, что и в случае прямотока.

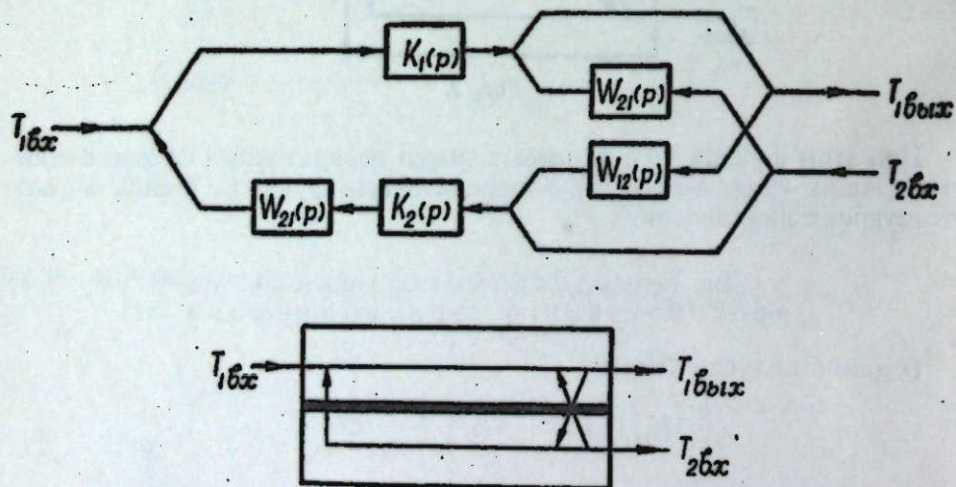


Рис. 3.

Таким образом, в обоих случаях — прямо- и противотока — вместо реального теплообменника, в котором теплообмен между средами про-

исходит непрерывно по всей длине аппарата, мы ввели эквивалентный* теплообменник, в котором теплообмен «сосредоточен» в двух крайних точках.

С помощью найденных представлений данной динамической системы процессы, протекающие в теплообменных аппаратах, рассматриваются с функциональной точки зрения методами теории регулирования. Это необходимо для решения задач автоматизации объектов.

Отметим, что передаточные функции K_1 , K_2 , W_{12} , W_{21} эквивалентного теплообменника с сосредоточенными параметрами не являются дробнорациональными. Однако эти передаточные функции, имеющие определенный смысл, более просты, чем K_{11} , K_{21} , и по ним удобнее вести анализ динамических свойств системы.

Заменяя каким-либо способом передаточные функции K_1 , K_2 , W_{12} , W_{21} близкими к ним дробнорациональными функциями, можно моделировать данную систему с распределенными параметрами на электронных машинах непрерывного действия (например, типа МН-7).

§ 3. Дифференциальные структурные схемы теплообменников по температурному каналу

Рассмотрим дифференциальную структурную схему теплообменника как объекта с распределенными параметрами.

Для этого разобьем теплообменник на n частей (в пределе $n = \infty$) и найдем передаточные функции «элементарного» теплообменника. Очевидно, этот элементарный теплообменник может быть представлен в виде четырехполюсника, описываемого уравнениями:

$$T_{1вых}^{(j)} = K_{11}^{(j)} T_{1вх}^{(j)} + K_{21}^{(j)} T_{2вх}^{(j)},$$

$$T_{2вых}^{(j)} = K_{12}^{(j)} T_{1вх}^{(j)} + K_{22}^{(j)} T_{2вх}^{(j)}. \quad (3.1)$$

При этом

$$T_{1вх}^{(j)} = T_{1вх}^{(j+1)}, \quad T_{2вх}^{(j)} = T_{2вх}^{(j+1)}. \quad (3.2)$$

Структурная схема теплообменника как объекта с распределенными параметрами представлена на рис. 4. Обозначим Δ_j длину j -й части

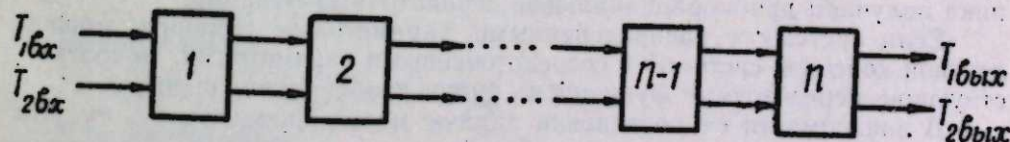


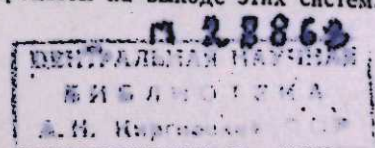
Рис. 4.

теплообменника. Проинтегрируем уравнение (2,1) в пределах $(\xi - \Delta_j, \xi + \Delta_j)$. Выберем разбиение таким образом, чтобы с заданной степенью точности можно было сделать замену

$$\int_{\xi - \Delta_j}^{\xi + \Delta_j} \theta(x) dx \approx \Delta_j [\theta(\xi + \Delta_j) + \theta(\xi - \Delta_j)] = \Delta_j (\theta_{вх}^{(j)} + \theta_{вых}^{(j)}).$$

Тогда (2,1) перейдет в систему линейных алгебраических уравнений. Разрешая ее, получим представление (3.1).

* В данном случае имеется в виду эквивалентность в том смысле, что одинаковые входные воздействия вызывают одинаковые процессы на выходе этих систем.



При этом

$$K_{11}^{(j)}(p) = \frac{1}{\Delta_1^{(j)}} \begin{vmatrix} 1 - (p\tau_1 + \beta_1)\Delta_j - \frac{\beta_1\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{23}}} \\ \frac{\beta_2^*\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{13}}} \end{vmatrix},$$

$$K_{21}^{(j)}(p) = \frac{1}{\Delta_1^{(j)}} 2 \frac{\beta_1\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{23}}}, \quad K_{12}^{(j)}(p) = \frac{1}{\Delta_1^{(j)}} 2 \frac{\beta_2^*\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{13}}}, \quad (3.3)$$

$$K_{22}^{(j)} = \frac{1}{\Delta_1^{(j)}} \begin{vmatrix} 1 + (p\tau_1 + \beta_1)\Delta_j - \frac{\beta_1\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{23}}} \\ -\frac{\beta_2^*\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{13}}} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_1^{(j)} = \begin{vmatrix} 1 + (p\tau_1 + \beta_1)\Delta_j - \frac{\beta_1\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{23}}} \\ -\frac{\beta_2^*\Delta_j}{1 + p\frac{1}{z_{13}}} \end{vmatrix}.$$

Полученная структурная схема (рис. 4) и передаточные функции (3,3) могут быть использованы для моделирования теплообменника при помощи искусственной длинной линии.

Из сравнения передаточных функций (3,3) и передаточных функций эквивалентного теплообменника с сосредоточенными параметрами видно, что, если мы сохраняем принцип «распределенности» до конца, применяя дифференциальную схему, то для элементарного теплообменника получаем дробнорациональные передаточные функции:

Если систему с распределенными параметрами заменить эквивалентной конечной системой с сосредоточенными параметрами, то соответствующие передаточные функции не будут дробнорациональными.

В зависимости от постановки задачи можно использовать ту или другую структурную схему теплообменника.

§ 4. Передаточные функции и структурные схемы теплообменников по каналу скорости движущихся сред с выходом по температуре

До сих пор мы везде предполагали, что скорости движения сред w_1 , w_2 заданы и постоянны. В действительности они являются случайными функциями времени. В последнем случае уравнения (1,1) будут нелинейными.

Пусть $w_1 = w_{10} + \Delta w_1(t)$, $w_2 = w_{20} + \Delta w_2(t)$.

Предполагая величины приращений Δw_1 , Δw_2 малыми, линеаризуем уравнения (1,1) по обычным правилам. Получим линеаризованные уравнения в отклонениях в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vartheta_1}{\partial t} + w_{10} \frac{\partial \vartheta_1}{\partial x} + \alpha_{31}(\vartheta_1 - \vartheta_3) &= -w_1 \frac{\partial \vartheta_{10}}{\partial x}, \\ \frac{\partial \vartheta_2}{\partial t} + w_{20} \frac{\partial \vartheta_2}{\partial x} + \alpha_{32}(\vartheta_2 - \vartheta_3) &= -w_2 \frac{\partial \vartheta_{20}}{\partial x}, \\ \frac{\partial \vartheta_3}{\partial t} + \alpha_{13}(\vartheta_3 - \vartheta_1) + \alpha_{23}(\vartheta_3 - \vartheta_2) &= 0, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где ϑ_{10} , ϑ_{20} удовлетворяют системе (1,1) при $w_1 = w_{10}$, $w_2 = w_{20}$, а $\vartheta_i \equiv \Delta \vartheta_i$, $w_i \equiv \Delta w_i$.

Так как практически на входе в теплообменник всегда есть возмущение по температуре, то ϑ_{10} , ϑ_{20} зависят от времени и уравнения (4,1) являются системой уравнений с переменными коэффициентами.

Пусть

$$\vartheta_{1\text{вх}} = \vartheta_{10\text{вх}} + \Delta \vartheta_{1\text{вх}},$$

$$\vartheta_{2\text{вх}} = \vartheta_{20\text{вх}} + \Delta \vartheta_{2\text{вх}}.$$

Предполагая, что $\Delta \vartheta_{1\text{вх}} \ll \vartheta_{10\text{вх}}$, $\Delta \vartheta_{2\text{вх}} \ll \vartheta_{20\text{вх}}$, и пренебрегая членами с $\Delta \vartheta_{10}(x)$, $\Delta \vartheta_{20}(x)$, сведем (4,1) к системе с постоянными коэффициентами.

Определяя коэффициенты из уравнений стационарного процесса теплообмена, после исключения Θ_3 и некоторых преобразований получим:

$$(p\tau_1 + \beta_1)\Theta_1 + \frac{d\Theta_1}{a\xi} - \frac{\beta_1}{1 + p\frac{1}{z_{23}}} \cdot \Theta_2 = -\Lambda_1(p) C \beta_{10} \cdot e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi},$$

$$(p\tau_2 + \beta_2^*)\Theta_2 + \frac{d\Theta_2}{a\xi} - \frac{\beta_2^*}{1 + p\frac{1}{z_{13}}} \cdot \Theta_1 = -\Lambda_2(p) C \beta_{20}^* \cdot e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi}, \quad (4.2)$$

$$\beta_{10} = \beta_1(p) \Big|_{p=0}, \quad \Lambda_1(p) = \frac{\lambda_1(p)}{\lambda_{10}}, \quad \Lambda_2(p) = \frac{\lambda_2(p)}{\lambda_{20}}.$$

Для прямотока

$$C = T_{10\text{вх}} - T_{20\text{вх}}.$$

Для противотока

$$C = (T_{10\text{вх}} - T_{20\text{вх}}) \cdot \frac{\beta_{10} + \beta_{20}^*}{\beta_{10} + \beta_{20}^* \cdot e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi}}.$$

Обозначим частное решение неоднородной системы (4,2) $\Theta_{14}(\xi)$, $\Theta_{24}(\xi)$. Введем величины

$$\Theta_1^*(\xi) = \Theta_1(\xi) - \Theta_{14}(\xi),$$

$$\Theta_2^*(\xi) = \Theta_2(\xi) - \Theta_{24}(\xi).$$

(4.3)

Для определения Θ_1^* , Θ_2^* имеем однородные уравнения, соответствующие неоднородным (4,2). Получаем выражения, аналогичные (2,2):

$$\Theta_1^*(\xi_{1к}) = K_{11} \Theta_1^*(\xi_{1н}) + K_{21} \Theta_2^*(\xi_{2н}),$$

$$\Theta_2^*(\xi_{2к}) = K_{12} \Theta_1^*(\xi_{1н}) + K_{22} \Theta_2^*(\xi_{2н}),$$

где K_{ij} — передаточные функции по температуре, найденные выше. Используя соотношения (4,3) и опуская члены, выражающие зависимость от входных температур, получим:

$$\Theta_{1\text{вых}}(p) = \Theta_{14}(\xi_{1к}) - K_{11}(p) \Theta_{14}(\xi_{1н}) - K_{21}(p) \Theta_{24}(\xi_{2н})^*. \quad (4,4)$$

Частное решение системы (4,2) имеет вид:

$$-\Theta_{14}(\xi) = W_{11}(p) e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi} \cdot \Lambda_1(p) + W_{21}(p) e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi} \cdot \Lambda_2(p), \quad (4,5)$$

$$-\Theta_{24}(\xi) = W_{12}(p) e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi} \cdot \Lambda_1(p) + W_{22}(p) \cdot e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*)\xi} \cdot \Lambda_2(p),$$

где

$$W_{11}(p) = C \beta_{10} \frac{p \tau_2^* + \beta_2^* - \beta_{20}^* - \beta_{10}}{\Delta}, \quad W_{21}(p) = C \beta_{20}^* \frac{\beta_1}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \cdot \frac{1}{\Delta},$$

$$W_{12}(p) = C \beta_{10} \frac{\beta_2^*}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \cdot \frac{1}{\Delta}, \quad W_{22}(p) = C \beta_{20}^* \frac{p \tau_1 + \beta_1 - \beta_{10} - \beta}{\Delta},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} p \tau_1 + \beta_1 - \beta_{10} - \beta_{20}^* & -\frac{\beta_1}{1 - p \frac{1}{z_{23}}} \\ -\beta_2^* & p \tau_2^* + \beta_2^* - \beta_{20}^* - \beta_{10} \\ 1 + p \frac{1}{z_{13}} & \end{vmatrix}$$

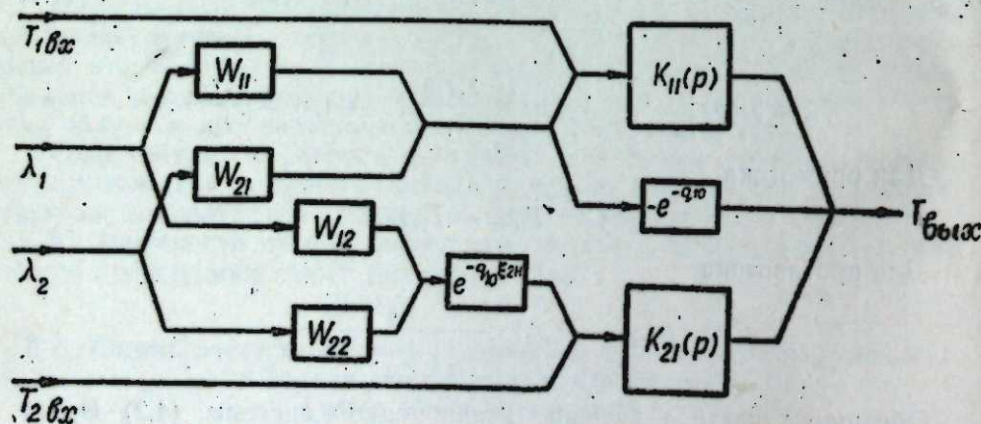


Рис. 5.

В соответствии с полученными соотношениями (4,4) и (4,5) составлена структурная схема (рис. 5) эквивалентного теплообменника с сосредоточенными параметрами в случае воздействия по скоростям движения сред.

* Соответствующее выражение $\Theta_{2\text{вых}}(p)$ по тем же соображениям, что и в § 2, интереса не представляет.

§ 5. Дифференциальные структурные схемы теплообменника при учете входного воздействия по скоростям движения сред

Рассмотрим структурную схему теплообменника по каналу скорости как объекта с распределенными параметрами. Как и в § 3, разобьем теплообменник на части.

Принтегрируем (4,2) в интервале $(\xi_j - \Delta_j, \xi_j + \Delta_j)$ и, решив полученные уравнения, найдем:

$$\Theta_{1\text{вых}}^{(j)} = K_{11}^{(j)} \Theta_{1\text{вх}}^{(j)} + K_{21}^{(j)} \Theta_{2\text{вх}}^{(j)} + L_{11}^{(j)} \Lambda_1(p) + L_{21}^{(j)} \Lambda_2(p), \quad (5,1)$$

$$\Theta_{2\text{вых}}^{(j)} = K_{12}^{(j)} \Theta_{1\text{вх}}^{(j)} + K_{22}^{(j)} \Theta_{2\text{вх}}^{(j)} + L_{12}^{(j)} \Lambda_1(p) + L_{22}^{(j)} \Lambda_2(p),$$

где $K^{(j)}$ определяются соотношениями (3,3), а $L^{(j)}$ равенствами:

$$L_{11}^{(j)} = -2C \beta_{10} e^{-q_{10} \xi_j \Delta_j} \frac{\text{sh } q_{10} \Delta_j}{q_{10} \Delta_j} \frac{1 + (p \tau_2^* + \beta_2^*) \Delta_j}{\Delta_1^{(j)}},$$

$$L_{21}^{(j)} = -2C \beta_{20}^* e^{-q_{10} \xi_j \Delta_j} \frac{\beta_1 \Delta_j}{1 + p \frac{1}{z_{23}}} \frac{1}{\Delta_1^{(j)}}, \quad (5,2)$$

$$L_{12}^{(j)} = -2C \beta_{10} e^{-q_{10} \xi_j \Delta_j} \frac{\text{sh } q_{10} \Delta_j}{q_{10} \Delta_j} \frac{\beta_2^* \Delta_j}{1 + p \frac{1}{z_{13}}} \frac{1}{\Delta_1^{(j)}},$$

$$L_{22}^{(j)} = -2C \beta_{20}^* e^{-q_{10} \xi_j \Delta_j} \frac{\text{sh } q_{10} \Delta_j}{q_{10} \Delta_j} \frac{1 + (p \tau_1 + \beta_1) \Delta_j}{\Delta_1^{(j)}}.$$

Структурная схема теплообменника как объекта с распределенными параметрами с учетом воздействия по скорости движения сред показана на рис. 6. Остается рассмотреть структурную схему j -го элемента теп-

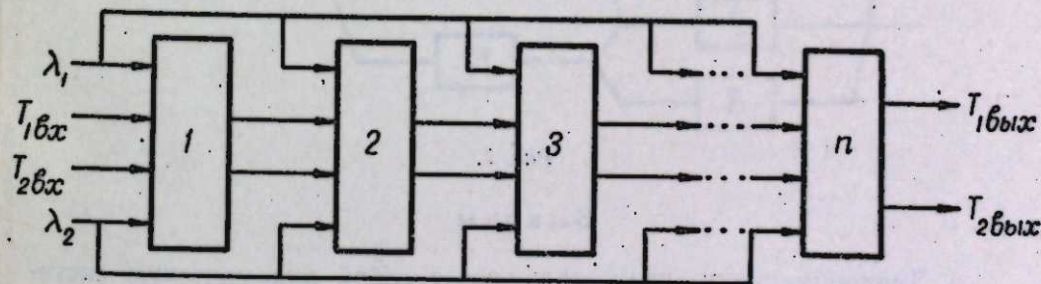


Рис. 6.

лообменника. Согласно соотношениям (3,3) и (5,2), эта схема представлена на рис. 7.

Такое представление теплообменника, как динамической системы, может быть использовано для его моделирования при помощи искусственной линии, составленной из RC-звеньев.

$$[1] = 1 - (p \tau_1 + \beta_1) \Delta_j, \quad [2] = -2C \beta_{10} e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*) \xi_j \Delta_j} \frac{\text{sh } (\beta_{10} + \beta_{20}^*) \Delta_j}{(\beta_{10} + \beta_{20}^*) \Delta_j},$$

$$[3] = \frac{\beta_2^* \Delta_j}{1 + p \frac{1}{z_{13}}}, \quad [4] = 2, \quad [5] = 2, \quad [6] = \frac{\beta_1 \Delta_j}{1 + p \frac{1}{z_{23}}},$$

$$[7] = -2C \beta_{20}^* e^{-(\beta_{10} + \beta_{20}^*) \varepsilon_j \Delta_j} \frac{\text{sh}(\beta_{10} + \beta_{20}^*) \Delta_j}{(\beta_{10} + \beta_{20}^*) \Delta_j}, \quad [8] = 1 - (p \tau_2^* + \beta_2^*) \Delta_j,$$

$$[9] = \frac{1 + (p \tau_2^* + \beta_2^*) \Delta_j}{\Delta_j^{(j)}}, \quad [10] = \frac{1}{\Delta_j^{(j)}} \cdot \frac{\beta_2^* \Delta_j}{1 + p \frac{1}{z_{13}}},$$

$$[11] = \frac{1}{\Delta_j^{(j)}} \frac{\beta_1 \Delta_j}{1 + p \frac{1}{z_{23}}}, \quad [12] = \frac{1 + (p \tau_1 + \beta_1) \Delta_j}{\Delta_j^{(j)}}.$$

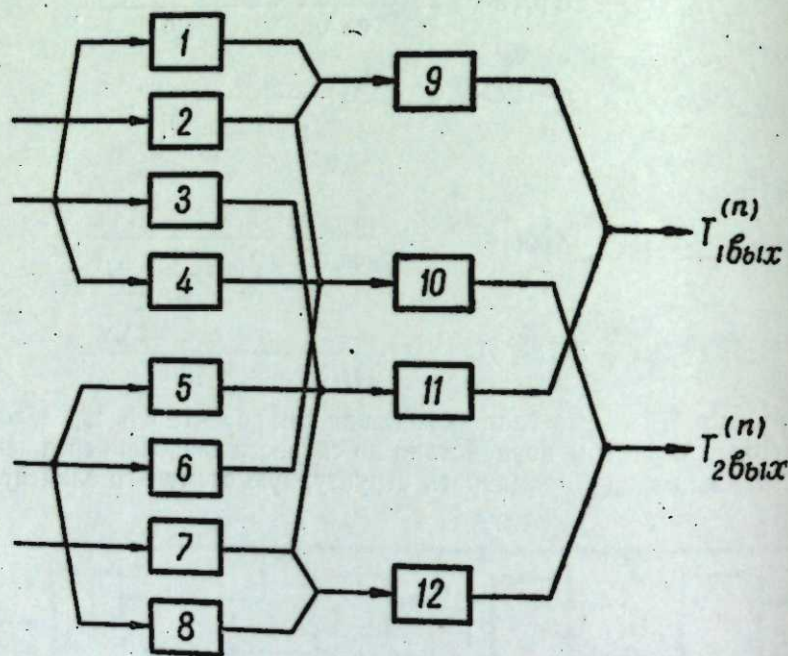


Рис. 7.

Выводы

1. Теплообменнику, представляющему собой динамическую систему с распределенными параметрами и описываемому системой дифференциальных уравнений (1,1), соответствуют две принципиально различные структурные схемы и две системы передаточных функций.
2. Первая структурная схема (§§ 2, 4) соответствует замене теплообменника с распределенными параметрами эквивалентным теплообменником с сосредоточенными параметрами. При этом передаточные функции эквивалентного теплообменника не являются дробнорациональными.
3. Вторая структурная схема (§§ 3, 5) соответствует рассмотрению теплообменника как системы с распределенными параметрами в дифференциальной форме. Здесь производится приближенная замена непрерывного распределения процесса дискретным. Передаточные

функции элементарного теплообменника являются дробнорациональными.

В зависимости от постановки задачи может быть использована та или другая структурная схема с соответствующими передаточными функциями.

Институт автоматизации и электрометрии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
5/IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников с толстыми стенками. ДАН СССР, т. 130, № 1, 1960.
2. Г. М. Фялко, Л. А. Костромитин, Б. Н. Девятков, Определение оптимальных параметров регуляторов технологических процессов. Автоматика и телемеханика; т. XIII, № 4, 1952.

Э. И. ГРИГОЛЮК

О СМЯТИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЫ
ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

Устойчивость круговой бесконечно длинной упругой цилиндрической трубы под действием внешнего равномерного давления была исследована Морисом Леви [1], который получил формулу для определения критического давления. Нами рассматривается аналогичная задача за пределом упругости материала, при этом устанавливается нижнее значение критической нагрузки на основе деформационной теории.

§ 1. Будем исходить из уравнений малых деформаций Хенки для сжимаемого материала:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E_c} \left[\sigma_x - \frac{1}{2} \sigma_y \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right) \right], \quad \epsilon_y = \frac{1}{E_c} \left[\sigma_y - \frac{1}{2} \sigma_x \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right) \right], \quad (1.1)$$

где σ_x, σ_y и ϵ_x, ϵ_y — соответственно напряжения и деформации; E — модуль Юнга; E_c — секущий модуль; ν — коэффициент Пуассона в упругой области, в пластической он равен $1/2$. Ось x направлена вдоль оси трубы, ось y — по окружности. Трубу считаем бесконечно длинной, поэтому $\epsilon_x = 0$, а из (1.1) имеем:

$$\sigma_x = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right) \sigma_y. \quad (1.2)$$

В результате

$$\epsilon_y = \frac{1}{E_c} \left[1 - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right)^2 \right] \sigma_y. \quad (1.3)$$

Интенсивности напряжения и деформации при этом будут равны:

$$\sigma_i^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y = \frac{1}{4} \left[3 + \frac{(1-2\nu)^2}{E^2} E_c^2 \right] \sigma_y^2, \quad (1.4)$$

$$e_i^2 = \frac{4}{3} (\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_x \epsilon_y) = \frac{4}{3} \epsilon_y.$$

Тогда $\delta e_i = 2\delta \epsilon_y / \sqrt{3}$ и

$$\delta E_c = \delta \left(\frac{\sigma_i}{e_i} \right) = (E_k - E_c) \frac{\delta e_i}{e_i} = (E_k - E_c) \frac{\delta \epsilon_y}{\epsilon_y}, \quad (1.5)$$

при этом $E_k = d\sigma_i / de_i$ — касательный модуль. Поэтому из (1.4)

$$\delta \sigma_i = \frac{1}{4} \left[3 + \frac{(1-2\nu)^2}{E^2} E_c^2 \right] \frac{\sigma_y}{\sigma_i} \delta \sigma_y + \frac{(1-2\nu)^2}{4E^2} E_c (E_k - E_c) \frac{\sigma_y^2}{\sigma_i} \frac{\delta \epsilon_y}{\epsilon_y}. \quad (1.6)$$

Далее исходим из

$$\delta \left(\frac{1}{E_c} \right) = \delta \left(\frac{e_i}{\sigma_i} \right) = \left(\frac{1}{E_k} - \frac{1}{E_c} \right) \frac{\delta \sigma_i}{\sigma_i}. \quad (1.7)$$

Варьируем равенство (1.2):

$$\delta \epsilon_y = \frac{1}{E_c} \left[1 - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right)^2 \right] \delta \sigma_y + \sigma_y \left[\frac{3}{4} \delta \left(\frac{1}{E_c} \right) - \frac{1}{4} \frac{(1-2\nu)^2}{E^2} \delta E_c \right]. \quad (1.8)$$

Вносим сюда выражение (1.7) после подстановки в него (1.6) и (1.2), а также формулу (1.5). Найдем

$$\delta \sigma_y = 4Ek \delta \epsilon_y. \quad (1.9)$$

Здесь

$$k = \frac{E_c E}{1 + 3 \frac{E_c}{E_k} - \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right)^2} \left\{ 1 + \frac{1}{4} \frac{(1-2\nu)^2}{E^2} E_c E_k \times \right. \\ \left. \times \frac{\left(1 - \frac{E_c}{E_k} \right) \left[6 - 3 \frac{E_c}{E_k} + \frac{(1-2\nu)^2}{E^2} E_c^2 \right]}{\left[1 - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1-2\nu}{E} E_c \right)^2 \right] \left[3 + \frac{(1-2\nu)^2}{E^2} E_c^2 \right]} \right\}. \quad (1.10)$$

На рис. 1 приведены кривые $k = k(E_k/E)$ при $E_c/E = 1,0$ и $E_c/E = 0$.

Удельный изгибающий момент δM и нормальная сила δN при выпучивании соответственно равны (h — толщина трубы)

$$\delta M = \int_{-h/2}^{h/2} \delta \sigma_y z dz, \quad \delta N = \int_{-h/2}^{h/2} \delta \sigma_y dz. \quad (1.11)$$

При вычислении (1.11) имелось в виду, что в процессе потери устойчивости разгрузки ни в одной точке не происходит.

Но

$$\delta \epsilon_y = \delta \epsilon - z \delta \kappa; \quad \delta \epsilon = \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{w}{R}, \quad \delta \kappa = \frac{1}{R^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right), \quad (1.12)$$

где w и v — соответственно прогиб и окружное перемещение точки срединной поверхности при выпучивании; $\theta R = y$; R — радиус срединной поверхности трубы.

Вводим (1.12) в (1.9), а результат подставляем в (1.11).

$$\text{Имеем} \quad \delta M = -D \delta \kappa, \quad \delta N = B \delta \epsilon, \quad (1.13)$$

$$\text{причем} \quad D = \frac{1}{3} E h^3 k, \quad B = 4 E h k. \quad (1.14)$$

Из второй и третьей формул (1.12) исключим v . Найдем

$$\delta \kappa = \delta \bar{\kappa} + \frac{\delta \epsilon}{R}, \quad \delta \bar{\kappa} = \frac{1}{R^2} \left(w + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right). \quad (1.15)$$

Тогда согласно (1.13)

$$\delta M = -D \delta \bar{\kappa} - \frac{D}{R} \delta \epsilon = -D \delta \bar{\kappa} - \frac{D}{BR} \delta N. \quad (1.16)$$

§ 2. Уравнения нейтрального равновесия элемента трубы шириной, равной единице, имеют вид:

$$\frac{\partial \delta N}{\partial \theta} - \delta Q = 0, \quad \frac{\partial \delta M}{\partial \theta} - R \delta Q = 0, \quad \frac{\partial \delta Q}{\partial \theta} + \delta N - p \left(w + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) = 0, \quad (2.1)$$

где δQ — удельная поперечная при волнообразовании.

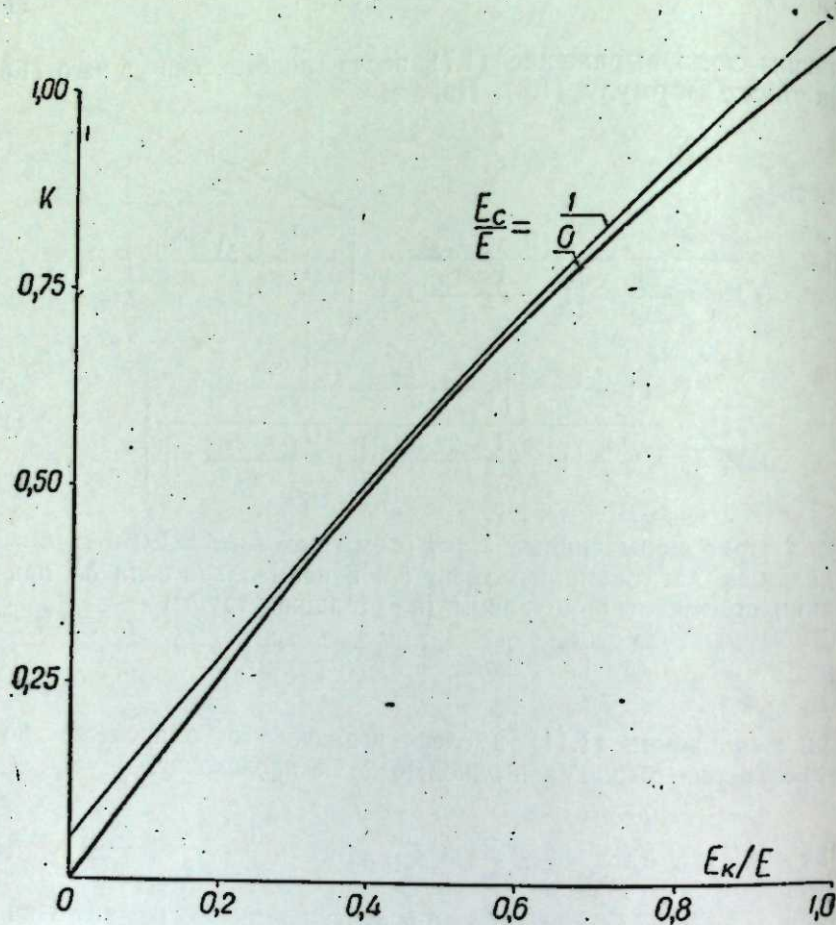


Рис. 1.

Исключая отсюда δQ , получим:

$$\frac{\partial \delta N}{\partial \theta} - \frac{1}{R} \frac{\partial \delta M}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \delta M}{\partial \theta^2} + \delta N - p \left(w + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) = 0. \quad (2.2)$$

Подставляя (1.16) в (2.2), имеем:

$$\left(1 + \frac{D}{BR^2} \right) \frac{\partial \delta N}{\partial \theta} + \frac{D}{R} \frac{\partial \delta z}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{D}{R} \frac{\partial^2 \delta z}{\partial \theta^2} + \frac{D}{BR^2} \frac{\partial^2 \delta N}{\partial \theta^2} - \delta N + pR^2 \delta z = 0. \quad (2.3)$$

Отсюда

$$\frac{\partial^2 \delta z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial \delta z}{\partial \theta} + \frac{pR^3}{D} \left(1 + \frac{D}{BR^2} \right) \frac{\partial \delta z}{\partial \theta} = 0. \quad (2.4)$$

Решение этого уравнения ищем в виде

$$\delta \bar{x} = \delta x_0 \sin n \theta. \quad (2.5)$$

($\delta x_0 = \text{const}$, n — число окружных полуволи при выпучивании).
Вводя (2.5) в (2.4), найдем

$$p = \frac{(n^2 - 1) D}{R^3 (1 + D/BR^2)}. \quad (2.6)$$

При $n = 2$ имеем минимальное критическое давление

$$p_* = \frac{3D}{R^3 (1 + D/BR^2)}. \quad (2.7)$$

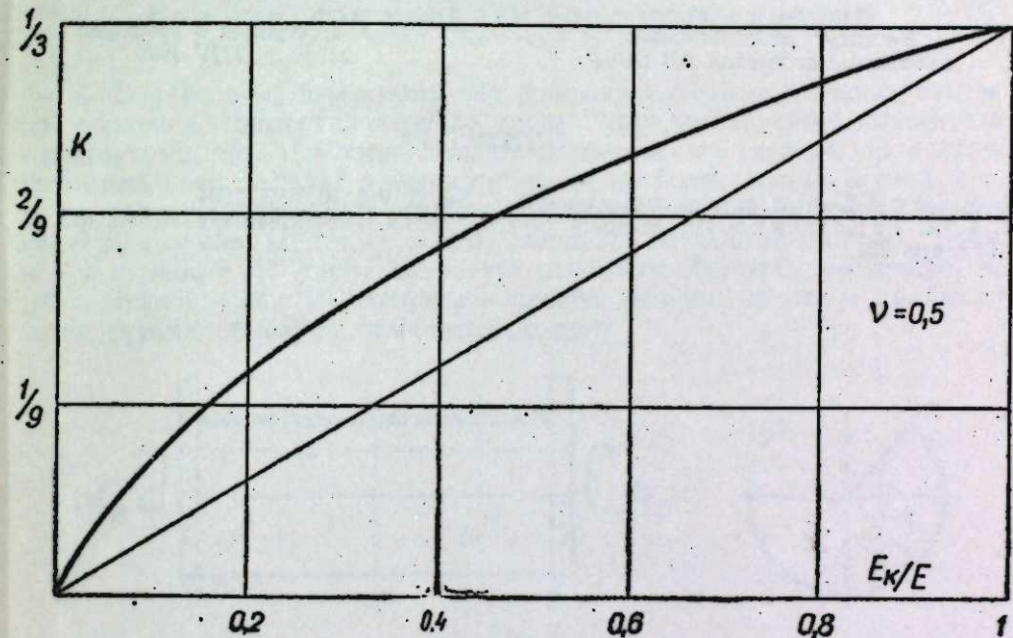


Рис. 2.

Член D/BR^2 в знаменателе отражает влияние сжимаемости оси трубы ($\nu \neq 0$) на критическое давление. Из (1.14) следует: $D/BR^2 = h^2/12R^2$. Отсюда видно, что влияние сжимаемости оси на критическое давление ничтожно мало. Тогда

$$p_* = k \frac{Eh^3}{R^3}, \quad (2.8)$$

где k определяется формулой (1.10). Из (1.10) при $E_k = E_c = E$ (упругая задача) следует формула Мориса Леви [1]:

$$k = \frac{1}{4} \frac{1}{1 - \nu^2}, \quad (2.9)$$

а для несжимаемого материала ($\nu = 1/2$) из (1.10) получим

$$k = \frac{1}{3} \frac{E_k}{E}. \quad (2.10)$$

С. П. Тимошенко [2] при расчете труб за пределом упругости вводит в формулу М. Леви вместо модуля упругости E приведенный модуль Энгессера

$$E_{np} = \frac{4E}{(1 + \sqrt{E/E_k})^2}. \quad (2.11)$$

Поэтому, согласно С. П. Тимошенко,

$$k = \frac{1}{1-\nu^2} \frac{1}{(1 + \sqrt{E/E_k})^2}, \quad (2.12)$$

откуда при $\nu = 1/2$

$$k = \frac{4}{3} \frac{1}{(1 + \sqrt{E/E_k})^2}. \quad (2.13)$$

Из рис. 2 видно, что формула (2.13) дает значительно более высокие значения, чем (2.10), на всем диапазоне отношений E_k/E .

Институт гидродинамики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
11/V 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Levy, T. Math. pure et appl. (Liouville), Ser. 3, vol. 10, p. 5, 1884.
2. С. П. Тимошенко, Устойчивость упругих систем. Гостехтеоретиздат, М., изд. 2, 1955, стр. 231.

С. И. ГАЛКИН

КРУЧЕНИЕ ОТКРЫТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ УПРУГОЙ ЗАДЕЛКЕ ТОРЦОВЫХ СЕЧЕНИЙ

1. В работе [1] было получено решение задачи о кручении открытой оболочки, подкрепленной по краям упругими в своей плоскости шпангоутами, при отсутствии осевых смещений по торцам. В настоящей статье это решение распространяется на более общий случай, когда по торцовым сечениям открытой оболочки заданы не только потоки касательных сил, но также осевые смещения, отличные от нуля. Здесь, как и в работе [1], рассматривается открытая оболочка, состоящая из двух отсеков (рис. 1), торцовые сечения которой вместе с крайними шпангоутами образуют замкнутый контур.

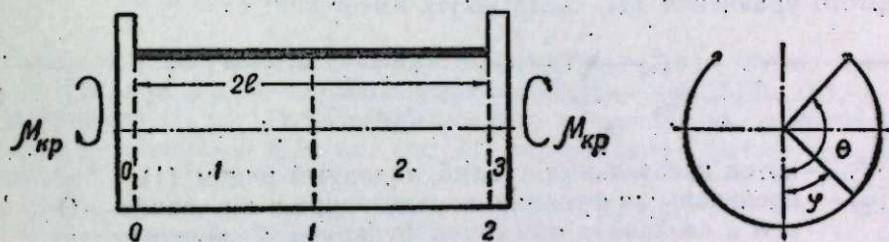


Рис. 1.

Итак, рассмотрим задачу о кручении открытой оболочки при следующих граничных условиях:

$$\Phi_0 = \Phi_2 = \frac{M_{кр}}{2\pi R^2} + \sum_{n=2,3}^{\infty} D_n \cos n\varphi, \quad -\pi \leq \varphi \leq \pi, \quad (1)$$

$$U_0 = U_2 = \frac{l}{E\delta} \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} F_n \sin n\varphi, \quad -\pi \leq \varphi \leq \pi, \quad (2)$$

где Φ_0, Φ_2 — потоки касательных усилий, приложенные к краям оболочки, U_0, U_2 — осевые смещения крайних шпангоутов, l — длина отсека оболочки, δ — толщина обшивки, R — радиус оболочки, E — модуль нормальной упругости обшивки, D_n, F_n — произвольные коэффициенты рядов.

Задача решается при следующих допущениях: обшивка работает как тонкая безмоментная оболочка, воспринимающая осевые $T(\varphi)$ и касательные $\Phi(\varphi)$ усилия; коэффициент Пуассона обшивки принимается равным нулю; упругие шпангоуты имеют конечную жесткость на изгиб в своей плоскости и равные нулю жесткости кручения и изгиба из своей плоскости. Предполагается также, что шпангоуты по контуру непрерывно связаны с обшивкой; радиус нейтральной оси шпангоута равен радиусу срединной поверхности обшивки. При этих предположе-

ниях задача сводится к решению следующей системы дифференциально-разностных уравнений [2]:

$$\begin{aligned} V_1 - V_0 + \frac{l}{2R} \frac{d}{d\varphi} (U_1 + U_0) &= \frac{l}{G\delta} \left(\Phi - \frac{Gl^2}{12ER^2} \frac{d^2\Phi}{d\varphi^2} \right), \\ \frac{2E\delta}{l} (U_1 - U_0) &= \frac{l}{R} \frac{d\Phi}{d\varphi}, \\ \bar{E}ID_\varphi^2 V_1 &= 0, \\ \bar{E}ID_\varphi^2 V_0 + R^4 (\Phi_1 - \Phi_0) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где V_k — смещения по касательной к контуру k -го шпангоута; Φ — поток касательных усилий, возникающий в отсеках оболочки;

$$D_\varphi^2(\) = \frac{d^6(\)}{d\varphi^6} + 2 \frac{d^4(\)}{d\varphi^4} + \frac{d^2(\)}{d\varphi^2}.$$

Из второго и третьего уравнений (3) с учетом (2) находим:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{l^2}{2ER\delta} \frac{d\Phi}{d\varphi} + \frac{l}{E\delta} \sum_{n=1}^{\infty} F_n \sin n\varphi, \\ V_1 &= A \cos \varphi + B; \end{aligned} \quad (4)$$

где A, B — некоторые постоянные, подлежащие определению. Решение четвертого уравнения (3), согласно [1], имеет вид:

$$V_0 = \frac{2R^4}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} \frac{\int_0^\theta f(\varphi) \cos m\varphi d\varphi - \int_0^\pi \Phi_0 \cos m\varphi d\varphi}{m^2(m^2-1)^2}, \quad (5)$$

где Φ_0 — поток касательных усилий, заданный рядом (1); $f(\varphi)$ — произвольная функция, определенная в интервале $-\theta \leq \varphi \leq \theta$ и связанная с искомой функцией Φ зависимостью

$$\Phi = f(\varphi) - \Phi_0. \quad (6)$$

Функция Φ должна при этом удовлетворять условиям [1]:

$$\begin{aligned} \left[\Phi \pm \frac{F}{R\delta} \frac{d\Phi}{d\varphi} \right]_{\varphi=\pm\theta} &= 0, \\ \int_0^\theta \Phi d\varphi = \frac{M_{кр}}{2R^2}, \quad \int_0^\theta \Phi \cos \varphi d\varphi &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где F — площадь поперечного сечения бимса, подкрепляющего продольный край открытой оболочки.

Вводя (4), (5) в первое выражение (3), получаем дифференциальное уравнение относительно $f(\varphi)$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 f(\varphi)}{d\varphi^2} - \lambda^2 f(\varphi) &= \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} \frac{\int_0^\theta f(\varphi) \cos m\varphi d\varphi}{m^2(m^2-1)^2} \cos m\varphi - \\ - \frac{d^2 \Phi_0}{d\varphi^2} + \lambda^2 \Phi_0 - \alpha \left(A \cos \varphi + B + \frac{l^2}{ER\delta} \sum_{n=1}^{\infty} F_n n \cos n\varphi \right) - \\ - \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} \frac{\int_0^\pi \Phi_0 \cos m\varphi d\varphi}{m^2(m^2-1)^2} \cos m\varphi, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\alpha = \frac{3ER^2\delta}{l^3}, \quad \lambda = \frac{R}{l} \sqrt{\frac{3E}{G}}.$$

Вводя (1) в (8), окончательно получаем:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 f(\varphi)}{d\varphi^2} - \lambda^2 f(\varphi) &= \frac{M_{кр} \lambda^2}{2\pi R^2} + \sum_{n=2}^{\infty} D_n (\lambda^2 + n^2) \cos n\varphi - \\ - \frac{l^2 \alpha}{ER\delta} \sum_{n=1}^{\infty} F_n n \cos n\varphi + \frac{M_{кр} R^2 \alpha}{EI\pi^2} \sum_{m=2}^{\infty} \frac{\sin m\theta \cos m\varphi}{m^2(m^2-1)^2} - \\ - \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=2}^{\infty} D_n \frac{\int_0^\pi \cos n\varphi \cos m\varphi d\varphi}{m^2(m^2-1)^2} \cos m\varphi + \\ + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} \frac{\int_0^\theta f(\varphi) \cos m\varphi d\varphi}{m^2(m^2-1)^2} \cos m\varphi - A \alpha \cos \varphi - B \alpha. \end{aligned} \quad (9)$$

После решения уравнения (9) относительно $f(\varphi)$ легко определяются функции V_0, Φ соответственно из выражений (5) и (6), а затем и функция U_1 из (4). Осевые усилия, возникающие в обшивке и в бимсах в сечениях 0 и 2 (см. рис. 1), определяются затем по формулам [1]:

$$T_0 = -T_2 = \frac{l}{R} \frac{d\Phi}{d\varphi}, \quad \bar{T}_0 = -\bar{T}_2 = \frac{Fl}{R\delta} \frac{d\Phi}{d\varphi} \Big|_{\varphi=\pm\theta}. \quad (10)$$

Радиальные смещения осевой линии шпангоута и изгибающие моменты, возникающие в них, определяются соответственно [2]:

$$W_2 = -W_0 = \frac{dV_0}{d\varphi} = -\frac{dV_2}{d\varphi}; \quad W_1 = \frac{dV_1}{d\varphi};$$

$$M_{из} = -\frac{\bar{E}I}{R^2} \left(\frac{d^2 V}{d\varphi^2} + \frac{dV}{d\varphi} \right).$$

Так как шпангоут 1, согласно (4), перемещается как абсолютно твердое тело, то центр кручения, вокруг которого осуществляется поворот этого сечения, можно определить по формуле [1]:

$$\rho = -R \frac{A}{B}, \quad (11)$$

где A, B — постоянные, входящие во второе выражение (4).

2. После некоторых преобразований, выполненных по аналогии с работой [1], общее решение уравнения (9) можно привести к следующему виду*:

* По условию задачи в (12) оставлены только четные члены относительно φ .

$$\begin{aligned}
 f(\varphi) = & -\frac{M_{\text{кр}}}{2\pi R^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[E_n \left(\text{ch } \lambda \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \cos m \varphi \right) + \right. \\
 & + \frac{\alpha A_n}{1 + \lambda^2} \left(\cos \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \cos m \varphi \right) + \\
 & + \frac{B_n \alpha}{\lambda^2} \left(1 + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \cos m \varphi \right) - D_n \Psi_n \cos n \varphi \left. \right] + \\
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\bar{E}_n \left(\text{ch } \lambda \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \cos m \varphi \right) + \right. \\
 & + \bar{A}_n \left(\cos \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \cos m \varphi \right) + \bar{B}_n \left(1 + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \cos m \varphi \right) + \\
 & \left. + \frac{3R}{l} F_n \left(\frac{n \cos n \varphi}{n^2 + \lambda^2} + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{4mn} \cos m \varphi \right) \right], \quad (12)
 \end{aligned}$$

где $E_n, A_n, B_n, \bar{E}_n, \bar{A}_n, \bar{B}_n$ — произвольные постоянные;

d_{jm} ($j=1, 2, 3, 4$) — коэффициенты рядов, определяемые из решения следующих бесконечных регулярных систем алгебраических уравнений [1]:

$$d_{jm} + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} b_m \sum_{l=2}^{\infty} d_{jl} \int_0^{\theta} \cos l \varphi \cos m \varphi d \varphi = -a_{jm}, \quad j=1, 2, 3. \quad (13)$$

$$d_{4mn} + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} b_m \sum_{l=2}^{\infty} d_{4ln} \int_0^{\theta} \cos l \varphi \cos m \varphi d \varphi = -a_{4mn}, \quad (14)$$

где

$$b_m = \frac{1}{\frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \int_0^{\theta} \cos^2 m \varphi d \varphi + m^2 (m^2 + \lambda^2) (m^2 - 1)^2},$$

$$a_{1m} = \frac{b_m (\lambda \text{sh } \lambda \theta \cos m \theta + m \text{ch } \lambda \theta \sin m \theta)}{m^2 + \lambda^2},$$

$$a_{2m} = \frac{1}{2} b_m \left[\frac{\sin(m-1)\theta}{m-1} + \frac{\sin(m+1)\theta}{m+1} \right], \quad a_{3m} = \frac{1}{2} b_m \frac{\sin m \theta}{m},$$

$$a_{4m} = \begin{cases} \frac{b_m m}{2(m^2 + \lambda^2)} \left(\theta + \frac{\sin 2m \theta}{2m} \right), & \text{при } m = n \quad m=2, 3 \dots \infty, \\ \frac{b_m n}{2(n^2 + \lambda^2)} \left[\frac{\sin(n-m)\theta}{n-m} + \frac{\sin(n+m)\theta}{n+m} \right], & \text{при } m \neq n, \quad n=1, 2 \dots \infty, \end{cases} \quad (15)$$

Решая системы уравнений (13), (14) методом последовательных приближений относительно d_{jm} , окончательно получаем:

$$\begin{aligned}
 d_{jm} = & -a_{jm} + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} Q_{jmk}, \quad j=1, 2, 3, \\
 d_{4mn} = & -a_{4mn} + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} Q_{4mnk}, \quad (16)
 \end{aligned}$$

где обозначено:

$$Q_{jm1} = \frac{1}{2} \sum_{l=2}^{\infty} a_{jl} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right], \quad j=1, 2, 3,$$

$$Q_{jmk} = \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{l=2}^{\infty} b_l Q_{jl(k-1)} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right], \quad j=1, 2, 3. \quad (17)$$

$$Q_{4mn1} = \frac{1}{2} \sum_{l=2}^{\infty} a_{4nl} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right],$$

$$Q_{4mnk} = \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{l=2}^{\infty} b_l Q_{4nl(k-1)} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right]. \quad (18)$$

Для определения коэффициентов $E_n, A_n, B_n, \bar{E}_n, \bar{A}_n, \bar{B}_n$ подставим (6) с учетом (1) и (12) в условия (7). После преобразований получим следующую систему алгебраических уравнений относительно этих коэффициентов:

$$\begin{aligned}
 E_n P_1 + A_n q_1 + B_n r_1 + D_n S_{1n} &= 0, \\
 E_n P_2 + A_n q_2 + B_n r_2 + D_n S_{2n} &= 0, \\
 E_n P_3 + A_n q_3 + B_n r_3 + D_n S_{3n} &= 0; \quad n=1, 2 \dots \infty. \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{E}_n P_1 + \bar{A}_n q_1 + \bar{B}_n r_1 + F_n t_{1n} &= 0, \\
 \bar{E}_n P_2 + \bar{A}_n q_2 + \bar{B}_n r_2 + F_n t_{2n} &= 0, \\
 \bar{E}_n P_3 + \bar{A}_n q_3 + \bar{B}_n r_3 + F_n t_{3n} &= 0; \quad n=1, 2 \dots \infty, \quad (20)
 \end{aligned}$$

где

$$P_1 = \text{ch } \lambda \theta + \frac{F}{R \delta} \lambda \text{sh } \lambda \theta + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \cos m \theta,$$

$$P_2 = \frac{\text{sh } \lambda \theta}{\lambda} + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \frac{\sin m \theta}{m},$$

$$\begin{aligned}
 P_3 = & \frac{\lambda \text{sh } \lambda \theta \cos \theta + \text{ch } \lambda \theta \sin \theta}{1 + \lambda^2} + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \left[\frac{\sin(m-1)\theta}{m-1} + \right. \\
 & \left. + \frac{\sin(m+1)\theta}{m+1} \right]; \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$q_1 = \cos \theta - \frac{F}{R\delta} \sin \theta + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \left(\cos m \theta - \frac{F}{R\delta} m \sin m \theta \right),$$

$$q_2 = \sin \theta + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \frac{\sin m \theta}{m},$$

$$q_3 = \frac{1}{2} \left(\theta + \frac{\sin 2\theta}{2} \right) + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \left[\frac{\sin(m-1)\theta}{m-1} + \frac{\sin(m+1)\theta}{m+1} \right]; \quad (22)$$

$$r_1 = 1 + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \left(\cos m \theta - \frac{F}{R\delta} m \sin m \theta \right),$$

$$r_2 = \theta + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \frac{\sin m \theta}{m},$$

$$r_3 = \sin \theta + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \left[\frac{\sin(m-1)\theta}{m-1} + \frac{\sin(m+1)\theta}{m+1} \right]; \quad (23)$$

$$S_{11} = S_{31} = 0, \quad S_{21} = 1, \quad D_1 = -\frac{M_{\text{кп}}}{2R^2}; \quad (24)$$

при $n \geq 2$:

$$S_{1n} = (1 - \Psi_n) \cos n \theta, \quad S_{2n} = \frac{1}{n} (1 - \Psi_n) \sin n \theta,$$

$$S_{3n} = \frac{1}{2} (1 - \Psi_n) \left[\frac{\sin(n-1)\theta}{n-1} + \frac{\sin(n+1)\theta}{n+1} \right],$$

$$\Psi_n = \left[1 - \frac{(\pi - \theta - \frac{\sin 2n \theta}{2n})}{n^2 (n^2 + \lambda^2) (n^2 - 1)^2} \cdot \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \right] \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{R^4 \alpha (\theta + \frac{\sin 2n \theta}{2n})}{EI\pi n^2 (n^2 + \lambda^2) (n^2 - 1)^2}} \right]; \quad (25)$$

$$t_{1n} = \frac{3R}{l} \left[\frac{n}{n^2 + \lambda^2} \left(\cos n \theta - \frac{Fn}{R\delta} \sin n \theta \right) + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{4mn} (\cos m \theta - \frac{Fm}{R\delta} \sin m \theta) \right], \quad n = 1, 2, \dots, \infty,$$

$$t_{2n} = \frac{3R}{l} \left(\frac{\sin n \theta}{n^2 + \lambda^2} + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{4mn} \frac{\sin m \theta}{m} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \infty,$$

$$t_{3n} = \frac{3R}{2l} \left\{ \frac{\theta + \frac{\sin 2\theta}{2}}{1 + \lambda^2} + \frac{n}{n^2 + \lambda^2} \left[\frac{\sin(n-1)\theta}{n-1} + \frac{\sin(n+1)\theta}{n+1} \right] + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{4mn} \left[\frac{\sin(m-1)\theta}{m-1} + \frac{\sin(m+1)\theta}{m+1} \right] \right\}, \quad n = 1, 2, \dots, \infty. \quad (26)$$

В результате решения системы уравнений (19), (20) получим:

$$E_n = -D_n \frac{\Delta E_n}{\Delta}, \quad A_n = -D_n \frac{1 + \lambda^2}{\alpha} \frac{\Delta A_n}{\Delta},$$

$$B_n = -D_n \frac{\lambda^2}{\alpha} \frac{\Delta B_n}{\Delta}, \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (27)$$

$$\bar{E}_n = F_n \frac{\bar{\Delta} E_n}{\Delta}, \quad \bar{A}_n = F_n \frac{1 + \lambda^2}{\alpha} \frac{\bar{\Delta} A_n}{\Delta},$$

$$\bar{B}_n = F_n \frac{\lambda^2}{\alpha} \frac{\bar{\Delta} B_n}{\Delta}, \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (28)$$

где обозначено:

$$\Delta = P_1(q_2 r_3 - q_3 r_2) - P_2(q_1 r_3 - q_3 r_1) + P_3(q_1 r_2 - q_2 r_1); \quad (29)$$

$$\Delta E_n = S_{1n}(q_2 r_3 - q_3 r_2) - S_{2n}(q_1 r_3 - q_3 r_1) + S_{3n}(q_1 r_2 - q_2 r_1),$$

$$\Delta A_n = S_{1n}(P_3 r_2 - P_2 r_3) + S_{2n}(P_1 r_3 - P_3 r_1) - S_{3n}(P_1 r_2 - P_2 r_1),$$

$$\Delta B_n = S_{1n}(P_2 q_3 - P_3 q_2) - S_{2n}(P_1 q_3 - P_3 q_1) + S_{3n}(P_1 q_2 - P_2 q_1), \quad n = 1, 2, \dots, \infty, \quad (30)$$

$$\bar{\Delta} E_n = -t_{1n}(q_2 r_3 - q_3 r_2) + t_{2n}(q_1 r_3 - q_3 r_1) - t_{3n}(q_1 r_2 - q_2 r_1),$$

$$\bar{\Delta} A_n = -t_{1n}(P_3 r_2 - P_2 r_3) - t_{2n}(P_1 r_3 - P_3 r_1) + t_{3n}(P_1 r_2 - P_2 r_1),$$

$$\bar{\Delta} B_n = -t_{1n}(P_2 q_3 - P_3 q_2) + t_{2n}(P_1 q_3 - P_3 q_1) - t_{3n}(P_1 q_2 - P_2 q_1), \quad n = 1, 2, \dots, \infty. \quad (31)$$

Вводя (27), (28), (12) в (6), получаем окончательное выражение для потока касательных сил, возникающих в отсеках оболочки, в следующем виде:

$$\Phi = - \sum_{n=1, 2}^{\infty} D_n \left\{ \frac{1}{\Delta} \left[\Delta E_n \left(\operatorname{ch} \lambda \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \cos m \varphi \right) + \Delta A_n (\cos \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \cos m \varphi) + \Delta B_n \left(1 + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \cos m \varphi \right) \right] - K_n (1 - \Psi_n) \cos n \varphi \right\} + \sum_{n=1}^{\infty} F_n \left\{ \frac{1}{\Delta} \left[\bar{\Delta} E_n \left(\operatorname{ch} \lambda \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{1m} \cos m \varphi \right) + \bar{\Delta} A_n \left(\cos \varphi + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{2m} \cos m \varphi \right) + \bar{\Delta} B_n \left(1 + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{3m} \cos m \varphi \right) \right] + \frac{3R}{l} \left(\frac{n \cos n \varphi}{\lambda^2 + n^2} + \frac{2R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{m=2}^{\infty} d_{4mn} \cos m \varphi \right) \right\}. \quad (32)$$

Все прочие компоненты напряженного и деформированного состояния открытой оболочки легко определяются теперь из выражений (10) после подстановки в них выражений (32), (5). Например, касательные смещения крайних шпангоутов будут:

$$V_0 = -V_2 = -\frac{2R^4}{EI\pi\Delta} \sum_{n=1,2,\dots,m-2}^{\infty} \sum_{m-2}^{\infty} D_n \frac{\Delta_{En}\chi_{1m} + \Delta_{An}\chi_{2m} + \Delta_{Bn}\chi_{3m} + \Delta\chi_{4mn}}{m^2(m^2-1)^2} \times \\ \times \cos m\varphi + \frac{2R^4}{EI\pi} \sum_{n=1,2,\dots,m-2}^{\infty} \sum_{m-2}^{\infty} F_n \frac{\bar{\Delta}_{En}\chi_{1m} + \bar{\Delta}_{An}\chi_{2m} + \bar{\Delta}_{Bn}\chi_{3m} + \Delta\chi_{5mn}}{m^2(m^2-1)^2} \cos m\varphi, \quad (33)$$

где

$$\chi_{1m} = \frac{\lambda \operatorname{sh} \lambda\theta \cos m\theta + m \operatorname{ch} \lambda\theta \sin m\theta}{m^2 + \lambda^2} + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} d_{1m} \left(\theta + \frac{\sin 2m\theta}{2m} \right) + \\ + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{\substack{i=2 \\ i \neq m}}^{\infty} d_{1i} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right], \\ \chi_{2m} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin(m-1)\theta}{m-1} + \frac{\sin(m+1)\theta}{m+1} \right] + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} d_{2m} \left(\theta + \frac{\sin 2m\theta}{2m} \right) + \\ + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{\substack{i=2 \\ i \neq m}}^{\infty} d_{2i} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right], \\ \chi_{3m} = \frac{\sin m\theta}{m} + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} d_{3m} \left(\theta + \frac{\sin 2m\theta}{2m} \right) + \frac{R^4 \alpha}{EI\pi} \sum_{\substack{i=2 \\ i \neq m}}^{\infty} d_{3i} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \right. \\ \left. + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right], \\ \chi_{4mn} = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[\pi + (\Psi_n - 1) \left(\theta + \frac{\sin 2n\theta}{2n} \right) \right], & \text{при } m = n \\ \frac{1}{2} (\Psi_n - 1) \left[\frac{\sin(m-n)\theta}{m-n} + \frac{\sin(m+n)\theta}{m+n} \right], & \text{при } m \neq n \end{cases} \\ \chi_{5mn} = \begin{cases} \frac{3R}{2l} \left\{ \frac{m}{m^2 + \lambda^2} \left(\theta + \frac{\sin 2m\theta}{2m} \right) + \frac{6d_{4mn}}{c_1 d_1^2 \pi} \left(\theta + \frac{\sin 2m\theta}{2m} \right) + \right. \\ \left. + \sum_{\substack{i=2 \\ i \neq m}}^{\infty} d_{4ni} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} - \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right] \right\}, & \text{при } m = n, \\ \frac{3R}{2l} \left\{ \frac{n}{n^2 + \lambda^2} \left[\frac{\sin(m-n)\theta}{m-n} + \frac{\sin(m+n)\theta}{m+n} \right] + \frac{6d_{4mn}}{c_1 d_1^2 \pi} \left(\theta + \frac{\sin 2m\theta}{2m} \right) + \right. \\ \left. + \frac{6}{c_1 d_1^2 \pi} \sum_{\substack{i=2 \\ i \neq m}}^{\infty} d_{4ni} \left[\frac{\sin(m-i)\theta}{m-i} + \frac{\sin(m+i)\theta}{m+i} \right] \right\}, & \text{при } m \neq n. \end{cases} \quad (34)$$

Положение центра кручения сечения 1 оболочки, которое в силу симметрии деформируется как абсолютно твердое тело, определится из формулы (11). После подстановки (27), (28) в (11) получим:

$$\rho = -\frac{(1 + \lambda^2)R}{\lambda^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\Delta_{An}}{\Delta_{Bn}} - \frac{\bar{\Delta}_{An}}{\bar{\Delta}_{Bn}} \right). \quad (35)$$

Из выражения (35) видно, что положение центра кручения зависит не только от геометрии сечения, но и от относительной длины отсека $\frac{l}{R}$, отношение модулей упругости материала обшивки $\frac{E}{G}$, площади поперечного сечения бимсов, жесткости шпангоутов, характера нагружения внешней нагрузкой и осевых смещений краев оболочки. От этих параметров зависит и угол поворота сечений оболочки.

Если всюду положить $D_n = 0$, то в итоге получим решение задачи для случая нагружения краев оболочки только самоуравновешенной системой осевых сил.

Формула (35), например, для этого случая будет иметь вид:

$$\rho = \frac{(1 + \lambda^2)R}{\lambda^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\bar{\Delta}_{An}}{\bar{\Delta}_{Bn}}. \quad (36)$$

Угол закручивания сечения 1 при этом будет [1]:

$$\bar{\varphi} = \frac{\lambda^2}{\Delta \alpha R} \sum_{n=1}^{\infty} F_n \bar{\Delta}_{Bn}. \quad (37)$$

Из формулы (37) следует интересный вывод: нагружение края открытой оболочки только системой самоуравновешенных осевых сил приводит к закручиванию сечений открытой оболочки.

Поступила в редакцию
26/XII 1959

ЛИТЕРАТУРА

- С. И. Галкин, Кручение круговой цилиндрической открытой оболочки, состоящей из двух отсеков, с упругими шпангоутами. ГКАТ, 1957.
- Л. И. Балабух, Прочность и устойчивость шпангоутов, связанных тонкой обшивкой. Тр. МАП, № 681, 1945.

Л. С. ПОПЫРИН

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОНЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ
КРУПНЫХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ТУРБИН

Правильный выбор конечного давления пара в конденсаторе и величины потерь с выходной скоростью последней ступени турбины является одним из важных путей повышения экономичности мощных конденсационных электростанций. Техничко-экономическому обоснованию выбора этих величин посвящены выполненные в последнее время работы ЦКТИ и ЭНИН АН СССР [1—3]. В указанных статьях изложены результаты исследований влияния стоимости топлива и условий водоснабжения на выбор конечных параметров паросилового цикла, профиля части низкого давления турбины и характеристики конденсационного устройства. Несмотря на то, что обе работы выполнены применительно к турбине К-200-130 (ПВК-200) и имеют ряд других общих исходных данных, результаты исследований, как это уже отмечалось [4], содержат существенные расхождения. В значительной мере это объясняется различием в подходе к оценке влияния некоторых факторов в принятых методиках исследования. Главное в технико-экономических расчетах — методика исследования. Неправильная, а иногда просто недостаточно обоснованная методика, не учитывающая те или иные факторы, может привести к иным количественным, а иногда и качественным выводам. В настоящей статье дается анализ некоторых вопросов методики проведения расчетов по определению рациональных конечных параметров паровых турбин.

Выбор расчетного значения температуры охлаждающей воды

Величина конечного давления пара зависит от ряда факторов, в том числе от температуры охлаждающей воды. В настоящее время расчетное значение этой величины в практике заводов-изготовителей, научных и проектных организаций определяется по значению температуры охлаждающей воды, равной 10—12°С, или, в лучшем случае, по среднегодовой температуре охлаждающей воды для данного конкретного климатического района и вида системы водоснабжения. Этот метод определения конечного давления пара дает значительную погрешность, так как не учитывает сезонные изменения температуры охлаждающей воды в течение года. Между тем, как видно из рис. 1, температура охлаждающей воды в течение года значительно колеблется.

Более точен, но несколько сложнее метод расчета конечного давления по среднемесячным значениям температур охлаждающей воды, который позволяет учесть влияние ее температурных колебаний в течение года на конечное давление пара, а следовательно, и на развиваемую турбиной мощность.

Сопоставление результатов расчетов, выполненных обоими методами применительно к турбине К-200-130 ЛМЗ при различных условиях ее работы, показано на рис. 2. Величина расхождения при определении

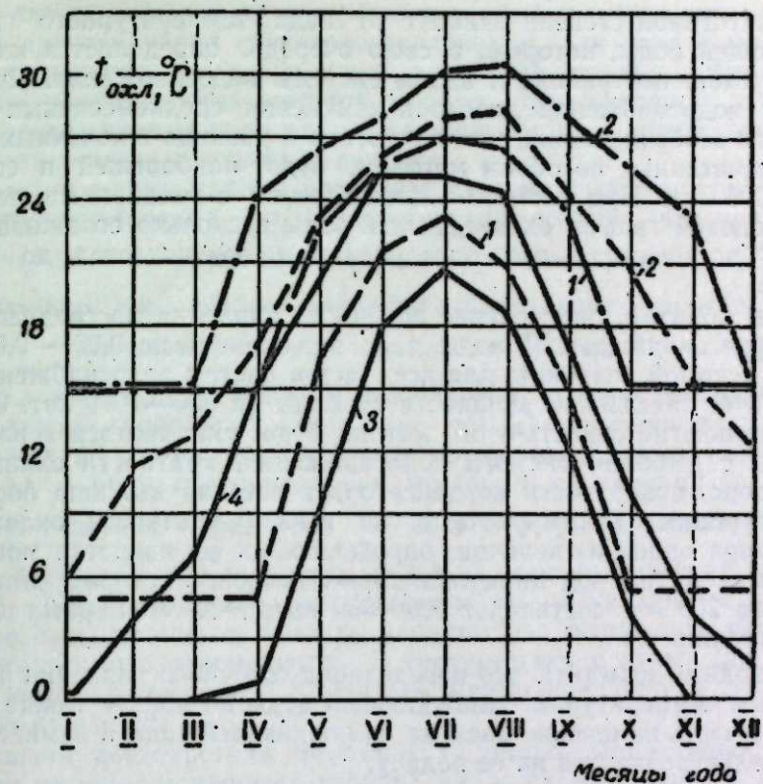


Рис. 1. Изменение температуры охлаждающей воды в течение года.

— прямоточная система водоснабжения, — — — система водоснабжения с прудами-охладителями, — · — · — система водоснабжения с градирнями; 1 — район Свердловска; 2 — район Баку; 3 — река Обь (Новосибирск); 4 — река Аму-Дарья (Ташкент).

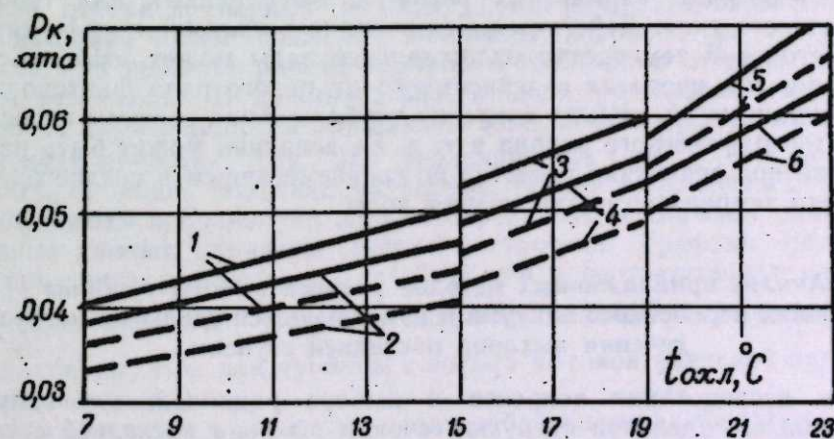


Рис. 2. Сравнение зависимостей конечного давления p_k , подсчитанного по двум методам, от температуры охлаждающей воды $t_{охл}$, кратности охлаждения m и вида системы водоснабжения.

— расчет по среднемесячным значениям $t_{охл}$; — — — расчет по среднегодовым значениям $t_{охл}$; 1 — при $m = 60$ и 2 — при $m = 90$ для прямоточного водоснабжения; 3 — при $m = 60$ и 4 — при $m = 90$ для системы водоснабжения с прудами-охладителями; 5 — при $m = 60$ и 6 — при $m = 90$ для системы водоснабжения с градирнями.

p_k в значительной степени зависит от вида температурного графика охлаждающей воды, который, в свою очередь, определяется климатическими условиями района и видом системы водоснабжения. При прямом водоснабжении диапазон изменения среднемесячных температур воды особенно велик, соответственно и разница в конечных давлениях, подсчитанных по обоим методам, будет наибольшей и составит 0,005—0,006 ата. При системе водоснабжения с градирнями температурный годовой график охлаждающей воды несколько сглаживается, а величина погрешности при определении p_k уменьшается до 0,003—0,004 ата.

Таким образом, определение конечного давления по среднегодовой температуре охлаждающей воды дает заниженное на 0,003—0,006 ата значение искомой величины для всех видов систем водоснабжения, что соответствует завышению мощности турбины на 600—1000 квт. Особенно значительно неточность этого метода будет сказываться в расчетах, связанных с выбором системы водоснабжения, кратности охлаждения конденсатора, поверхности конденсатора и сечения выхлопа последней ступени турбины. Так, в расчетах по выбору кратности охлаждения конденсатора одной из величин, определяющих ее, является мощность, расходуемая на привод циркуляционных насосов, которая для блока мощностью 200 мвт составляет 500—800 квт, т. е. соизмерима с величиной погрешности.

Необходимо отметить, что определение конечного давления по среднемесячным температурам охлаждающей воды позволяет также наиболее точно учесть изменение расхода охлаждающей воды в зимнее время и расход электроэнергии на ее подачу.

В работе ЦКТИ [3] вместо расчета по среднемесячным значениям температур охлаждающей воды при определении конечного давления рекомендуется пользоваться значениями эффективных температур*, которые принимаются на 2—3° С выше среднегодовых значений температур охлаждающей воды.

С этой рекомендацией нельзя полностью согласиться, так как она дана на основе ряда вариантных расчетов, выполненных для турбины определенного типа. Действительная разница в значениях эффективной и среднегодовой температур охлаждающей воды может изменяться в более широких пределах в зависимости от целого ряда факторов: характеристики части низкого давления турбины, вида системы водоснабжения, географического района и т. д. Ее величина может быть найдена только при сравнении расчетов по среднемесячным и среднегодовым значениям температур охлаждающей воды.

Анализ приближенных методов расчета работы турбины в условиях переменного вакуума и изменяющихся удельных нагрузок сечения выхлопа последней ступени

Для исследования вопросов о выборе рационального вакуума и оптимальной удельной нагрузки сечения выхлопа последней ступени весьма важно располагать данными, показывающими влияние вакуума в конденсаторе на экономичность паровой турбины. Определение указанной зависимости расчетным путем требует проведения длительных

* Под эффективной температурой охлаждающей воды понимается такое постоянное значение ее температуры, которое приводит при прочих равных условиях к тому же энергетическому эффекту, что и переменная температура, изменяющаяся по заданному графику.

и кропотливых расчетов по построению графиков изменения мощности турбины при изменении конечного давления p_k для ряда номинальных удельных нагрузок сечения выхлопа последней ступени. Это вызвало появление приближенных методов расчета, позволяющих достаточно просто строить кривые поправок на влияние вакуума, исходя из небольшого числа заданных исходных величин.

Исследуя режим работы последней ступени турбины при переменном конечном давлении, А. С. Зильберман [5] показал, что при некоторых допущениях приращение мощности на единицу расхода $\left(\frac{\Delta N_9}{D_k}\right)$ для данной турбины с изменением давления отработавшего пара (p_k) можно принимать зависящим только от отношения $\frac{p_k}{p_{кр}}$, где $p_{кр}$ — критическое

конечное давление пара. На этом основании и с учетом постоянного для каждой данной турбины параметра ($u \cdot \cos \beta_2$) при скоростях, меньших критических (т. е. при $p_k > p_{кр}$), им предложена сетка поправок на вакуум для турбин, где приращение мощности на единицу расхода дано в зависимости от параметров $\frac{p_k}{p_{кр}}$ и $u \cdot \cos \beta_2$. Для режима работы

последней ступени при скоростях, больших, чем критические (т. е. при $p_k < p_{кр}$), удельное изменение мощности, кроме указанных выше параметров, зависит еще от угла β_2 , входящего в выражение функции в виде независимого переменного. В соответствии с этим для режима закритического истечения А. С. Зильберманом предложена серия сеток поправок на вакуум.

Большим достоинством метода А. С. Зильбермана («обобщенные» поправки на вакуум паровых турбин) является возможность быстрого определения поправки на вакуум для любого режима работы любой турбины по нескольким характерным размерам последней ступени. Однако поправки, найденные по кривым «обобщенных» поправок, будут лишь приближенными, так как само построение кривых выполнено при некоторых упрощающих задачах допущениях. Наибольшую погрешность вносит принятый способ учета влияния изменения величины регенеративного отбора в первый по ходу конденсата подогреватель низкого давления путем снижения величины поправки на вакуум на 7% для всех режимов работы турбины и независимо от вида тепловой схемы установки. В действительности доля уменьшения изменения мощности из-за изменения величины отбора на регенерацию колеблется в широких пределах. Так, при значениях $p_k < p_{кр}^{расч}$ она достигает 30—50% от общей поправки на вакуум. Кроме того, точность кривых «обобщенных» поправок на вакуум определенным образом зависит от исходных данных, принятых при их построении. Графики построены для исходного режима с $p_{кр} = 0,0492$ ата в соответствии с удельной нагрузкой выходной площади лопаток последней ступени $\frac{D_k}{F_d} = 48,5$ т/м²час, т. е. для турбины с весьма высокой удельной нагрузкой сечения выхлопа.

Для суждения о точности метода «обобщенных» поправок на вакуум сделано сравнение результатов, найденных по этому методу, с данными, полученными на основании детального расчета. Расчеты, выполненные применительно к турбине К-200-130 с двумя, тремя и четырьмя выхлопами в части низкого давления, показывают, что кривые, построенные по методу «обобщенных» поправок, дают завышение экономичности турбины на 500—800 квт при давлениях в конденсаторе ниже расчетного значения и занижение экономичности турбины на

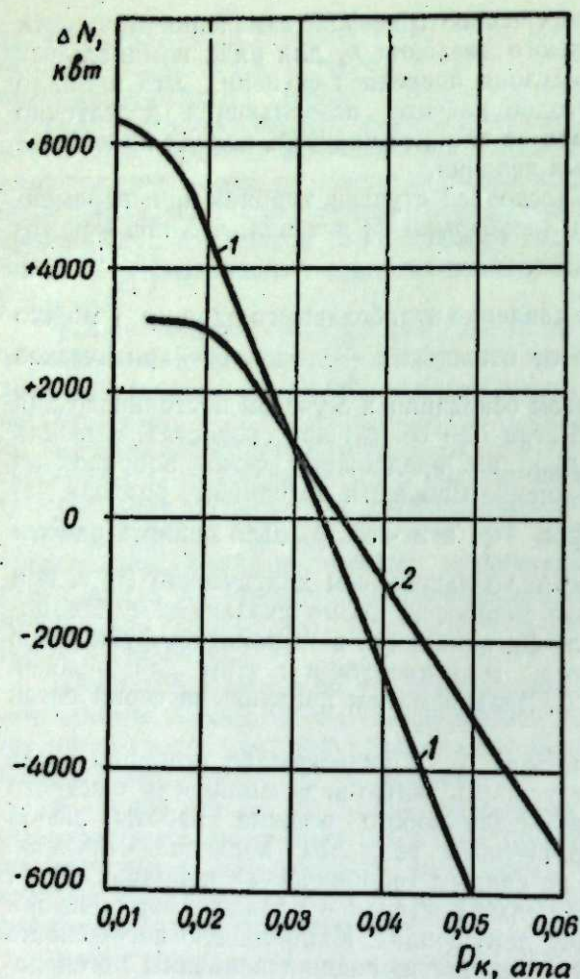


Рис. 3. Изменение мощности турбины К-200-130 (ПВК-200) с четырьмя выхлопами в части низкого давления в зависимости от давления в конденсаторе.

1 — при расчетном давлении в конденсаторе 0,02 ата,
2 — при расчетном давлении в конденсаторе 0,035 ата.

при исходном $p_k = 0,020$ ата ($\beta_2 = 31^\circ$) и при исходном $p_k = 0,035$ ата ($\beta_2 = 18^\circ$).

Иногда в практике расчетов по определению необходимых размеров выходной части турбины для учета влияния конечного давления на экономичность паровых турбин пользуются также данными фирмы Джeneral Электрик [6, 7] и методом Келлера и Даунса [8]. В материалах фирмы Джeneral Электрик потеря с выходной скоростью дана в зависимости от величины расчетной скорости выхода по осевому направлению. На графике представлена серия переплетающихся кривых, отражающая отличия в конструктивном осуществлении отдельных турбин. Необходимо отметить очень большой разброс этих кривых: $\pm (1,5-6,5) \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ или $\pm (12-40) \%$ от $h_{ис}$ по усредненной кривой. Однако имеющиеся данные не позволяют точно установить причины этого разброса и выявить влияние того или иного фактора на характер протекания кривых. В частности, невозможно установить влияние удельной нагрузки

600—800 кат при p_k выше расчетного значения.

К значительным погрешностям приводит допущаемая иногда неправильная трактовка имеющегося в методике указания о произвольности выбора исходного режима при построении кривой поправок на вакуум. Это указание является безусловно правильным для построения кривой поправок на вакуум для турбины с заданными характерными размерами последней ступени (u и β_2). Но нельзя распространять это положение на часто встречающиеся при определении оптимального сечения выхлопа турбины случаи, когда задана только средняя окружная скорость лопатки u . В подобных случаях выбор исходного значения p_k определяет и соответствующее значение эффективного угла β_2 , а вместе с этим и характер кривых поправок на вакуум. Последнее хорошо видно на рис. 3, где для турбины К-200-130 (ПВК-200) с четырьмя выхлопами в части низкого давления приведены кривые, построенные

выхлопа на величину потери с выходной скоростью. Поэтому материалы фирмы Джeneral Электрик нельзя признать пригодными для использования в исследованиях, проводимых применительно к отечественным турбинам.

Келлером и Даунсом предложен метод подсчета изменений удельного расхода тепла при изменении конечного давления p_k , основанный на анализе испытаний турбин фирмы Джeneral Электрик. Этот метод представляет собой модификацию метода «обобщенных» поправок на вакуум А. С. Зильбермана. Авторами установлена связь между удельным расходом тепла и отношением $\frac{p_k}{p_{пред}}$ для турбины с регенерацией

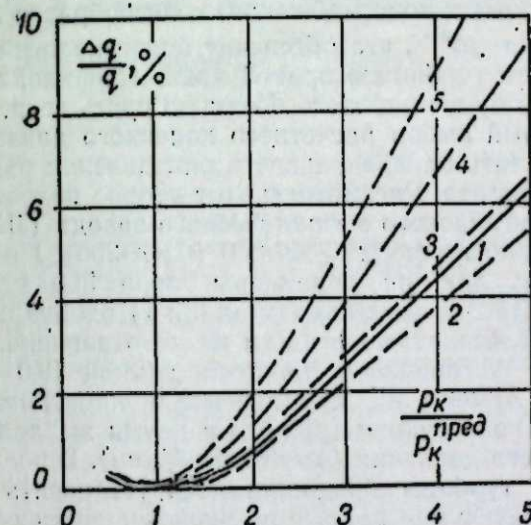


Рис. 4. Изменение удельного расхода тепла при изменении конечного давления.

1 — по методу Келлера и Даунса, 2 — при одном выхлопе в ч. и. д., 3 — при двух выхлопах в ч. и. д., 4 — при трех выхлопах в ч. и. д., 5 — при четырех выхлопах в ч. и. д. } по результатам детального расчета для турбины К-200-130

при постоянном расходе свежего пара и неизменных начальных параметрах (кривая 1, рис. 4). Указанная универсальная зависимость поправок на p_k , так же как рассмотренная выше методика А. С. Зильбермана, основана на ряде допущений: в ней не учитывается изменение величины регенеративного отбора пара в ПНД № 1 и влияние удельных нагрузок площади выхлопа и выбора расчетного значения конечного давления на вид универсальной кривой. Эти допущения, а также конструктивные отличия последних ступеней отечественных турбин и турбин фирмы Джeneral Электрик могут привести к существенной погрешности при использовании данного метода. Сопоставление результатов расчетов по методу Келлера и Даунса (кривая 1) и результатов детального расчета применительно к турбине К-200-130 с разным числом выхлопов в части низкого давления (кривые 2—5) приведено на рис. 4. Особенно значительная величина погрешности при подсчете изменений удельного расхода тепла (до 50—100%) получается для турбин с малыми удельными нагрузками сечения выхлопа.

Выбор расчетного значения конечного давления $p_k^{расч}$

Выше указывалось, что принятие того или иного значения расчетного конечного давления существенно влияет на характер кривой зависимости изменения мощности турбины от вакуума (см. рис. 3) и тем самым на экономичность работы турбоустановки. В настоящее время все крупные отечественные конденсационные турбины рассчитываются

на конечное давление 0,03—0,035 ата. Такой подход не позволяет учесть в достаточной степени реальные температурные условия систем водоснабжения в различных климатических районах. Между тем из рассмотрения кривых рис. 3 видно, что для турбин с развитым сечением выхлопа, установка которых оправдывается в районах с низкой температурой охлаждающей воды, целесообразно принятие меньшего значения $p_k^{расч}$. Это позволит повысить мощность (или экономичность) турбины на 0,5—1% при работе с глубоким вакуумом. Расчеты показывают, что в ряде районов (северо-запад и центр Европейской части СССР, Урал, Сибирь и др.) такое повышение мощности (или экономичности) может быть использовано в течение 7—9 месяцев, т. е. большую часть года. Для турбин, предназначенных к работе в южных районах или при неблагоприятных условиях водоснабжения, целесообразно принятие более высокого значения $p_k^{расч}$, что обеспечит более пологий наклон кривой падения мощности турбины в правой части графика, в соответствии с которой турбины будут работать большую часть года.

Недостаточно обоснованный выбор расчетного конечного давления турбины может заметно повлиять на правильность определения рациональной конструкции турбоагрегата. Рассмотрим этот вопрос подробнее на примере проработок Ленинградского металлического завода (ЛМЗ) по конструктивному выполнению турбины К-300-300 (СКК-300). Проект турбины мощностью 300 тыс. кВт на параметры пара 300 ата и 650/565/565°С был выполнен ЛМЗ в двух вариантах [9]: 1) одновальная конструкция турбины с тремя выхлопами в части низкого давления. В последней ступени турбины установлены лопатки длиной 840 мм. Предусмотрена возможность замены их в дальнейшем лопатками с $l_n = 940$ мм, 2) двухвальная конструкция турбины с двумя выхлопами пара в тихоходной части низкого давления ($n = 1500$ об/мин). В последних ступенях этого варианта турбины предполагалось установить лопатки длиной 1150 мм. Сравнительные данные по экономичности одновального и двухвального вариантов турбоагрегатов, представленные ЛМЗ для расчетного конечного давления $p_k^{расч} = 0,035$ ата, приведены в таблице. Как видно из этих данных, экономичность двухвального

Таблица

Величина потери с выходной скоростью	Размерность	Одновальный вариант	Двухвальный вариант
При $p_k = 0,035$ ата	ккал	10,2	6,1
	кг		
» »	%	2,0	1,2
При $p_k = 0,03$ ата	ккал	14,1	8,3
	кг		
» »	%	2,8	1,6
При $p_k = 0,025$ ата	ккал	19,3	10,8
	кг		
» »	%	3,8	2,1

варианта турбоагрегата только на 0,8% выше экономичности одновального варианта при установке в последней ступени лопатки с $l_n = 840$ мм. В случае применения лопаток с $l_n = 940$ мм преимущество двухвального агрегата по экономичности будет еще меньше. Из этих соображений авторы проекта сделали вывод о нерентабельности более дорогого двухвального варианта турбоустановки. Однако они не учли, что для ряда

районов Советского Союза (Северо-запад, Центр, Урал), в которых только и целесообразна установка турбин типа К-300-300, при благоприятных условиях водоснабжения величина конечного давления большую часть года будет существенно ниже принятого в расчетах ЛМЗ значения. В этом случае, т. е. при работе агрегата в условиях глубокого вакуума, преимущества двухвального варианта будут более значительны. Если произвести сравнение вариантов турбоагрегатов по экономичности при более низких значениях конечного давления ($p_k = 0,025$ — $0,030$ ата), то экономичность двухвального агрегата оказывается выше экономичности одновального агрегата на 1,2—1,7% (см. табл.). Такие цифры повышения экономичности могут изменить выводы ЛМЗ о нецелесообразности применения двухвальной конструкции турбины при проведении более детальных технико-экономических расчетов.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
3/1 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Стырикович, Г. А. Матвеев, Л. С. Попырин, Выбор конечного давления для ГРЭС большой мощности. Теплоэнергетика, № 11, 1958.
2. М. А. Стырикович, Г. А. Матвеев, Л. С. Попырин, Выбор конечного давления и проходных сечений последних ступеней конденсационных паровых турбин большой мощности. Электрические станции, № 3, 1959.
3. А. Э. Гельтман, Р. В. Цукерман, Г. В. Шляхова, Д. М. Будняцкий, Выбор рационального вакуума для мощных конденсационных турбин. Электрические станции, № 3, 1959.
4. Л. Д. Берман, Я. М. Рубинштейн, О выборе размеров выхлопной части и конденсатора турбины. Электрические станции, № 4, 1959.
5. А. С. Зильберман, «Обобщенные» поправки на вакуум паровых турбин. Советское котлотурбостроение, № 2, 1945.
6. C. W. Elston, P. H. Knowlton. Transactions ASME, № 8, 1952, P. 1389—1399.
7. В. П. Лобанов, Новые данные о к.п.д. турбины высокого давления. Теплоэнергетика, № 4, 1954.
8. A. Keller, J. E. Downs. Transactions ASME, № 3, 1954.
9. Технический проект паровой турбины СКК-300 ЛМЗ, 1958.

Е. П. ГУСЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ К. П. Д. ХАРАКТЕРНЫХ СХЕМ
НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Вопрос о величине к. п. д. настроенных на полуволну линий электропередач (ЛЭП) в настоящее время мало исследован. В литературе [1, 2] имеются указания, что он будет низким, значительно ниже, чем к. п. д. компенсированных линий той же длины. Это обстоятельство является одним из пунктов, по которому оспаривается целесообразность их практического применения. Ошибочность таких суждений уже отмечалась в литературе [3], тем не менее подробное исследование этого вопроса необходимо.

В настоящей работе исследуются наиболее благоприятные по режимам напряжений симметричные электропередачи и дается оценка к. п. д. линий электропередач, настроенных на полуволну по различным схемам, путем сравнения его с к. п. д. компенсированных линий той же длины.

Необходимость такого сравнения обусловлена тем, что электропередач протяженностью 2000—2500 км при номинальном напряжении 750—800 кВ пока еще нет, поэтому многие их параметры (например, потери на корону, потери в настраивающих (НУ) и компенсирующих (КУ) устройствах и т. д.) можно определить только ориентировочно. Таким образом, выводы о целесообразности того или иного типа передачи могут быть сделаны лишь путем сравнения экономичности рассматриваемых вариантов при одинаковых исходных условиях.

Поскольку нет возможности исследовать в общем виде все многообразие возможных схем настройки на полуволну, нами произведено исследование максимального значения к. п. д. и его изменения, в зависимости от нагрузки, для наиболее характерных схем, у которых уже исследована пропускная способность, удельный расход НУ, установившийся режим к. з. и другие характеристики.

Схемы настроенных электропередач, которые рассмотрены ниже, можно разделить на три группы: 1) схемы с продольными индуктивностями; 2) схемы с поперечными емкостями; 3) комбинированные схемы (включающие продольные индуктивности и поперечные емкости).

1. Режим максимального к. п. д. точно настроенных электропередач

Для симметричных линий электропередач, точно настроенных на полуволну, т. е. при выполнении условий (1 — приложение) выражения для исследования к. п. д., приведенные в нашей предыдущей работе [4], значительно упрощаются.

Используя [4], коэффициенты потерь, по данным концам и начала, электропередачи определим следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} K_{1xx} &= K_{2xx} = Re(A_0) \cdot Re(C_0) \\ K_{1kz} &= K_{2kz} = Re(A_0) \cdot Re(B_0) \\ K_{1p} &= -K_{2p} = -Re(B_0) \cdot Re(C_0) \\ K_{1q} &= K_{2q} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где A_0, B_0, C_0 — обобщенные постоянные электропередачи.

При этом потери в электропередаче будут:

$$\Delta P = K_{2xx} \cdot U_2^2 + K_{2kz} \cdot I_2^2 + 2K_{2p} \cdot P_2, \quad (2)$$

по данным начала электропередачи

$$\Delta P = K_{1xx} \cdot U^2 + K_{1kz} \cdot I_1^2 + 2K_{1p} \cdot P_1. \quad (3)$$

Нагрузка, соответствующая режиму максимального к. п. д., при этом будет:

по данным начала электропередачи

$$P_{1\gamma mm} = U_1^2 \sqrt{\frac{K_{1xx}}{K_{1kz}}} = I_1^2 \cdot |Y_{1\gamma mm}|, \quad Q_{1\gamma mm} = 0, \quad (4)$$

по данным конца электропередачи

$$P_{2\gamma mm} = U_2^2 \sqrt{\frac{K_{2xx}}{K_{2kz}}} = U_2^2 |Y_{2\gamma mm}|, \quad Q_{2\gamma mm} = 0. \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) вытекает, что для линий, точно настроенных на полуволну, наиболее экономичной будет передача только активной мощности.

Обычно в линиях электропередачи режим максимального к. п. д. осуществляется при определенной величине активной и реактивной мощности. Максимальное значение к. п. д., получающееся при передаче только активной мощности по ЛЭП, назовем наибольшим. Пользуясь этой терминологией, можно сказать, что для линий, точно настроенных на полуволну, режимы максимального и наибольшего к. п. д. совпадают.

По выражениям (1) и (5)

$$Z_{2\gamma mm} = \sqrt{\frac{K_{2kz}}{K_{2xx}}} = \sqrt{\frac{Re(B_0)}{Re(C_0)}} \quad (6)$$

Применяя понятие эквивалентного волнового сопротивления (W_0), которое для симметричных электропередач [5] равно

$$W_0 = \sqrt{\frac{B_0}{C_0}}, \quad (7)$$

и учитывая, что для точно настроенных на полуволну электропередач обобщенные постоянные являются действительными величинами (см. приложение), получим:

$$Z_{2\gamma mm} = W_0. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что в электропередачах, точно настроенных на полуволну, режим максимального к. п. д. осуществляется при нагрузке, определяемой эквивалентным волновым сопротивлением. Отсюда следует важный вывод, что наиболее экономичным режимом для точно настроенных линий является режим передачи по ним эквивалентной натуральной мощности.

Согласно [4] величины максимального к. п. д., перепада напряжения и коэффициента мощности в оптимальном режиме для любых электропередач определяются по следующим выражениям:

$$\eta_{\text{птм}} = (\sqrt{1 + K_{2p}} - \sqrt{K_{2p}})^2, \quad (9)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{\sqrt{\eta_{\text{птм}}}}, \quad (10)$$

$$\cos \varphi_{2\gamma \text{птм}} = \sqrt{1 - \frac{K_{2q}^2}{K_{2\text{хх}} K_{2\text{кз}}}}. \quad (11)$$

2. К. п. д. настроенных электропередач

Рассмотрены упомянутые выше три группы схем настроенных электропередач с продольными индуктивностями, с поперечными емкостями, комбинированные схемы (табл. 1).

В схеме 1 может быть выбрана только одна величина НУ (x_n). Следовательно, эту схему можно настроить только по одному параметру, а именно, по напряжению.

В схемах 2, 4, 7 и 8 независимо друг от друга определяются две величины НУ. Эти схемы можно точно настроить на полуволну как по току, так и по напряжению.

В схемах 3 и 6 условия настройки аналогичны однородной линии (см. приложение).

В схеме 9 величины НУ выбраны без учета потерь, из условия настройки каждого из трех участков электропередачи на одну треть полуволны.

Потери в трансформаторах и генераторах не учитывались, потому что, во-первых, при рассматриваемых длинах электропередач потери в самой линии будут преобладающими; во-вторых, потери в трансформаторах и генераторах только незначительно изменятся в зависимости от способов настройки электропередач (за счет различной величины реактивной мощности по концам линии при одной и той же активной) и на сравнение к. п. д. различных электропередач заметного влияния не окажут.

Потери на корону учтены для более правильной оценки суммарных потерь в дальних линиях электропередач сверхвысокого напряжения.

Данные расчета режима максимального к. п. д. и потерь холостого хода приведены в табл. 1*.

За потери холостого хода приняты потери в электропередаче, по концам которой поддерживается номинальное напряжение, при токе в конце электропередачи (токе нагрузки I_2), равном нулю. В принятой системе относительных единиц численную величину потерь х. х. дает коэффициент потерь х. х.

Приведенные данные говорят о том, что почти все исследуемые схемы (за исключением схемы 1) можно считать точно настроенными на полуволну, так как режим максимального к. п. д. для них осуществля-

* Приведенные данные относятся к линии 800 кв длиной 2400 км со следующими параметрами:

$$r_0 = 0,01195 \text{ ом/км} \quad x_0 = 0,281 \text{ ом/км}$$

$$g_0 = 0,018 \cdot 10^{-6} \frac{1/\text{ом}}{\text{км}} \quad b_0 = 3,97 \cdot 10^{-6} \frac{1/\text{ом}}{\text{км}}$$

Выбранное значение активной проводимости соответствует потерям на корону 11,6 квт/км на три фазы. Потери в индуктивности приняты равными 0,5%, а в емкости — 0,2% от установленной реактивной мощности.

№ схемы	Схема электропередачи	Условия учета потерь	$\eta_{\text{птм}}, \%$	$\cos \varphi_{2\gamma \text{птм}}$	$P_{2\gamma \text{птм}}$	$K_{\eta \text{птм}} = \frac{U_1}{U_2}$	$\Delta P_{\text{хх}}, (\%)$
1		В линии и НУ	88,54	0,963	1,017	1,063	6,69
		Только в линии	88,85	0,965	1,043	1,061	6,64
2		В линии и НУ	89,23	1,000	0,956	1,058	5,46
		Только в линии	89,75	1,000	0,956	1,056	5,17
3		Только в линии	90,38	1,000	0,807	1,052	4,09
4		В линии и НУ	86,57	1,000	1,046	1,075	7,57
		Только в линии	86,77	1,000	1,046	1,074	7,46
5		Только в линии	87,08	1,000	1,194	1,072	8,28
6		Только в линии	86,68	1,000	1,239	1,074	8,89
7		В линии и НУ	88,44	1,000	1,230	1,063	7,58
		Только в линии	88,85	1,000	1,257	1,061	7,45
8		В линии и НУ	88,44	1,000	0,893	1,053	5,50
		Только в линии	88,85	1,000	0,873	1,061	5,18
9		В линии и НУ	88,36	1,000	0,995	1,064	6,17
10		В линии и НУ	87,50	0,989	2,159	1,069	14,8
11		В линии и НУ	88,19	0,960	0,710	1,065	4,85
12		В линии и НУ	88,85	0,947	0,672	1,061	4,44

Примечание. Величина максимального к. п. д. и потерь х. х. приведена в процентах, остальные данные в относительных единицах, где за базисные величины приняты модуль волнового сопротивления и номинальное напряжение в конце линии.

ется при $\cos\varphi_2 = 1$. Последнее, как было показано выше, справедливо только для электропередач, точно настроенных на полуволну.

Ввиду того, что влияние рассредоточения НУ вдоль линии различно для всех трех групп схем, рассмотрим каждую из них отдельно.

В I группе схем настройки распределение продольной индуктивности вызывает увеличение максимального значения к. п. д. и уменьшение потерь х. х. Так, без учета потерь в НУ максимальное значение к. п. д. при переходе от двух НУ к трем, возрастает на 1%, а при переходе от трех НУ к их равномерному распределению вдоль линии еще дополнительно на 0,7%. Соответственно потери х. х. уменьшаются в первом случае на 28,5%, а во втором — дополнительно еще на 21%. Поэтому с целью повышения максимального значения к. п. д. и к. п. д. при нагрузке, меньше натуральной, можно рекомендовать распределение продольных индуктивностей по длине линии, но не больше чем в 2—3 местах. Распределение НУ также немного уменьшает удельный расход НУ и несколько увеличивает пропускную способность электропередачи [6], но ведет к уменьшению нагрузки в оптимальном режиме.

Во II группе схем настройки распределение поперечных емкостей вдоль линии сказывается не так резко и оказывает обратное влияние по сравнению с распределением продольных индуктивностей. Так, распределение поперечных емкостей вдоль линии увеличивает нагрузку в оптимальном режиме и величину потерь х. х. При увеличении числа мест размещения емкостей с трех (схема 4) до пяти (схема 5) $P_{27, \text{мм}}$ возрастает на 12,5%. При переходе от схемы 5 к равномерному распределению настраивающих поперечных емкостей $P_{27, \text{мм}}$ возрастает еще на 3,2%. При этом потери х. х. увеличиваются в первом случае на 9,9%, а во втором — дополнительно на 7,3%.

Для получения наибольшего к. п. д. линии электропередачи, настраиваемой поперечными емкостями, необходимо определить оптимальное число подключенных вдоль линии емкостей в зависимости от ее длины и параметров. Так, например, увеличение числа мест подключения емкостей от трех (схема 4) до пяти (схема 5) увеличивает максимальное значение к. п. д. всего на 0,35%, а при дальнейшем увеличении числа мест подключения емкостей от пяти до равномерного распределения их максимальное значение к. п. д. уменьшается на 0,46%. Поэтому для приведенного в таблице 1 примера ($l = 2400$ км) следует считать схему 5 оптимальной по числу мест подключения емкостей.

Все схемы II группы имеют значительно большие потери х. х. (примерно в 1,6 раза) и к. п. д., заметно меньший, чем схемы группы I.

Особенностью схем настройки III группы является независимость величины максимального к. п. д. от места расположения НУ при точной настройке линии на полуволну. Поэтому у схем 7 и 8 максимальное значение к. п. д. одинаково. Однако потери х. х. и величина нагрузки, при которой осуществляется оптимальный режим в схемах с концевыми устройствами (схема 7) и с НУ, расположенными в середине линии (схема 8), существенно различны.

Так, у схемы 7 по сравнению со схемой 8 потери х. х. в 1,38 раза, а нагрузка в режиме максимального к. п. д. в 1,45 раза больше. В результате этого схема с концевыми НУ (схема 7) будет иметь более низкий к. п. д. при нагрузке, меньше натуральной.

Влияние распределения НУ вдоль линии на величину максимального к. п. д. у этой группы схем еще меньше, чем у II группы. Распределение НУ в этом случае уменьшает к. п. д. Так, увеличение НУ с одного (схема 8) до трех (схема 9) уменьшает максимальное значение к. п. д. на 0,1%. При этом потери х. х. увеличиваются с 5,5% до 6,2%.

По величине к. п. д. III группа схем настройки занимает промежуточное положение между I и II группами. К. п. д. у схем III группы больше, чем у II группы и меньше, чем у первой.

Анализ к. п. д. рассмотренных схем настройки производился как с учетом потерь в НУ, так и без него. В результате чего установлено, что на сравнительную оценку к. п. д. различных схем пренебрежение потерями в НУ влияния не оказывает.

Для сравнения с рассматриваемыми схемами настроенных электропередач произведен анализ к. п. д., компенсированных электропередач при одних и тех же исходных условиях*.

Поскольку рассмотренные выше схемы, как с одними индуктивностями, так и с одними емкостями не могут использоваться в качестве компенсированных при выбранной длине (2000—2500 км) — для сравнения выбраны схемы, аналогичные III группе (см. табл. 1).

Из приведенных в табл. I данных видно, что наилучшей схемой компенсированной электропередачи является схема 12 как по величине максимального к. п. д., так и по наименьшим потерям х. х. (4,8%). Эту схему и будем рассматривать.

Кривые изменения к. п. д. настроенных электропередач и выбранной компенсированной приведены на рисунке. При этом предполагалось, что по настроенным электропередачам передается только активная мощность при номинальном напряжении в конце линии. Для компенсированной электропередачи регулирующая реактивная мощность в конце линии определялась из условия допустимого повышения напряжения на 10%.

Эти кривые показывают, что компенсированная электропередача с наиболее высоким значением максимального к. п. д. имеет преимущества перед настроенными только при нагрузке ниже 70% от максимальной передаваемой мощности. При нагрузках, превышающих $0,7 P_{\text{max}}$, преобладающее большинство схем настроенных электропередач имеет более высокий к. п. д. по сравнению с компенсированной электропередачей.

Для сравнения среднего значения к. п. д. рассматриваемых схем в табл. 2 приведено значение к. п. д. по энергии для двух графиков нагрузки, а именно:

График 1	График 2
100% P_{max} — 1200 час.	100% P_{max} — 3200 час.
80% P_{max} — 1500 час.	80% P_{max} — 2500 час.
60% P_{max} — 6000 час.	60% P_{max} — 3000 час.
$T_{\text{max}} = 6000$ час.	$T_{\text{max}} = 7000$ час.

Ввиду неодинаковой пропускной способности рассматриваемых схем величина максимальной передаваемой мощности (P_{max}) была взята различной для всех схем [6, 8], а следовательно, и переданное за год количество электроэнергии различно и также приведено в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что уже при $T_{\text{max}} = 7000$ час., настроенные электропередачи имеют преимущество перед компенсированными.

Следует учесть, что передачи рассматриваемого типа, вероятно, будут иметь очень плотный график нагрузки с $T_{\text{max}} = 7500—8000$ час., и в этом случае еще больше будут проявляться преимущества настроенных электропередач перед компенсированными.

* Выбранная линия 800 км длиной 2400 км компенсирована к 700 км [7].

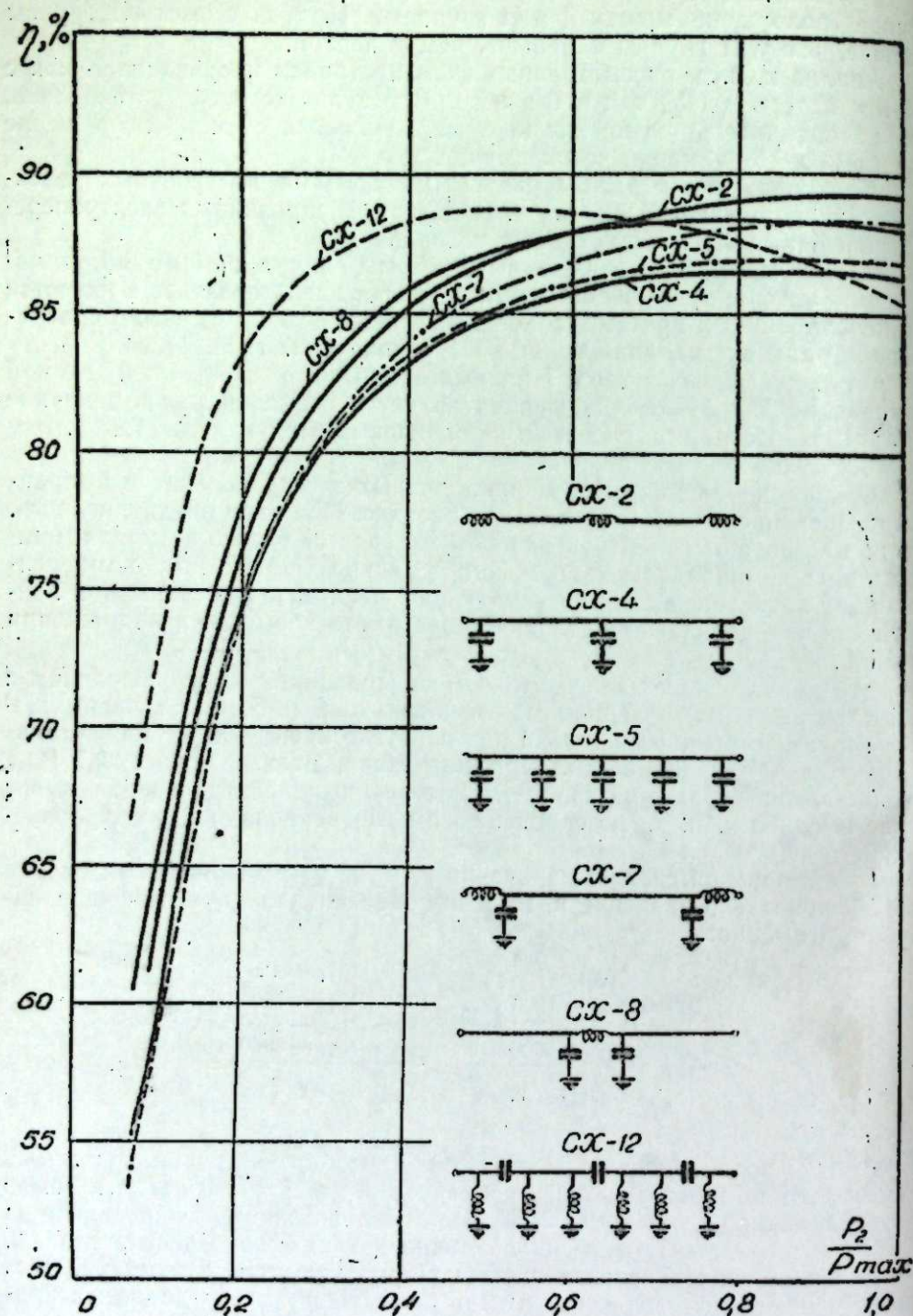


Рис. 1. Изменение к. п. д. настроенных электропередач в зависимости от нагрузки в конце линии.

Таблица 2

Наименование	Настроенные линии				Компенсирование	
	сх-2	сх-5	сх-7	сх-8		
Максимальная передаваемая мощность (P_{max})	$0,95 P_{II}$	$1,3 P_{II}$	$1,2 P_{II}$	$1,1 P_{II}$	$1,25 P_{II}$	
Количество энергии, передаваемой за год (млрд. кВт/час)	$T_{max} = 6000$	13,7	18,8	17,3	15,9	
	$T_{max} = 7000$	16,0	21,9	20,2	18,5	21,0
К. п. д. по энергии	$T_{max} = 6000$	88,4	86,3	87,5	88,1	87,9
	$T_{max} = 7000$	88,8	86,6	88,0	88,2	86,9

3. Повышение к. п. д. настроенных ЛЭП

Повысить к. п. д. настроенных электропередач при снижении нагрузки можно регулированием напряжения по концам линии [7]. Этим способом можно пользоваться только при величине нагрузки ниже, чем в режиме максимального к. п. д. В принципе повышение к. п. д. возможно и при нагрузке выше оптимальной, но оно будет сопровождаться повышением напряжения выше номинального, что неприемлемо.

Если не ограничивать степень регулирования напряжения по концам электропередачи, то возможно осуществить ее работу с максимальным к. п. д. при любом снижении нагрузки. Величину напряжения, необходимую при этом, можно определить, найдя минимум функции ΔP в зависимости от U_2 по выражению (2).

После соответствующих преобразований для передачи только активной мощности получим:

$$U_2 = \sqrt{P_2 \sqrt{\frac{K_{2\eta z}}{K_{2xx}}} = \sqrt{P_2 |Z_{2\eta mm}|}. \quad (12)$$

Таким образом, если регулировать напряжение в соответствии с (12), а соотношение между U_1 и U_2 поддерживать в соответствии с (10), то получим возможность передавать мощность с максимальным к. п. д., определяемым выражением (9) для всех точно настроенных на полуволну электропередач. Объясняется это тем, что при выбранном регулировании напряжения с любой величиной нагрузки для ЛЭП создается режим эквивалентной натуральной мощности.

Необходимый предел регулирования на трансформаторах для рассмотренных ранее схем настроенных электропередач, при изменении нагрузки в пределах от P_{II} до $0,5 P_{II}$, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Предел регулирования	Почер схемы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Необходимое снижение напряжения, % от U_2	31,2	27,8	21,3	30,9	35,3	36,4	36,4	22,2	29,2
Требуемый предел регулирования на тр-рах	$\pm 16\%$	$\pm 14\%$	$\pm 11\%$	$\pm 16\%$	$\pm 18\%$	$\pm 18\%$	$\pm 18\%$	$\pm 11\%$	$\pm 15\%$

Из табл. 3 видно, что желательно иметь на трансформаторах предел регулирования напряжения $\pm 20\%$, а для большинства настроенных ЛЭП будет достаточен предел регулирования $\pm 15\%$.

Для компенсированных ЛЭП (например схема 12) повышение к. п. д. регулированием напряжения по концам малоэффективно, так как нагрузка в оптимальном режиме у них значительно ниже натуральной мощности (примерно $0,6 P_{н}$). Повышать же к. п. д. этим методом можно только при нагрузках ниже, чем в оптимальном режиме, а на ЛЭП, рассматриваемого типа, едва ли можно ожидать снижение нагрузки меньше, чем $0,5 P_{н}$.

У настроенных электропередач регулирование напряжения по концам ЛЭП позволяет получить к. п. д. по энергии, равный максимальному к. п. д. по мощности для всех настроенных ЛЭП, потому что нагрузка в оптимальном режиме у них близка к максимальной передаваемой мощности, а заметное снижение к. п. д. наблюдается при нагрузке, меньше последней.

Выводы

1. К. п. д. по энергии настроенных электропередач не только не ниже, но у большинства схем даже выше, чем у компенсированных ЛЭП при длине электропередачи более 2000 км и при одинаковых графиках нагрузки.

Чем плотнее график нагрузки (чем больше число часов использования максимума I_{max}), тем в большей степени проявляются преимущества настроенных электропередач по сравнению с компенсированными (особенно при $T_{max} > 7000$ час.).

2. Величина максимального к. п. д. для линий заданной длины зависит от схемы настройки, колебания этой величины значительны (для ЛЭП длиной 2400 км примерно 3%). Схемы, у которых настройка на полуволну осуществляется продольными индуктивностями, имеют наибольший к. п. д., схемы с поперечными емкостями — наименьший. Комбинированные схемы (включающие продольные индуктивности и поперечные емкости) занимают промежуточное положение.

3. Линии электропередачи значительной длины (2000 км и более) имеют большие потери холостого хода, причем у настроенных ЛЭП эти потери больше (1,2 — 1,5 раза), чем у компенсированных. Но величина потерь холостого хода определяет нагрузку, при которой имеет место режим максимального к. п. д. Чем больше потери холостого хода, тем при большей нагрузке этот режим осуществляется. Поэтому у настроенных электропередач нагрузка в оптимальном режиме близка к максимальной передаваемой мощности.

4. У точно настроенных на полуволну электропередач режим максимального к. п. д. осуществляется при передаче эквивалентной натуральной мощности, при положительном перепаде напряжения между началом и концом электропередачи и при передаче только активной мощности (при $\cos \varphi_2 = 1$) независимо от длины и параметров настраиваемой линии.

5. Повышение максимального к. п. д. настроенных электропередач распределением настраивающих устройств вдоль линии целесообразно для схем I и II групп.

Регулирование напряжения по концам электропередачи позволяет получить у настроенных ЛЭП к. п. д. по энергии, равный максимальному к. п. д. по мощности. У компенсированных ЛЭП этого практически достигнуть нельзя из-за необходимости повышать напряжение при этом выше номинального.

Приложение

О ВОЗМОЖНОСТИ ТОЧНОЙ НАСТРОЙКИ НА ПОЛУВОЛНУ ЛИНИИ С УЧЕТОМ ИХ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Ввиду того, что от точной настройки на полуволну зависит устойчивость настроенных электропередач и характер нагрузки в режиме максимального к. п. д., была исследована возможность такой настройки с учетом активных сопротивлений.

Для всех симметричных схем, которые позволяют осуществлять настройку как по току, так и по напряжению, условия точной настройки на полуволну с учетом активных сопротивлений будут:

$$\left. \begin{aligned} 1) I_m(\dot{A}_0) &= 0 \\ 2) I_m(\dot{B}_0) &= 0 \\ 3) I_m(\dot{C}_0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При этом достаточно выполнить любые два из вышеуказанных условий. Тогда, в силу равенства

$$\dot{A}_0^2 - \dot{B}_0 \cdot \dot{C}_0 = 1, \quad (2)$$

третье условие также будет выполнено. Отсюда, для точной настройки симметричной электропередачи, состоящей из одинаковых элементов, достаточно иметь возможность независимо друг от друга определять величины только двух НУ. Практически при этом следует использовать те их условия (1), которые дают наиболее простые математические выражения.

Исходя из выражений (1), длина однородной линии, соответствующая условию настройки на полуволну, будет определяться из условия

$$I_m(\operatorname{ch} \gamma l) = 0, \quad (3)$$

где $\gamma = \beta + j\alpha$ — коэффициент распространения, l — длина линии.

В целях дальнейшего упрощения расчетов при определении величин НУ в идеальных линиях вместо условия настройки всей электропередачи на полуволну часто бывает целесообразно использовать половину схемы и определить НУ по условию:

$$\dot{A}_1 = 0, \quad \dot{D}_1 = 0. \quad (4)$$

Здесь и в дальнейшем индексом I обозначаем обобщенные постоянные одной половины рассматриваемой ЛЭП, а индексом II — другой.

Если для линии без потерь упомянутые выше условия идентичны, то в реальных линиях они не совпадают. Докажем это положение. Для ЛЭП с учетом активного сопротивления условия (4) примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{Re}(\dot{A}_1) &= 0 \\ \operatorname{Re}(\dot{D}_1) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

С учетом этих условий, а также с учетом того, что электропередача симметрична ($\dot{A}_0 = \dot{D}_0$) и, следовательно, всегда справедливы соотношения:

$$\dot{A}_I = \dot{D}_{II} \quad \dot{B}_I = \dot{B}_{II} \quad \dot{C}_I = \dot{C}_{II} \quad \dot{D}_I = \dot{A}_{II} \quad (6)$$

обобщенные постоянные всей электропередачи будут:

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_0 &= \dot{A}_1 \cdot \dot{D}_1 + \dot{B}_1 \cdot \dot{C}_1 \\ \dot{B}_0 &= 2\dot{A}_1 \cdot \dot{B}_1 \\ \dot{C}_0 &= 2\dot{D}_1 \cdot \dot{C}_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

а мнимые части этих выражений при выполнении условия (5) соответственно:

$$\left. \begin{aligned} I_m(A_0) &= I_m(\dot{B}_1 \cdot \dot{C}_1) \\ I_m(B_0) &= 2 \operatorname{Re}(\dot{B}_1) I_m(\dot{A}_1) \\ I_m(C_0) &= 2 \operatorname{Re}(\dot{C}_1) I_m(\dot{D}_1) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Выражения (8) не равны нулю, и условие (1) не выполняется. Однако для многих схем настройки величины, получаемые по выражению (8), получаются малыми, и режим передачи получается очень близким к полуволновому. Это положение использовано при настройке схемы 5.

Невозможность настроить на четверть волны половину схемы ЛЭП не говорит еще о том, что всю схему нельзя настроить на полуволну. Примером этому могут служить рассмотренные выше схемы 2 и 3.

Для комбинированных схем настройки, с несколькими НУ вдоль линии (схема 9), выбор величины НУ можно производить без учета активных сопротивлений. Это значительно упрощает расчеты и обеспечивает в реальной линии режим, достаточно близкий к полуволновому. При определении величин НУ потерями в них можно пренебречь для любых схем настройки.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
7/1 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Венников, Электромеханические переходные процессы в электрических системах. ГЭИ, 1958.
2. Н. Ф. Ракушев, Сверхдальняя передача энергии переменным током по разомкнутым линиям. ГЭИ, 1957.
3. В. К. Щербakov, Дальние электропередачи через линии, настроенные на полуволну. Изв. СО АН СССР, № 7, 1959.
4. Е. П. Гусев, К исследованию коэффициента полезного действия дальних электропередач. Изв. СО АН СССР, № 8, 1959.
5. А. А. Вульф, Проблема передачи электрической энергии на сверхдальние расстояния по компенсированным линиям. ГЭИ, 1941.
6. О. В. Ольшевский, Сравнительная оценка характерных схем настроенных электропередач. Автореф. канд. дисс. Томский политехн. ин-т., 1958.
7. Ф. А. Зыкин, Возможности увеличения пропускной способности линий электропередач, настроенных на полуволну. Автореф. канд. дисс. Томский политехн. ин-т., 1956.
8. О. В. Ольшевский, Повышение пропускной способности дальних электропередач распределением настраивающей емкости. Изв. вост. фил. АН СССР, № 11, 1957.

А. Н. КИРГИНЦЕВ

О НИЖНЕЙ ГРАНИЦЕ СМЕШИВАЕМОСТИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

В некоторых случаях гетерогенных равновесий распределение компонента между фазами протекает таким образом, что он стремится сконцентрироваться в одной из фаз, составляющих систему. Это явление было детально изучено В. Г. Хлопиным и Б. А. Никитиным на аномальных смешанных кристаллах [1, 2]. Однако с подобными явлениями мы сталкиваемся и в других областях гетерогенных равновесий. Так, вода хорошо адсорбируется стеклом при давлениях водяного пара, близких к насыщенному, а при относительных давлениях ниже 0,7 адсорбция воды почти не заметна [3]. В экстракционных процессах подобные «пороги экстракции» были впервые обнаружены А. В. Николаевым и А. Г. Курнаковой [4]. Аналогичные явления имеют место и в равновесии жидкость—пар (пример будет приведен ниже).

Точка зрения В. Г. Хлопина и Б. А. Никитина на характер образования аномальных смешанных кристаллов относится к качественной стороне дела и не касается количественной. Что касается адсорбционных процессов, то системы с «порогом адсорбции» относятся к третьему типу изотерм по классификации Брунауэра, но измеримая адсорбция начинает протекать в области больших относительных давлений, где теория БЭТ уже не применима. В теории равновесия жидкость—пар мы также не находим удовлетворительного объяснения пороговым явлениям.

Рассмотрим более подробно равновесие жидкость—пар.

О законе Генри

Теория бесконечно разбавленных растворов возникла более 70 лет назад [5], и однако законы образования этих растворов до сих пор еще полностью не изучены.

Основным законом бесконечно разбавленных растворов следует считать закон Генри:

$$p_2 = k_{\Gamma} \cdot x_2, \quad (1)$$

где p_2 и x_2 — парциальная упругость пара и мольная доля компонента 2 в жидкой фазе. Если мы допускаем идеальность газообразной фазы, то уравнение (1) накладывает ограничения на граничный ход коэффициента активности. Действительно, константа Генри связана с коэффициентом активности простым соотношением:

$$k_{\Gamma} = p_{20} \cdot \gamma_2, \quad (2)$$

и уравнение (1) для бинарного раствора можно записать так:

$$\ln p_2 = \ln p_{20} + \ln x_2 + \ln \gamma_2. \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3) p_2 означает упругость пара над чистым компонентом 2, а γ означает коэффициент активности. Дифференцирование уравнения (3) дает:

$$\frac{d \ln p_2}{dx_2} = \frac{d \ln x_2}{dx_2} + \frac{d \ln \gamma_2}{dx_2}. \quad (4)$$

При $x_2 \rightarrow 0$ первый член правой части этого уравнения стремится к бесконечности, а если

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0} \left| \frac{d \ln \gamma_2}{dx_2} \right| \neq \infty, \quad (5)$$

то

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0} \left| \frac{d \ln p_2}{dx_2} \right| = \lim_{x_2 \rightarrow 0} \left| \frac{d \ln x_2}{dx_2} \right|. \quad (6)$$

Это условие тождественно постоянству константы Генри. Следовательно, закон Генри может быть выражен условием (5) (см. [6]).

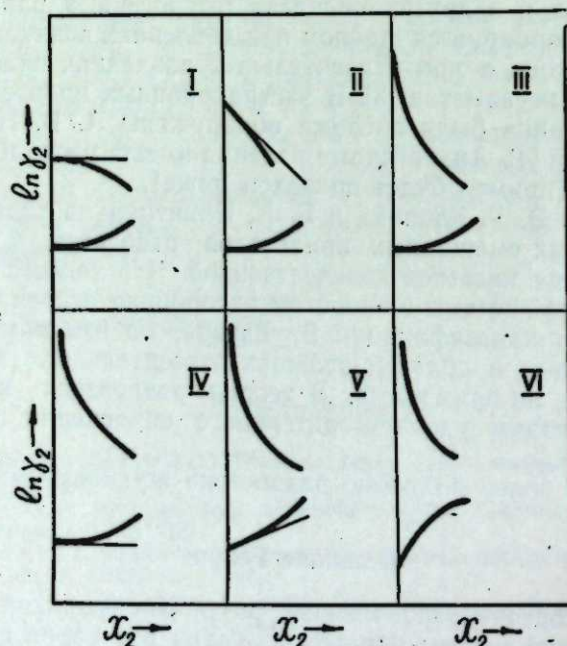


Рис. 1. Шесть типов граничного хода коэффициента активности.

Уравнение Гиббса — Дюгема допускает шесть возможных типов зависимости парциальных мольных величин от концентрации. Впервые это было показано И. Р. Кричевским и Я. С. Казарновским [7]. Применительно к коэффициентам активности это было подробно рассмотрено в статьях Эберта, Колера [6] и Губера [8]. Шесть типов граничного хода коэффициентов активности по Эберту и Колеру схематично показаны на рис. 1. Первый, второй и пятый типы соответствуют поведению растворов неэлектролитов, третий тип — поведению растворов электролитов. В литературе нет упоминания о четвертом и шестом типах. Первый и второй типы удовлетворяют условию (5), и, следовательно, к ним применим закон Генри. Но для пятого типа.

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0} \left| \frac{d \ln \gamma_2}{dx_2} \right| = \infty, \quad (7)$$

поэтому здесь закон Генри не применим.

В настоящее время принято считать, что всякий раствор при достаточном разбавлении должен подчиняться закону Генри [5], а это означает невозможность существования пятого типа граничного хода коэффициента активности. Обычно считается, что пятый тип соответствует случаю ассоциации в жидкой фазе, но в достаточно разбавленном растворе всякое ассоциативное равновесие для конечных констант сдвинуто в сторону диссоциации [6], вследствие чего пятый тип не может быть осуществим.

Хотя наличие пятого типа и не противоречит феноменологической термодинамике, основанной на первом и втором законах и принципе равновесия, но его существование противоречит духу статистического метода. Действительно, в бесконечно разбавленном растворе наиболее вероятное расположение частиц растворенного вещества таково, что можно пренебречь их взаимодействием. А это в трактовке М. Планка приводит к закону Генри, т. е. к первому или второму типу граничного хода коэффициентов активности, но не к пятому.

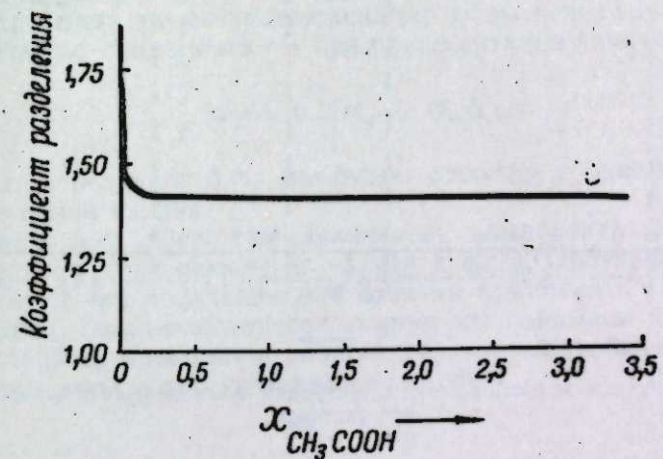


Рис. 2. Зависимость коэффициента разделения от состава жидкой фазы в системе уксусная кислота — вода (по оси абсцисс отложен мольный процент).

Однако экспериментальные данные свидетельствуют о возможности существования пятого типа граничного хода коэффициента активности. На рис. 2, взятом из работы Я. Д. Зельвенского и В. А. Шалыгина [9], показана зависимость коэффициента разделения от состава жидкой фазы в системе уксусная кислота — вода. В области очень малых концентраций уксусной кислоты коэффициент разделения весьма резко возрастает, и опытные данные указывают на беспредельное увеличение коэффициента разделения в бесконечно разбавленном растворе. Коэффициент разделения пропорционален коэффициенту активности уксусной кислоты в жидкой фазе. Поэтому приведенные данные отчетливо говорят о существовании пятого типа граничного хода коэффициента активности.

Теоретическая трактовка растворов неэлектролитов (и других) основана на обычной термодинамике обратимых процессов и, как мы видели, приводит к закону Генри. Но из двух фаз, находящихся в рав-

новесии друг с другом, одна не обязательно должна быть равновесной фазой. Здесь закон Генри в бесконечно разбавленном растворе не соблюдается. Рассмотрим этот случай подробнее.

О взаимодействии фаз

Сосуществующие фазы обязательно взаимодействуют, что в изолированной системе проявляется в обмене между фазами теплом, объемом и компонентами, которые образуют систему. В нашей работе будет рассмотрен только обмен компонентов между фазами двухфазных систем. Иными словами, мы полагаем, что рассматриваемые нами системы и фазы барически и термически однородны.

Равновесное сосуществование фаз, с точки зрения статистической термодинамики, требует выполнения двух условий:

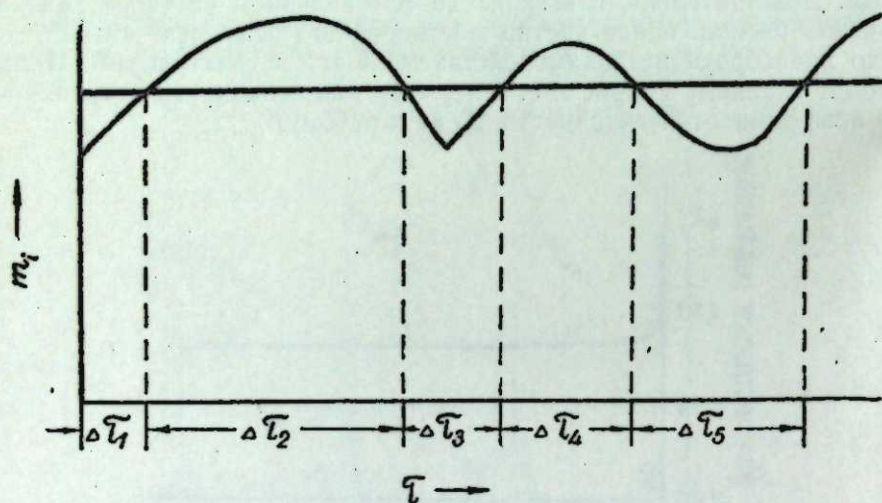


Рис. 3. Схематическое изображение флуктуаций компонента i в фазе гетерогенной системы.

1. «В условиях равновесия любой молекулярный процесс и процесс, обратный данному, будут протекать в среднем с одинаковой скоростью» [10]. Это известный принцип микроскопической обратимости. В применении к обмену компонента i между фазами этот принцип будет означать, что в среднем за единицу времени количество компонента i , отданного фазой, равно количеству компонента i , принятому фазой. Выполнение этого условия означает неизменность во времени состава фаз по компоненту i , но еще не означает неизменности во времени термодинамических функций фаз. Для этого необходимо выполнение второго условия.

2. Если мы отложим по оси ординат количество компонента m в какой-либо фазе в данный момент времени τ , а по оси абсцисс — время τ , то получим волнообразную кривую, которая схематично показана на рис. 3. В случае выполнения принципа микроскопической обратимости величина m_i должна колебаться около какого-то среднего значения, показанного на рис. 3 прямой линией. Обозначим через $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \Delta\tau_3$ и т. д. время, прошедшее от начала отсчета времени до первого, второго, третьего и т. д. пересечения прямой линией волнообразной кривой. Количество компонента i в фазе, на которое оно отличается от среднего

значения за время $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \Delta\tau_3$ и т. д., обозначим через $(\Delta m_i)_1, (\Delta m_i)_2, (\Delta m_i)_3$ и т. д. Введем обозначения:

$$\frac{(\Delta m_i)_1 + (\Delta m_i)_3 + \dots + (\Delta m_i)_{2n-1}}{n} = \overrightarrow{\Delta m_i},$$

$$\frac{(\Delta m_i)_2 + (\Delta m_i)_4 + \dots + (\Delta m_i)_{2n}}{n} = \overleftarrow{\Delta m_i}; \quad (8)$$

$$\frac{\Delta\tau_1 + \Delta\tau_3 + \dots + \Delta\tau_{2n-1}}{n} = \overrightarrow{\Delta\tau},$$

$$\frac{\Delta\tau_2 + \Delta\tau_4 + \dots + \Delta\tau_{2n}}{n} = \overleftarrow{\Delta\tau}. \quad (9)$$

Принцип микроскопической обратимости означает, что

$$\overrightarrow{\Delta m_i} = \overleftarrow{\Delta m_i} = \Delta m_i \quad (10)$$

и, по-видимому,

$$\overrightarrow{\Delta\tau} = \overleftarrow{\Delta\tau} = \Delta\tau. \quad (11)$$

Величины Δm_i и $\Delta\tau$ имеют простой физический смысл: в среднем за время $\Delta\tau$ между двумя прохождением фазы через такое состояние, когда количество компонента i в ней равно среднему значению (m_0),

$$\int_0^{\Delta\tau} m_i d\tau = \Delta m_i + m_0 \Delta\tau. \quad (12)$$

В дальнейшем величину Δm_i мы будем относить к одному молю компонента i в одной из фаз.

Величина Δm_i дает нам количество компонента i , на которое увеличится (или уменьшится) его запас в фазе. Обозначим время релаксации фазы при получении или отнятии компонента i в количестве Δm_i через $\Delta\tau_{m_i}$. Под временем релаксации мы понимаем время, в течение которого фаза приходит в равновесие, если ей сообщено (или отнято) некоторое количество компонента i . Если

$$\Delta\tau > \Delta\tau_{m_i} \quad (13)$$

то изменения, протекающие в фазе, будут протекать быстрее изменения причины, ответственной за изменения в фазе, и фаза всегда будет находиться в состоянии равновесия. Это условие в сочетании с первым условием дает нам неизменность термодинамических функций в фазе во времени.

Возможно несколько случаев.

1. Выполняются оба условия для обеих фаз и компонентов. Здесь фазы находятся в равновесном состоянии и в равновесии друг с другом. Это обычный случай, рассматриваемый термодинамикой обратимых процессов.

2. Выполняется второе условие для всех фаз и компонентов, первое условие не выполняется. Здесь фазы не могут быть в равновесии друг с другом, а в равновесном состоянии всегда будет существовать одна фаза.

3. Выполняется первое условие для всех компонентов, второе условие не выполняется. Здесь фазы находятся в равновесии друг с другом, но каждая фаза в отдельности не находится в равновесном состоянии. Равновесие фаз в этом случае не может рассматриваться методами термодинамики обратимых процессов.

В первом случае взаимодействие фаз не накладывает никаких ограничений на термодинамические функции фаз, т. е. термодинамические функции фазы не изменятся, если мы отделим одну фазу от другой. Напротив, в третьем случае термодинамические функции одной фазы будут зависеть от присутствия другой фазы, т. е. термодинамические функции фазы изменятся, если мы отделим ее от другой. Действительно, если второе условие не выполняется, то фаза не находится в равновесном состоянии и при отделении ее от другой фазы она приходит в равновесное состояние. В результате этого перехода термодинамические функции фазы должны измениться.

Обозначим через F_0 свободную энергию фазы в равновесном состоянии, а через F — свободную энергию этой фазы в неравновесном состоянии. В третьем случае рассматриваемая фаза находится в равновесии с другой фазой, но сама фаза не находится в равновесном состоянии.

Поэтому.

$$F > F_0. \quad (14)$$

Положим, что

$$F = F_0 + \Delta F, \quad (15)$$

и попытаемся найти значение ΔF для третьего случая.

Пусть второе условие не выполняется для одного компонента (мы его обозначим индексом 2) и одной фазы. Величины, относящиеся к этой фазе, обозначим простым штрихом, а величины, относящиеся к другой фазе, — двойным штрихом. Первое условие пусть выполняется для всех компонентов.

Представляется очевидным, что чем больше величина Δm_2 в первой фазе (т. е. в той фазе, которую мы выше обозначили простым штрихом) и чем больше ее объем — v' , тем медленнее в ней будет устанавливаться равновесие и тем более фаза будет удалена от состояния равновесия. Следовательно, величина $\Delta F'$ должна быть функцией произведения $\Delta m_2 \cdot v'$. Но с другой стороны, величина Δm_2 является функцией состояния сосуществующих фаз. Чем больше объем v'' второй фазы, тем больше величина Δm_2 , поскольку приход молекул из второй фазы будет больше. Однако если мы в равной степени увеличим объем первой и второй фаз, то величина Δm_2 не должна измениться. Поэтому значение величины Δm_2 должно быть функцией отношения v''/v' , а величина $\Delta F'$ должна быть функцией v'' . Далее величина $\Delta F'$ должна быть экстенсивной функцией количества молей ($\sum n_i$) компонентов в первой фазе, т. е.

$$\Delta F' = \sum n_i \cdot f(v''). \quad (16)$$

Из последнего уравнения мы видим, что $f(v'')$ равна величине $\Delta F'$, отнесенной к одному молю первой фазы. Очевидно, что эта величина должна быть интенсивной функцией состояния обеих фаз, т. е. если мы увеличиваем количество обеих фаз в одинаковой степени без изменения их качества (состава), то величина $f(v'')$ не должна измениться. Однако последняя не удовлетворяет этому требованию. Для этого нужно вместо величины $f(v'')$ ввести величину $f\left(\frac{v''}{q_2}\right)$, где q_2 — количество второго компонента в системе. Конечно, можно было бы вместо количества второго компонента взять количество другого. Но поскольку второй компонент ответствен за неравновесное состояние первой фазы, то

разумнее оперировать с его количеством. Учитывая все эти соображения, получим в окончательном виде:

$$\Delta F' = \sum n_i \cdot f\left(\frac{v''}{q_2}\right). \quad (17)$$

В рассматриваемой нами системе фазы находятся в равновесии друг с другом и состояние системы, предоставленной самой себе, в течение сколь угодно большого времени не изменяется. Поэтому

$$d(F' + F'') = 0. \quad (18)$$

Для второго компонента

$$\left(\frac{\partial F'_0}{\partial n_2'}\right) dn_2' + \left(\frac{\partial \Delta F'}{\partial n_2'}\right) dn_2' + \left(\frac{\partial F''}{\partial n_2''}\right) dn_2'' = 0. \quad (19)$$

Поскольку первое условие для нашей системы выполняется, то

$$dn_2' = -dn_2''. \quad (20)$$

Далее

$$\frac{\partial F'_0}{\partial n_2'} = \mu_2', \quad (21)$$

$$\frac{\partial F''}{\partial n_2''} = \mu_2'', \quad (22)$$

где μ_2' и μ_2'' — химические потенциалы второго компонента в первой и второй фазах, вычисляемые обычными методами термодинамики обратимых процессов. С учетом (20) — (22) из (19) и (17) получим:

$$\mu_2' + f\left(\frac{v''}{q_2}\right) = \mu_2''. \quad (23)$$

Химические потенциалы есть функции концентраций, причем эти функции логарифмические. Поэтому можно полагать, что f также будет логарифмической функцией, т. е.

$$f = B \ln\left(v \frac{v''}{q_2}\right), \quad (24)$$

где v — постоянная величина, определяемая родом системы, а B — также постоянная величина, которую мы можем принять равной RT , поскольку перед логарифмом концентрации в выражении химического потенциала стоит величина RT . Учитывая эти замечания, из (23) и (24) получаем:

$$\mu_2' + RT \ln\left(v \frac{v''}{q_2}\right) = \mu_2''. \quad (25)$$

Это основное уравнение для рассматриваемого нами третьего случая.

Можно полагать, что уравнение (25) будет справедливым при малых количествах второго компонента в системе, поскольку мы не учитывали взаимодействия молекул второго компонента друг с другом. Отметим, что вывод уравнения (25) не очень строг. Трактровка рассматриваемого случая более строгим путем, без введения каких-либо постулатов или допущений, в настоящее время вряд ли возможна.

Рассмотрим применение уравнения (25) к различного рода системам.

1. Равновесие жидкость — пар. Возьмем двухкомпонентную систему. Неравновесной фазой пусть будет жидкая фаза. Обозначим простым штрихом жидкую фазу, двойным — газообразную. Химические

потенциалы второго компонента в этом случае определяются выражениями:

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + RT \ln x_2, \quad (26)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + RT \ln p_2. \quad (27)$$

Подставляя (26) и (27) в (25), находим:

$$p_2 = K_1 \frac{v''}{q_2} x_2, \quad (28)$$

где K_1 — некоторая величина, в которую входит отношение коэффициентов активности. Положим, что при малых значениях x_2 отношение коэффициентов активности постоянно и, следовательно, величина K_1 будет также постоянной величиной. Если будет неизменным объем газообразной фазы, то уравнение (28) приводится к виду:

$$k_1 \cdot p_2 \cdot x_2 + k_2 \cdot p_2^2 = k_3 x_2, \quad (29)$$

где k_1 , k_2 и k_3 — постоянные величины, так как количество второго компонента в жидкой и газообразной фазах будет пропорционально мольной доле и парциальному давлению. Из уравнения (29) находим:

$$x_2 = \frac{k_2 p_2^2}{k_3 - k_1 p_2}. \quad (30)$$

Из анализа уравнения (28) вытекает, что при очень малых значениях x_2 основное количество второго компонента будет находиться в газообразной фазе. В этом случае уравнение (30) упрощается:

$$x_2 = \frac{k_2}{k_3} p_2^2, \quad (31)$$

т. е. мы приходим к квадратичной зависимости мольной доли от парциального давления. Уравнение (31) показывает, что закон Генри в рассматриваемом случае не применим.

К сожалению, для равновесия жидкость — пар в случае неприменимости закона Генри слишком мало экспериментальных данных, чтобы можно было проверить полученные нами уравнения.

2. Равновесие аномальных смешанных кристаллов с водным раствором. Неравновесной фазой пусть будет твердая фаза, которая состоит из двух компонентов, состав которых AB_n и CB_n . Простым штрихом обозначим твердую (неравновесную) фазу, двойным штрихом — жидкую. Если второго компонента в системе мало, то, как мы показываем в готовящейся к печати работе,

$$\mu_2 = RT \ln \gamma_2 (1 + n_4) RT \ln x_2 + \text{const}, \quad (32)$$

$$\mu_2 = RT \ln \gamma_2 + (1 + n_4) RT \ln c_c + n_4 RT \ln c_B + \text{const}, \quad (33)$$

где c — концентрация соответствующих ионов в водном растворе. Подставляя (32) и (33) в (25), получаем

$$\frac{x_2}{c_c} = \frac{1}{K_2} \left(\frac{q_2}{v''} \right)^{1+n_4}, \quad (34)$$

где K_2 — некоторая величина, в которую входит отношение коэффициентов активности и концентрация иона B . При изучении процессов сокристаллизации в качестве количественной характеристики чаще всего при-

меняют коэффициент равновесной кристаллизации D , определяемый отношением:

$$D = \frac{x_2}{x_1} \cdot \frac{c_A}{c_c} \quad (35)$$

При малых количествах второго компонента в системе и при постоянной концентрации иона B величина K_2 и отношение c_A/x_1 могут быть приняты постоянными. Если объем жидкой фазы не изменяется, то из (34) и (35) получим:

$$D = R q_2^{\frac{1}{1+n_4}}, \quad (36)$$

где R — постоянная величина.

Уравнение (36) хорошо описывает экспериментальные данные. Ранее уже сообщалось, что для систем $LaF_3 - RaF_2 - H_2O$ и $LaF_3 - ThF_4 - H_2O$, где Ra и Th находятся в качестве микрокомпонентов, изотермы сокристаллизации хорошо передаются уравнениями [11].

$$D = 20 \cdot q_2^{1/2} \text{ для системы } LaF_3 - RaF_2 - H_2O, \quad (37)$$

$$D = 7,7 q_2^{1/4} \text{ для системы } LaF_3 - ThF_4 - H_2O. \quad (38)$$

Среди других изученных систем с нижней границей смешиваемости уравнение (36) подтверждается для системы хлористый аммоний — хлористый никель — вода, где микрокомпонентом служит никель. На рис. 4 по оси ординат отложено значение $\lg D$, а по оси абсцисс — значение $\lg q_2$, по данным Э. М. Иоффе [12]. Мы видим, что экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую. Уравнение этой прямой:

$$D = 0,166 \cdot q_2^{0,36}, \quad (39)$$

т. е. показатель степени здесь такой, какой требуется уравнением (36).

Среди аномальных смешанных кристаллов большое место занимают смешанные кристаллы типа неорганический «хозяин» — органический гость. При изучении равновесия этих смешанных кристаллов с водными растворами очень часто наблюдается нижняя граница смешиваемости, что является качественным подтверждением уравнения (36). В некоторых случаях имеются экспериментальные данные для более точной проверки. В работе [13] изучено распределение кристалл-пансо между солью сульфата калия и ее насыщенным раствором. Формула кристалл-пансо имеет вид K_2C . Следовательно, здесь мы имеем дело с твердыми растворами типа $AB_2 - CB_2$. Для этого случая уравнение (36) имеет вид:

$$D = R q_2. \quad (40)$$

На рис. 5 по оси ординат отложено значение $\lg D$, а по оси абсцисс — $\lg q_2$, по данным [14]. Экспериментальные точки удовлетворительно укладываются на прямую, уравнение которой:

$$D = 0,083 \cdot q_2. \quad (41)$$

Отметим, что уравнение (36) плохо описывает экспериментальные данные в случае сокристаллизации метиленовой сини с сульфатом калия, что, по-видимому, объясняется ассоциацией метиленовой сини в водном растворе.

Таким образом, экспериментальные данные хорошо подтверждают наши выводы.

3. Уравнение (25) можно применить к растворимости коллоидных растворов. Пусть вещество находится в равновесии со своим насыщен-

ным водным раствором. Обозначим водную фазу простым штрихом, твердую — двойным. Тогда

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + RT \ln c_2, \quad (42)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} = \text{const}, \quad (43)$$

где c_2 — концентрация рассматриваемого вещества в водном растворе.

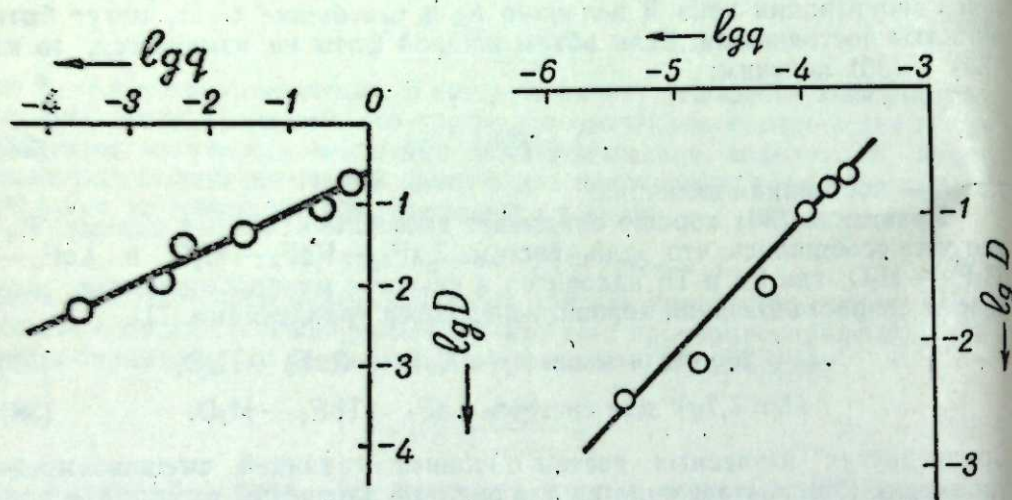


Рис. 4. Зависимость логарифма коэффициента равновесной кристаллизации от логарифма общей концентрации распределяющегося компонента в системе $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NiCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ при 0°C .

Рис. 5. Зависимость логарифма коэффициента равновесной кристаллизации от логарифма общей концентрации распределяющегося компонента в системе K_2SO_4 — сталь-понсо — H_2O при 0°C .

Если водный раствор является коллоидным, то, принимая постоянство коэффициента активности в водной фазе и ее объема, из (25) получим:

$$c_2 = \frac{1}{K_3} \cdot q_2, \quad (44)$$

где K_3 — постоянная величина. Уравнение (44) показывает, что растворимость коллоидного вещества прямо пропорциональна общему количеству этого вещества в системе. Если мы учтем, что основное количество рассматриваемого вещества будет находиться в твердой фазе (осадке), то растворимость коллоидного вещества будет прямо пропорциональна количеству осадка. Эти положения аналогичны правилу осадков Оствальда [14], которое подтверждается большим экспериментальным материалом.

Заключение

Таким образом, допущение о неравновесном состоянии компонента в одной из фаз в равновесной двухкомпонентной системе хорошо объясняет наличие «пороговых» явлений в гетерогенных системах, а уравнения, выведенные на основании этого допущения, хорошо описывают экспериментальные данные.

В нашей работе не рассматривается конкретная молекулярная картина, которая обуславливает неравновесное состояние одной из фаз системы. С точки зрения В. Г. Хлопина и Б. А. Никитина, причиной нижней границы смешиваемости в аномальных смешанных кристаллах является вхождение микрокомпонента в кристаллы макрокомпонента целыми участками кристаллической решетки, которые, с моле-

кулярно-кинетической точки зрения, следует рассматривать как агрегаты «молекул». Эти агрегаты, по Никитину, образуют как бы коллоидный раствор. Аналогичным образом объясняются и отклонения от закона Генри в бесконечно разбавленных растворах при равновесии жидкость — пар.

Развитые в нашей работе представления не противоречат этой картине. Более того, трудно представить другую картину, которая бы обусловила неравновесное состояние компонента в одной из фаз равновесной системы.

Каким образом образование агрегатов приводит к неравновесному состоянию компонента в фазе? Пусть мы имеем две фазы, в одной из которых компонент находится в виде молекул, а во второй — в виде молекул и агрегатов, состоящих из двух, трех и т. д. молекул. Поскольку в одной из фаз компонент находится только в виде одиночных молекул, то и фазы будут обмениваться молекулами, а не агрегатами этих молекул. Поэтому общее состояние компонента в фазе с агрегатами будет иным, чем в этой же фазе, отделенной от другой, так как вторая фаза вызывает некоторый уход (или приход) одиночных молекул, что приводит к изменению распределения молекул по агрегатам.

В связи с этим следует отметить, что уравнение (36) нами было получено молекулярно-кинетическим методом с использованием допущения об образовании агрегатов [11, 15]. Здесь уместно отметить любопытное обстоятельство относительно большей общности молекулярно-кинетического метода по сравнению с другими. Действительно, единственным условием применения молекулярно-кинетического метода является соблюдение принципа микроскопической обратимости, но требование равновесного состояния фаз не является обязательным. Поэтому-то молекулярно-кинетический метод применим к рассматриваемому в нашей работе случаю, а методы обычной термодинамики обратимых процессов не применимы, поскольку они требуют выполнения обоих условий равновесия.

Характерной чертой «пороговых» явлений, с рассматриваемой нами точки зрения, является зависимость состояния равновесия от отношения v''/q_2 (см. уравнение (23)). Это не может быть объяснено термодинамикой обратимых процессов и, более того, противоречит ей, поскольку в термодинамике обратимых процессов равновесие не является функцией объема (или общего количества вещества в системе). Однако экспериментальные данные В. Г. Хлопина, Б. А. Никитина, М. С. Меркуловой и Э. М. Иоффе (а также данные по растворимости коллоидных растворов) подтверждают уравнение (23) и другие наши выводы. Следовательно, наше объяснение соответствует действительности.

В уравнении (23) величина f определяется всей системой в целом. Поэтому «пороговые» явления есть свойства системы, а не свойства отдельных фаз.

Из уравнения (23) следует также, что «пороговые» явления будут наблюдаться при достаточно большом значении f . Но эту величину мы можем изменять, меняя отношение v''/q_2 . Казалось бы, что, увеличивая объем равновесной фазы или уменьшая общее количество второго компонента в системе, мы могли бы всегда найти нижний порог смешиваемости в неравновесной фазе, т. е. мы могли бы утверждать, что в любой системе есть «порог» смешиваемости. Однако это не так. Ведь величина f определяется не только отношением v''/q_2 , но и другими особенностями системы, которые мы в уравнении (24) охарактеризовали коэффициентом ν . Величина ν для некоторых систем может оказаться настолько малой, что для наблюдения нижней границы смешиваемости потребуют-

... системы и б...
 ... приводят нас к...
 ... явления является инте-
 ... и неорганической химии и
 ... может быть важная в практиче-
 ... Кроме того, «обратимые» явления являются как
 ... обратимых процессы и термодинамике
 ... значению которой сейчас несомненно возрастает.

Получено в редакцию
29.XI.1957

ЛИТЕРАТУРА

... Z. phys. Chem., A, 145, 137 (1929).
 ... ЖФХ, 14, 931 (1946).
 ... Изв-во иностр. лит., М., 1948.
 ... ЖНХ, 3, 1937 (1952).
 ... ЖФХ, 84, 181 (1952).
 ... Фазовые равновесия в растворах при высоких давлениях.
 ... 84, 372 (1953).
 ... ЖФХ, 31, 1561 (1957).
 ... стационарных необратимых процессов. Изд-во иностр.
 ... ЖНХ, 4, 2890 (1956).
 ... Известия АН СССР, ОХН, № 12, 1429 (1956).
 ... Известия АН СССР, ОХН, № 1, 15 (1943).
 ... Растворы высокомолекулярных соединений. Госхимиздат, М.—Л.,
 ... ЖНХ, 3, 1447 (1958).

Ф. Т. ШОСТАК, М. В. ВИТТИХ, А. К. ШАРОВА, И. Г. ЧУФАРОВА

ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕРМАНИЯ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА

Существующие методы выделения германия из растворов несовершенны. Трудность разработки доступных методов извлечения германия заключается в том, что в природе он находится в рассеянном состоянии. Обычно германию сопутствуют другие близкие по свойствам металлы, отделение которых представляет весьма сложную задачу.

Для выделения рассеянных металлов перспективен метод ионного обмена [1, 2]. Этот метод в настоящее время заслуживает большого внимания [3].

В литературе отсутствуют данные о пригодности отечественных ионообменников для выделения германия из растворов. Имеются указания зарубежных исследователей о возможности сорбции германия на сильноосновных анионообменниках — амберлит IRA-400 [4—8], дауэкс-1 [9] — и неэффективности обмена на катионообменниках — зеокарб-225 и дауэкс-50 [4, 10].

Данная работа проведена с целью подбора уже существующих и создания новых селективных марок ионообменников для выделения германия из растворов.

Изучение возможности выделения германия на катионообменных смолах

В ранее опубликованной нашей статье [11] сообщалось о сорбции германия на анионообменных смолах. Была показана возможность выделения германия на сильноосновных анионитах и достигнуто значительное концентрирование германия в элюирующем растворе.

В настоящей работе проведены исследования по изучению сорбции германия на катионообменных смолах. С целью выбора пригодных марок катионитов были обследованы различные по своей природе отечественные катионообменники.

Из существующих марок катионитов были испытаны следующие: конденсационный сульфонафталиновый обменник КУ-5М; конденсационный сульфопенольный КУ-1Г; полимеризационный сульфополистирольный КУ-2; конденсационный сульфообменник, полученный из сточных вод коксохимического производства, КУ-21; конденсационный карбоксильный катионит, в основу которого входит резорцин, РОАС; полимеризационный карбоксильный обменник КБ-4П, синтезированный на основе метакриловой кислоты; полимеризационный карбоксильный катионит СГ-1. Все образцы смол синтезированы в лаборатории № 21 НИИПМ. Обменники КУ-5М, КУ-1Г, КУ-21 и РОАС являются полифункциональными.

Исследования проводились в статических условиях. В колбочки емкостью 200 мл помещалась навеска катионита — 0,2—0,5 г и 100 мл исходного раствора германия. Колбочки устанавливались на аппарате

для перемешивания. Катионит с раствором перемешивался в течение 24 час. Затем растворы отфильтровывались и анализировались на содержание германия. Германий определялся колориметрически с фенолфлуороном на электрофотокolorиметре ФЭК-М. Емкость катионитов рассчитывалась по количеству поглощенного германия и выражалась в миллиграммах германия на 1 г сухой смолы.

В качестве исходных применялись растворы, содержащие 3—5% серной кислоты или близкие к нейтральным (рН 5—7). Концентрация двуокиси германия колебалась в пределах 45—50 мг на литр.

Результаты опытов по изучению сорбции германия из кислых растворов на катионообменных смолах представлены в табл. 1.

Таблица 1

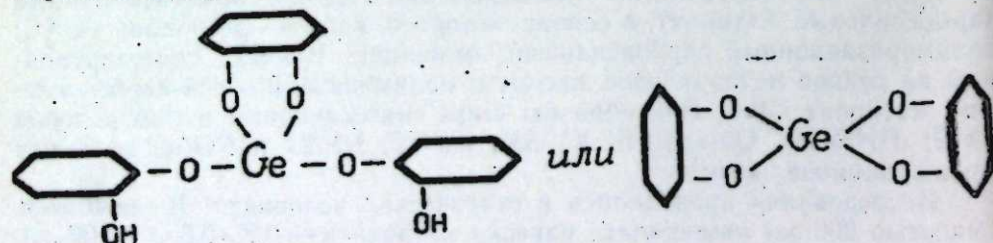
Сорбция германия на катионитах из сернокислых растворов

Катиониты		Содержание в исходном растворе		Сорбировалось германия (мг/г смолы)
марка	функциональные группы	GeO ₂ (мг в 100 мл)	H ₂ SO ₄ (г в 100 мл)	
КУ-5М	—SO ₃ H, —COOH	5,0	5,0	0,0
КУ-1Г	—SO ₃ H, —OH	5,0	5,0	0,0
КУ-2	—SO ₃ H	5,0	5,0	0,0
КБ-4П	—COOH	5,0	5,0	0,2
РОАС	—COOH, —OH	5,0	5,0	1,1
СГ-1	—COOH	5,0	5,0	0,0
КУ-21	—SO ₃ H, —COOH, —OH	5,0	5,0	0,0

Из таблицы следует, что большинство испытанных марок катионообменников не сорбирует германий. Германий выделяется из кислых растворов лишь на катионитах РОАС и КБ-4П. Бифункциональный обменник РОАС, содержащий карбоксильную и ОН-фенольную группы, сорбирует в этих условиях довольно заметные количества германия — 1,1 мг на 1 г сухой смолы. Небольшое количество германия — 0,2 мг на 1 г смолы — выделяется на катионите КБ-4П. Возможно, что в последнем случае смола наряду с карбоксильными группами содержала немного и ОН-фенольных групп.

Исследования, проведенные с нейтральными растворами, показали, что сорбция в этих условиях практически не имеет места.

Извлечение германия из кислых растворов указанными выше катионитами происходило, по всей видимости, за счет образования комплексных соединений. Реакционную функцию в обменниках выполняет особое сочетание гидроксильных групп с карбоксильными. В соответствии с работами Бевиллара [12—14], подобная группировка может обусловить образование комплексных соединений германия типа



Таким образом, вопреки утверждению Эвереста и Салмона [4] и других исследователей [10], можно подобрать катионообменники, способные сорбировать германий из кислых растворов.

Следующая серия опытов проводилась по изучению выделения германия на катионитах из солянокислых растворов. Исходный раствор готовился растворением двуокиси германия в 5—7 н. соляной кислоте. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сорбция германия на катионитах из солянокислых растворов

Катиониты		Содержание GeO ₂ в исходном растворе (мг в 100 мл)	Сорбировалось германия (мг/г смолы)
марка	функциональные группы		
КУ-5М	—SO ₃ H, —COOH	5,0	следы
РОАС	—COOH, —OH	5,0	1,5

Улучшения сорбционных свойств смол в соляной кислоте не отмечено.

Были проведены также испытания с растворами германия в присутствии солянокислого гидроксиламина, который вводился в количестве 1 г на 100 мл раствора. Условия испытания были те же, что и в предыдущих опытах.

Таблица 3

Сорбция германия на катионитах в кислой среде в присутствии гидроксиламина

Катиониты		Содержание GeO ₂ в исходном растворе (мг в 100 мл)	Сорбировалось германия (мг/г смолы)
марка	функциональные группы		
КУ-5М	—SO ₃ H, —COOH	5,0	0,0
КУ-21	—SO ₃ H, —COOH, —OH	5,0	4,9
КУ-1Г	—SO ₃ H, —OH	5,0	3,3
КУ-2	—SO ₃ H	5,0	0,0
РОАС	—COOH, —OH	5,0	0,0
КБ-4П	—COOH	5,0	0,0

Высокая сорбируемость германия наблюдается в этих условиях на катионите КУ-21 — 4,9 мг на 1 г сухой смолы — и несколько ниже на КУ-1Г — 3,3 мг/г. Остальные катиониты германия не поглощают.

Представляли интерес также испытания катионитов в аминной (солевой) форме. При проведении этих исследований катиониты предварительно обрабатывались пиридином, парами или ортооксихинолином и т. п. Избыток амина отмывался водой. Полученные данные представлены в табл. 4. Для сравнения в таблице приведены результаты опытов с катионитами в кальциевой форме.

Таблица 4

Сорбция германия на катионитах в солевой форме

Катиониты	Сорбировалось германия (мг/г смолы)
КБ-4П, обработан о-оксихинолином	0,3
РОАС, обработан о-оксихинолином	0,2
КБ-4П в Са-форме	0,0
РОАС в Са-форме	0,0

Как и следовало ожидать, в Са-форме ни смолы РОАС, ни КБ-4П не поглощают германий. В аминной форме сорбционная способность по германию для смолы РОАС снизилась, для КБ-4П осталась той же.

Таким образом, германий может поглощаться катионитами РОАС и в меньшей мере — КБ-4П в кислой среде или КУ-21 и КУ-1Г в слегка подкисленных растворах в присутствии гидроксиламина.

Синтез новых селективных марок смол

В любом исходном сырье германий находится в смеси с другими близкими по свойствам металлами, поэтому выделение его из растворов с помощью существующих марок ионообменников связано с некоторыми трудностями.

Отделение германия от других элементов было бы весьма простым при наличии селективного ионита. Однако селективные по отношению к германию ионообменники до сих пор не известны.

Мы сделали попытку синтезировать новые смолы, которые бы сорбировали германий и не поглощали других металлов. Было получено и опробовано около 30 образцов различных смол. При синтезе новых сорбентов стремились получить смолы трехмерного строения, нерастворимые, но ограниченно набухающие и обладающие функциональными группами, способными взаимодействовать с соединениями германия.

Учитывалась способность германия давать соединения с гетероциклическими азотистыми основаниями [15], диазосоединениями и алифатическими аминами, с фенилфлуороном, двухатомными фенолами и карбоксильными производными полиатомных фенолов [12—14], многоатомными спиртами [16] и оксикислотами [17]. Были приняты во внимание также полученные результаты исследований с катионообменниками, особенно с маркой РОАС, и анионообменными смолами, главным образом типа АВ-16.

Первая серия образцов была приготовлена на основе новолачных смол (фенола), вторая — на основе двух- и трехатомных фенолов и их производных или сырых фенолов, содержащих двухатомные фенолы. Третья серия была синтезирована на основе различных изомеров оксихинолина, четвертая серия — на основе таннина, пятая серия — на основе фенилфлуорона и других подобных соединений, шестая серия — на основе сочетаний органических соединений различной природы.

Полученные смолы испытывались обычно в кислых средах (3—5% H_2SO_4). Результаты исследований отдельных полученных образцов смол представлены в табл. 5. Наиболее высокая сорбируемость герма-

Таблица 5

Сравнительная характеристика новых образцов смол

Марка смолы	Влажность (в %)	Набухаемость (мл/г)	Сорбировалось германий (мг/г сухой смолы)
105-Ge	26,7	2,1	3,5
113-Ge	52,0	3,4	6,3
116-Ge	12,9	3,0	4,6
117-Ge	13,8	2,6	1,6
118-Ge	19,9	3,2	8,7
119-Ge	34,4	2,2	6,3
122-Ge	7,2	5,8	8,1
131-Ge	22,6	—	7,2
109-Ge	20,6	1,8	3,9
115-Ge	18,8	2,5	3,4

ния наблюдается на смоле 118-Ge (8,7 мг/г); почти такая же емкость и у смолы 122-Ge (8,1 мг/г). Однако по другим показателям она заметно уступает смоле 118-Ge. Набухаемость смолы 118-Ge не превышает величины 3,2 мл/г, а механическая прочность остается достаточно высокой. Набухаемость смолы 122-Ge значительно выше — 5,8 мл/г, а прочность меньше. Емкость по германию большинства остальных смол ниже, но также вполне удовлетворительная. Все приведенные смолы отличаются определенной избирательностью по отношению к германию.

Таблица 6

Селективные свойства смолы 105-Ge

Взято смолы (в г)	Содержание в исходном растворе				Содержание в растворе после перемешивания со смолой			
	Ge (мг/л)	As (V) (г/л)	As (III) (г/л)	Zn (г/л)	Ge (мг/л)	As (V) (г/л)	As (III) (г/л)	Zn (г/л)
1,5	23	—	—	—	—	—	—	—
1,5	—	7,83	—	—	—	7,62	—	—
1,5	—	—	4,88	—	—	—	4,78	—
1,5	—	—	—	72,5	—	—	—	72,1
1,5	23	7,92	4,43	71,0	3,2	7,7	4,40	70,3

Данные о селективных свойствах смолы 105-Ge представлены в табл. 6. В этих опытах смола и исходный раствор выдерживались в колбе на аппарате для встряхивания в течение 24 час. при комнатной температуре. Кислотность растворов составляла 35 г/л H_2SO_4 . Как видно из таблицы, типичные сопутствующие германию элементы (цинк, трех- и пятивалентный мышьяк) практически не сорбируются смолой 105-Ge. Данная смола может быть использована для отделения германия от сопутствующих элементов.

Поисковые работы по синтезу новых смол продолжаются и будут освещаться в последующих сообщениях.

Выводы

1. Исследована сорбция германия на различных марках катионообменных смол отечественного производства. Установлено, что германий практически сорбируется только на катионитах типа РОАС и в известных условиях — на катионитах КУ-21 и КУ-1Г.

2. Синтезированы новые селективные по отношению к германию смолы. Лучшими из них являются марки 105-G и 118-G.

Н.-Тагильское отделение НИИПМ
Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию
1/VII 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Ионный обмен и его применение. Под ред. К. В. Чмутова. Изд. АН СССР, М., 1959.
2. Ионообменная технология. Под ред. Ф. Находа и Д. Шуберга. Металлургиздат, М., 1959.
3. Редкоземельные металлы. Под ред. Л. Н. Комиссаровой и В. Е. Плющева. Изд-во иностр. лит., М., 1957.
4. D. A. Everest, J. E. Salmon, Studies in the chemistry of quadrivalent germanium; Ion-exchange studies of solutions of germanates. J. Chem. Soc., July, 2438, 1954.

5. D. A. Everest, J. E. Salmon, Studies in the chemistry of quadrivalent germanium. Part II. The depolymerisation of the pentaermanate ion with change of pH, and ion-exchange studies of germanate solutions containing sulphate and orthophosphate. J. Chem. Soc., May, 1444, 1955.
6. D. A. Everest, Studies in the chemistry of quadrivalent germanium. Part III. Ion-exchange studies of solutions containing germanium and oxalate. J. Chem. Soc., Dec., 4415, 1955.
7. D. A. Everest, Ion-exchange data on simple oxalate solutions. Research, 86, 58, 1955.
8. D. A. Everest, J. C. Harrison, The chemistry of quadrivalent germanium. Part V. Ion-exchange studies of germanate solutions containing polyhydric alcohols. J. Chem. Soc., Oct., 4319, 1957.
9. F. Nelson, K. Kraus, Anion-exchange studies. XVIII. Germanium and Arsenic in HCl solutions. J. Chem. Soc., 77, 17, 1955.
10. R. Klement, H. Sandmann, Trennung des Galliums, Indiums und Germaniums von anderen Metallen durch Ionenaustausch. Z. analyt. Chem., 145, 325, 1955.
11. А. К. Шарова, И. Г. Чуфарова, М. В. Виттих, Ф. Т. Шостак, Выделение германия из разбавленных растворов методом ионного обмена. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 8, 36, 1959.
12. P. Bevillard, Les acides phenolgermaniques. Bull. Soc. Chim. France, 3, 296, 1954.
13. P. Bevillard, Les germanidiphenols. Bull. Soc. Chim. France, 3, 304, 1954.
14. P. Bevillard, Les reactifs du germanium. Bull. Soc. Chim. France, 3, 307, 1954.
15. И. П. Алимарин, О. А. Алексеева, Количественное определение германия с помощью о-оксихинолина. ЖПХ, 12, 1900, 1939.
16. M. A. Tchakirian, M. G. Urbain, Dosage titrimetrique de l'acide germanique, etudes de quelques formes hydratees de set acide et de ses sels. Comptes Rendus, 187, 229, 1928.
17. A. Pelugmacher, I. Rohrmann, Ober Komplexverbindungen des Germaniums mit organischen Hydroxysäuren. Angew. Chem., 69, 778, 1957.

Е. П. БАБИН, В. Г. ПЛЮСНИН,
И. А. АЛЕКСЕЕВА

О КИНЕТИКЕ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОМЕРОВ АЛКИЛБЕНЗОЛОВ В ПРОЦЕССЕ АЛКИЛИРОВАНИЯ*

В настоящее время в литературе опубликовано значительное количество работ, раскрывающих кинетические закономерности реакции алкилирования — реакции последовательного или обратимо-последовательного замещения атомов водорода бензольного ядра алкильными группами [1—4]. Сделана также попытка математически обработать последовательно-параллельное образование изомеров различных алкилбензолов [5].

Целью настоящей работы было изучение изомерного состава ди- и триизопрпилбензольных фракций при молярных соотношениях пропилен — бензол от 0 до 4, т. е. до образования конечного продукта реакции — тетраизопрпилбензола. Полученные данные позволяют найти константы скоростей образования каждого изомера алкилбензолов, что даст возможность определить оптимальные условия для максимального получения того или иного изомера, в частности п-диизопрпилбензола.

Знание скоростей образования изомеров диалкилбензолов устранит существующее разногласие в значениях количества изомеров в диалкилбензольных фракциях [6]. Последнее, видимо, вызвано не только использованием различных методов анализа диалкилбензолов, зачастую имеющих большую погрешность, но и получением диалкилбензолов в различных несопоставимых условиях и при различных молярных соотношениях олефин — бензол, что также существенно влияет на выход различных изомеров.

Экспериментальная часть

Алкилирование бензола пропиленом проводилось при 60° с применением 0,03 моля хлористого алюминия на моль бензола. Как было показано ранее [7], алкилирование бензола с 0,03 моля хлористого алюминия является оптимальным. Скорость подачи пропилена составляла 290—320 л/час на кг бензола.

Состав алкилата и отдельных фракций при различных значениях молярного соотношения пропилен — бензол приведен в табл. 1. В табл. 2 даны физико-химические характеристики ди-, три- и тетраизопрпилбензольных фракций. Изомерный состав ди- и триизопрпилбензольных фракций определялся методом комбинационного рассеяния света. Расшифровка спектров диизопрпилбензолов производилась по данным [8, 9], триизопрпилбензолов — по данным [10]. Структура тетраизопр-

* В выполнении экспериментальной части работы принимали участие М. И. Зеленцова и Г. А. Семерева.

Таблица 1

Состав алкилата и фракций при различных молярных соотношениях пропилен—бензол

n	P ₀	P ₁	P ₂				P ₃		P ₄	
			общий выход	1, 3-изомер		1, 4-изомер		общий выход		1,3,5-изомер
				% от фракции	% от алкилата*	% от фракции	% от алкилата*			
0,158	78,4	18,4	1,9	—	—	—	—	—	—	
0,417	52,0	41,6	9,0	70	6,3	30	2,7	—	—	
0,499	44,4	44,6	10,4	75	7,8	25	2,6	—	—	
0,679	34,0	48,1	17,3	74	12,8	26	4,5	—	—	
0,788	27,4	49,7	18,5	75	13,9	25	4,1	1,1	100	
0,955	16,6	46,4	28,9	75	21,6	25	7,3	1,8	100	
1,175	13,7	41,7	37,7	67	25,3	33	12,4	3,6	100	
1,667	3,6	25,6	47,3	69	32,6	31	14,9	18,6	100	
1,781	2,3	23,8	52,0	71	36,9	29	15,1	20,8	100	
1,844	2,3	20,0	51,0	67	34,2	33	16,8	23,2	100	
1,944	1,3	19,2	49,4	69	34,1	31	15,3	29,1	100	
2,265	0,1	10,9	44,8	63	30,9	31	13,9	43,0	100	
2,282	0,2	8,8	43,1	—	—	—	—	44,1	—	
2,697	0,2	2,3	27,1	68	18,4	32	8,7	65,1	100	
2,750	0,1	—	18,0	64	11,6	36	4,5	76,2	100	
2,889	—	0,7	9,5	62	5,9	38	3,6	78,8	100	
3,005	—	0,3	5,7	—	—	—	—	82,0	10,0	
3,223	—	0,3	1,4	60	0,8	40	0,6	77,5	20,0	

* Рассчитано по данным спектрального анализа и по выходам фракций.

Примечание: n — молярное соотношение пропилен — бензол,

P₀ — содержание бензола в алкилате, вес. %,P_i — содержание алкилбензолов (от моно- до тетраизопропил-бензола, i = 1, 2, 3, 4).

Таблица 2

Физико-химическая характеристика фракций

Фракция	Темп. кип., °C	d ₄ ²⁰	n _D ²⁰	Йодное число	Лит. ссылка
Диизопропилбензол	198—212	0,8503	1,4894	нет	[11]
Триизопропилбензол	235—236	0,8545	1,4888	.	.
Тетраизопропилбензол	115,6	—	—	.	.

илбензола была определена окислением перманганатом калия и соответствовала структуре, приведенной в литературе для 1, 2, 4, 5-изомера [6].

Обсуждение результатов

Данные табл. 1 указывают, что при алкилировании бензола пропиленом при 60° в присутствии хлористого алюминия образуются только два изомера — м- и п-диизопропилбензолы — и один изомер — 1, 3, 5-триизопропилбензол. Данные количественного анализа диизопропилбензольных фракций, полученных при молярных соотношениях пропилен — бензол от 0,4 до 3,2, противоречат данным Ю. Г. Мамедальева [6] и близки к данным Саймонса [12] и авторов работы [10].

Равновесный изомерный состав диизопропилбензолов (75% м- и 25% п-изомеров), определенный нами ранее [10] путем изомеризации с хлористым алюминием спектрально чистых 1,4-, 1,3- и 1,2-изомеров и

их смесей, наблюдается при молярных соотношениях пропилен — бензол от 0,5 до 1,0. При более высоких значениях равновесие смещается в сторону 1,4-изомера, менее устойчивого термодинамически.

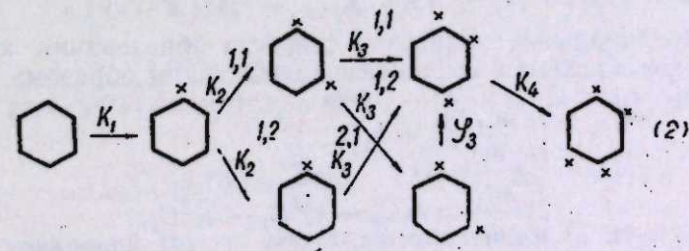
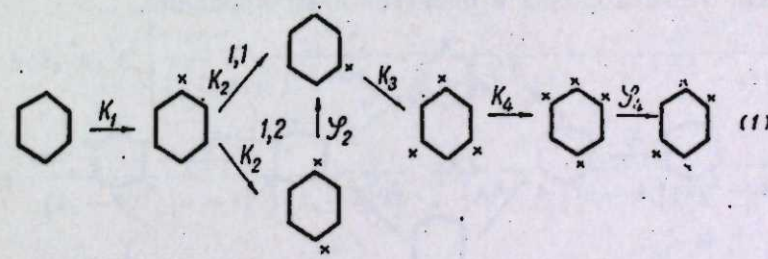
Образование преимущественно 1,3-изомера в реакциях Фриделя — Крафта — Густавсона противоречит правилам ориентации, но, как уже было установлено, подтверждается ранее проведенными исследованиями [12—14]. В настоящее время образование 1,3-изомера большинство авторов объясняют изомеризацией 1,2-изомера, образующегося при алкилировании. Если алкилирование проводится в условиях, исключающих изомеризацию [10, 14, 15], то образуется значительное количество 1,2-изомера. При алкилировании с хлористым алюминием в более жестких условиях 1,2-изомер легко изомеризуется в 1,3- и отчасти в 1,4-изомеры. Указанное вытекает из данных, полученных нами [10], а также из данных Брауна и Джунка [16]. Исследования по водородному обмену между производными бензола и жидким бромистым дейтерием [17] указывают, что соотношения $k_n:k_o:k_m=1000:200:1$ свидетельствует о наибольшей устойчивости 1,2-положения. Близкая картина по скоростям обмена (и, очевидно, изомеризации) будет иметь место для изомеров диизопропилбензолов.

Исследования Брауна с сотрудниками [18] показали, что ориентация при алкилировании зависит от природы замещающего агента. Очевидно, природа катализатора также существенно влияет на ориентацию алкильных групп в бензольном ядре [10].

Изомеризующее влияние хлористого алюминия отчетливо проявляется при образовании триалкилбензолов. Если с фтористым водородом и с серной кислотой образуется, помимо 1, 3, 5-изомера, до 92—93% (на фракцию) 1, 2, 4-изомера при пропилировании бензола, то с хлористым алюминием образуется практически чистый 1, 3, 5-изомер [10].

Как и следовало ожидать, наибольший выход м-(34,5%) и п-(15,5%) изомеров имеет место при значениях n, близких к 2 (данные взяты из рис. 2).

Учитывая изомерный состав углеводородов алкилата, можно считать, что реакция пропилирования бензола протекает по схемам [1, 2].



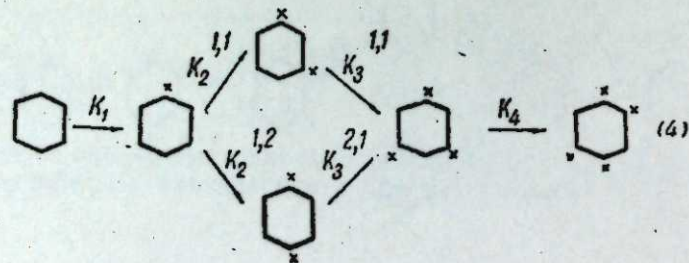
В схемах 1, 2, в отличие от схемы, рассмотренной Гольдом [5], необходимо допустить реакции изомеризации: по схеме 1 — 1,4-изомера в 1,3-

изомер и 1, 2, 3, 5-изомера в 1, 2, 4, 5-изомер и по схеме 2 — 1, 3, 5-изомера в 1, 2, 4-изомер, чтобы объяснить последовательное образование конечного продукта — 1, 2, 4, 5-тетраизопробилбензола.

Дифференциальные уравнения скоростей образования алкилбензолов, считая реакцию алкилирования мономолекулярной [2, 3], можно выразить в виде:

Для схемы 1	Для схемы 2
$\frac{dC_0}{dt} = -k_1 C_0,$	$\frac{dC_0}{dt} = -k_1 C_0,$
$\frac{dC_1}{dt} = k_1 C_0 - k_2^{1,1} C_1 - k_2^{1,2} C_1,$	$\frac{dC_1}{dt} = k_1 C_0 - k_2^{1,1} C_1 - k_2^{1,2} C_1,$
$\frac{dC_2'}{dt} = k_2^{1,1} C_1 + \varphi_2 C_2' - k_3 C_2',$	$\frac{dC_2'}{dt} = k_2^{1,1} C_1 - k_3^{1,1} C_2' - k_3^{1,2} C_2',$
$\frac{dC_2''}{dt} = k_2^{1,2} C_1 - \varphi_2 C_2'',$	$\frac{dC_2''}{dt} = k_2^{1,2} C_1 - k_3^{2,1} C_2'',$ (3)
$\frac{dC_3}{dt} = k_3 C_2' - k_4 C_3,$	$\frac{dC_3}{dt} = k_3^{1,1} C_2' + k_3^{2,1} C_2'' + \varphi_3 C_3' - k_4 C_3',$
$\frac{dC_4'}{dt} = k_4 C_3 - \varphi_4 C_4',$	$\frac{dC_3'}{dt} = k_3^{1,2} C_2' - \varphi_3 C_3',$
$\frac{dC_4''}{dt} = \varphi_4 C_4',$	$\frac{dC_4}{dt} = k_4 C_3',$

Не вдаваясь в подробности решения уравнений (3) операционным методом, укажем, что подбор скоростных постоянных k_i и особенно φ вызывает большие затруднения из-за отсутствия количественных данных по изомеризации алкилбензолов и ее влияния на величины k_i в рассматриваемом процессе. В связи с этим для расчета использовали схему 4 реакции, исходя из состава конечных продуктов, без учета изомеризации углеводородов в процессе алкилирования.



Дифференциальные уравнения скорости образования каждого из углеводородов по схеме 4 выражаются следующим образом:

- 1) $\frac{dC_0}{dt} = -k_1 C_0,$
- 2) $\frac{dC_1}{dt} = k_1 C_0 - k_2^{1,1} C_1 - k_2^{1,2} C_1,$
- 3) $\frac{dC_2'}{dt} = k_2^{1,1} C_1 - k_3^{1,1} C_2',$

$$4) \frac{dC_2''}{dt} = k_2^{1,2} C_1 - k_3^{2,1} C_2'', \quad (5)$$

$$5) \frac{dC_3}{dt} = k_3^{1,1} C_2' + k_3^{2,1} C_2'' - k_4 C_3,$$

$$6) \frac{dC_4}{dt} = k_4 C_3.$$

Исходя из того, что приведенные уравнения являются дифференциальными уравнениями первого порядка с постоянными коэффициентами, решение их возможно. В данном случае был использован метод операционного исчисления. Указанный метод решения подобных уравнений подробно изложен в статье В. Г. Плюснина и Н. М. Родигина [3].

В конечном итоге уравнения состава после интегрирования имеют вид:

$$C_0 = C e^{-k_1 t},$$

$$C_1 = k_1 C \left[\frac{e^{-k_1 t}}{a - k_1} + \frac{e^{-at}}{k_1 - a} \right],$$

$$C_2' = k_1 k_2^{1,1} C \left[\frac{e^{-k_1 t}}{(a - k_1)(k_3^{1,1} - a)} + \frac{e^{-at}}{(k_1 - a)(k_3^{1,1} - a)} + \frac{e^{-k_3^{1,1} t}}{(k_1 - k_3^{1,1})(a - k_3^{1,1})} \right],$$

$$C_2'' = k_1 k_2^{1,2} C \left[\frac{e^{-k_1 t}}{(a - k_1)(k_3^{2,1} - a)} + \frac{e^{-at}}{(k_1 - a)(k_3^{2,1} - a)} + \frac{e^{-k_3^{2,1} t}}{(k_1 - k_3^{2,1})(a - k_3^{2,1})} \right], \quad (6)$$

$$C_3 = k_1 k_2^{1,1} k_3^{1,1} C \left[\frac{e^{-k_1 t}}{(a - k_1)(k_3^{1,1} - k_1)(k_4 - k_1)} + \frac{e^{-at}}{(k_1 - a)(k_3^{1,1} - a)(k_4 - a)} + \frac{e^{-k_3^{1,1} t}}{(k_1 - k_3^{1,1})(a - k_3^{1,1})(k_4 - k_3^{1,1})} + \frac{e^{-k_4 t}}{(k_1 - k_4)(a - k_4)(k_3^{1,1} - k_4)} \right] +$$

$$+ k_1 k_2^{1,2} k_3^{2,1} C \left[\frac{e^{-k_1 t}}{(a - k_1)(k_3^{2,1} - k_1)(k_4 - k_1)} + \frac{e^{-at}}{(k_1 - a)(k_3^{2,1} - a)(k_4 - a)} + \frac{e^{-k_3^{2,1} t}}{(k_1 - k_3^{2,1})(a - k_3^{2,1})(k_4 - k_3^{2,1})} + \frac{e^{-k_4 t}}{(k_1 - k_4)(a - k_4)(k_3^{2,1} - k_4)} \right],$$

$$C_4 = 100 - \sum_{C_0}^{C_3} C_i, \quad \text{где } a = k_2^{1,1} + k_2^{1,2}.$$

Из уравнений (6) по известным значениям C_i представляется возможным определить соотношение между скоростными постоянными, или, точнее, соотношение между абсолютными значениями констант скоростей образования продуктов последовательно-параллельной реакции.

Используя уравнения (6) и метод, принятый при обработке результатов по алкилированию бензола олефинами, приведенный в [19], мы установили, что наиболее близко вычисленные значения C_i подходят к данным таблицы при следующем соотношении скоростных постоянных:

$$k_1 : k_2^{1,1} : k_2^{1,2} : k_3^{1,1} : k_3^{2,1} : k_4, \text{ как } 1 : 0,4 : 0,18 : 0,24 : 0,24 : 0,015. \quad (7)$$

Уравнения состава продуктов алкилирования при данном соотношении представляются в следующем виде (при $k_1 = k$):

$$\begin{aligned} C_0 &= 100e^{-kt}, \\ C_1 &= 100(2,381e^{-0,58kt} - 2,381e^{-kt}), \\ C_2 &= 100(1,548e^{-0,24kt} - 2,801e^{-0,68kt} + 1,253e^{-kt}), \\ C_2' &= 100(0,697e^{-0,24kt} - 1,261e^{-0,58kt} + 0,564e^{-kt}), \\ C_3 &= 100(1,112e^{-0,015kt} - 2,394e^{-0,24kt} + 1,725e^{-0,58kt} - 0,443e^{-kt}), \\ C_4 &= 100(1 \cdot 1,112e^{-0,015kt} + 0,152e^{-0,24kt} - 0,044e^{-0,58kt} + 0,047e^{-kt}), \\ \sum C_i &= 100. \end{aligned} \quad (8)$$

Зависимость n от kt выражается таким образом:

$$n = 4 - 1,112e^{-0,015kt} - 2,084e^{-0,24kt} - 0,744e^{-0,58kt} + 0,220e^{-kt}. \quad (9)$$

Сравнивая дифференциальные уравнения скоростей образования алкилбензолов при последовательном [2, 3] и последовательно-параллельном течении реакции (уравнения 5), можно видеть, что

$$k_2 = k_2^{1,1} + k_2^{1,2}, \quad (10)$$

$$k_3 = k_3^{1,1} + (k_3^{2,1} - k_3^{1,1}) \frac{C_2'}{C_2}, \quad (11)$$

$$k_3 = k_3^{2,1} + (k_3^{1,1} - k_3^{2,1}) \frac{C_2'}{C_2}. \quad (12)$$

В частном случае, когда $k_3^{1,1} = k_3^{2,1}$, по уравнениям (11) и (12) получаем, что $k_3 = k_3^{1,1} = k_3^{2,1}$.

Как было показано ранее [20], при алкилировании бензола пропиленом в аналогичных условиях и при выделении суммарной диизопробензолной фракции было подобрано следующее соотношение скоростных постоянных

$$k_1 : k_2 : k_3 : k_4, \text{ как } 1 : 0,58 : 0,24 : 0,015. \quad (13)$$

При сопоставлении соотношений (7) и (13) видно, что уравнения (10), (11) и (12) полностью подтверждаются.

Исходя из того, что соотношения констант скоростей для последовательной [20] и параллельно-последовательной реакций находились методом подбора, равенство значений $k_2 = k_2^{1,1} + k_2^{1,2}$ и $k_3 = k_3^{1,1} = k_3^{2,1}$ не должно вызывать сомнения, так как изменения для величин $k_2 \pm 0,005$, $k_3 \pm 0,005$ и $k_4 \pm 0,0005$ незначительно изменяют положение вычисленных кривых относительно экспериментальных точек.

Из соотношений максимальных выходов m - и p -изомеров и соответствующих констант скоростей их образования можно прийти к заключению, что скорость образования m -изомера превышает скорость образования p -изомера в 2,2 раза.

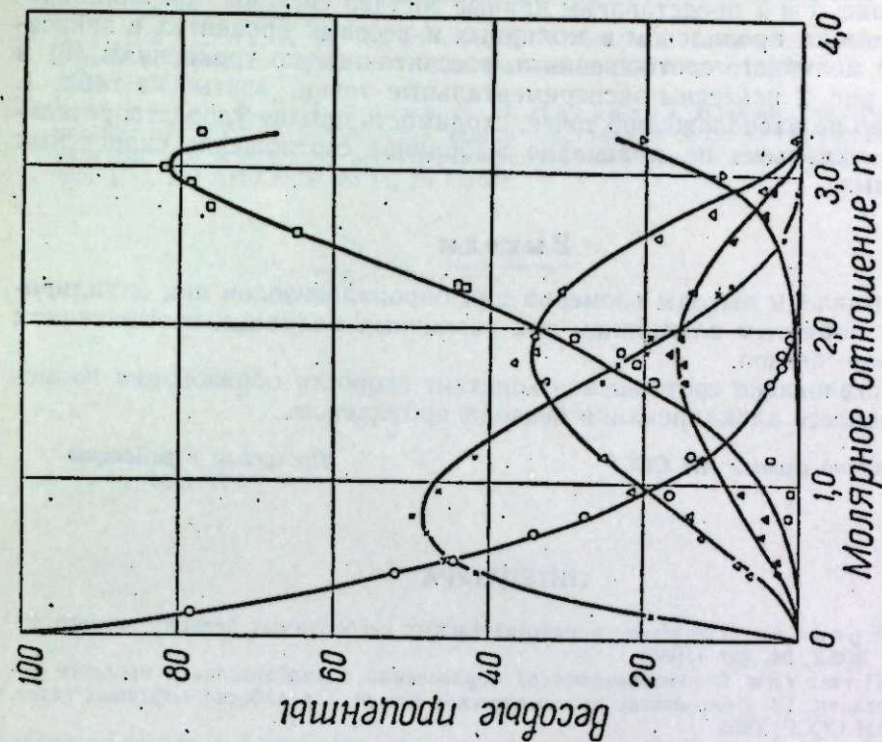


Рис. 2. Весовой состав системы. Опытные данные: O — бензол, X — 1-диизопробензол, Δ — 1,3-диизопробензол, □ — 2,3-диизопробензол, ▲ — 2,4-диизопробензол, ∇ — тетраизопробензол.

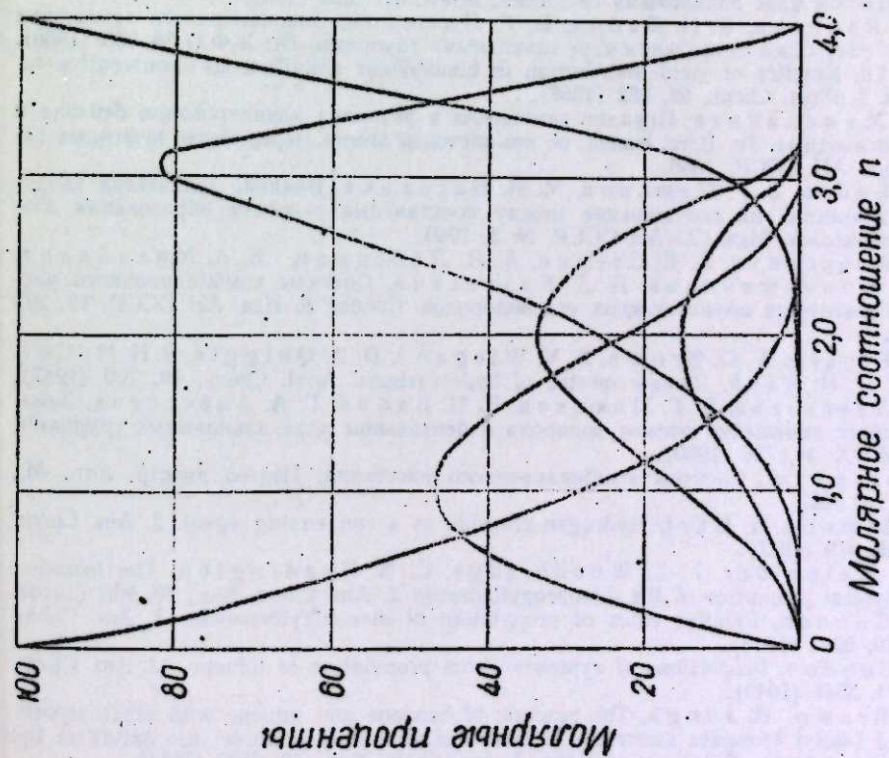


Рис. 1. Мольный состав системы.

На рис. 1 и 2 представлены кривые состава системы при алкилировании бензола пропиленом в молярных и весовых процентах в зависимости от молярного соотношения n , рассчитанные по уравнениям (8) и (9). На рис. 2 нанесены экспериментальные точки, взятые из табл. 1. Как видно по расположению точек, сходимость вполне удовлетворительная, что указывает на правильно выбранное соотношение скоростных постоянных.

Выводы

1. Выявлены выходы изомеров динизопропилбензолов при алкилировании с хлористым алюминием при различных молярных соотношениях пропилен — бензол.
2. Установлено соотношение констант скорости образования изомеров в процессе алкилирования бензола пропиленом.

Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию
5/II 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Ерофеев, О кинетике последовательных необратимых реакций первого порядка, ЖФХ, 24, 421 (1950).
2. В. Г. Плюснин, О закономерностях образования алкилбензолов в процессе алкилирования, Тр. Всес. совещ. по комплексной химич. переработке нефтяных газов, Изд. АН СССР, 1956.
3. В. Г. Плюснин, Н. М. Родигин, Закономерности замещения атомов водорода в бензольном ядре алкильными группами, ЖФХ, 31, 2066 (1957).
4. Н. М. Родигин, Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, Закономерности замещения атомов водорода в бензольном ядре алкильными группами, IX. ЖФХ, 34, 966 (1960).
5. L. Gold, Kinetics of yield distribution in bimolecular simultaneous—consecutive reactions. J. Phys. Chem., 62, 362 (1958).
6. Ю. Г. Мамедалиев, Порядок замещения в реакциях алкилирования бензола и его производных, Тр. Всес. совещ. по комплексной химич. переработке нефтяных газов, Изд. АН СССР, 1956.
7. Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, М. И. Насаккина, Влияние количества хлористого алюминия на соотношение между константами скорости образования изопропилбензолов, Изв. СО АН СССР, № 3, 1960.
8. В. Т. Алексеева, Х. Е. Стерин, А. Л. Либерман, Е. А. Михайлова, М. А. Прянишникова, Б. А. Казанский, Спектры комбинационного рассеяния некоторых ароматических углеводородов. Сообщ. 8. Изв. АН СССР, 19, 225 (1955).
9. M. R. Fenske, W. G. Brown, R. V. Wiegand, D. A. Quiggle, R. H. McCormick, D. H. Rank, Raman spectra of hydrocarbons. Anal. Chem., 19, 700 (1947).
10. И. А. Алексеева, В. Г. Плюснин, Е. П. Бабин, Г. А. Алексеева, Закономерности замещения атомов водорода в бензольном ядре алкильными группами, VIII. ЖФХ, 34, 726 (1960).
11. К. Кольрауш, Спектры комбинационного рассеяния. Изд-во иностр. лит., М., 1952, стр. 324.
12. J. H. Simons, H. Hart, Hydrogen chloride as a condensing agent. J. Am. Chem. Soc., 69, 979 (1947).
13. F. W. Melpolder, L. E. Woodbridge, C. E. Headington, The isolation and physical properties of the diisopropylbenzenes. J. Am. Chem. Soc., 70, 935 (1948).
14. F. E. Condon, Relative rates of propylation of monoalkylbenzenes. J. Am. Chem. Soc., 70, 2265 (1948).
15. F. E. Condon, Properties of cumenes from propylation of toluene. J. Am. Chem. Soc., 71, 3544 (1949).
16. H. C. Brown, H. Jungk, The reaction of benzene and toluene with ethyl, isopropyl and t-butyl bromides under the influence of aluminum bromide; the nature of the transition state in alkylation reactions. J. Am. Chem. Soc., 78, 2182 (1956).
17. А. И. Шатенштейн, В. Р. Калинин, Я. М. Варшавский, Водородный обмен между производными бензола и нафталина и жидким бромистым дейтерием. ЖФХ, 30, 2098 (1956).

18. H. C. Brown, H. W. Pearsall, L. P. Eddy, W. J. Wallace, M. Grayson, K. Nelson, Friedel—Crafts alkylation reaction catalysts and complexes, Ind. Eng. Chem., 45, 1462 (1953).
19. В. Г. Плюснин, А. П. Лысенко, Е. П. Бабин, Закономерности замещения атомов водорода в бензольном ядре алкильными группами. Сообщ. 2. ЖФХ, 31, 2239 (1957).
20. Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, М. И. Насаккина, Влияние температуры проведения процесса на соотношение между константами скорости образования алкилбензолов при алкилировании бензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия. Изв. СО АН СССР, № 11, 28 (1958).

И. Ф. БЕЛИКОВ, Е. Я. НЕДЕЛЬКО

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКА АМУРСКИХ СОРТОВ СОИ

Среди бобовых культур соя по количественному содержанию белка и его биологической ценности занимает одно из первых мест. В странах Восточной Азии (Китае, Корее, Японии и др.) в течение многих веков соя является основным источником белка в питании населения. Установлено, что белки сои содержат довольно большое количество незаменимых аминокислот, благодаря чему по пищевой ценности она близка к мясу животных.

В Советском Союзе эта культура находит широкое применение в различных отраслях промышленности. В связи с этим изучение аминокислотного состава белка сои имеет важное научное и практическое значение, так как дает возможность более рационально использовать сою в пищевой промышленности для обогащения продуктов питания недостающими аминокислотами, в частности лизином, который играет очень важную физиологическую роль в животном организме. С этой же целью соя может использоваться при составлении кормовых рационов для животных.

Белки сои на аминокислотный состав изучены еще недостаточно. В трудах по прикладной биохимии — К. Марклей [1], Блок и Боллинг [2] и др. — приводятся материалы, характеризующие только часть аминокислот в белке сои. Причем данные различных авторов противоречивы, получены разными методами (далеко не совершенными) на разном материале и в настоящее время уже устарели.

В ряде работ указывается на изменчивость качественного содержания белка сои в зависимости как от сорта, так и от различных факторов окружающей среды (климата, почвенных условий и др.). Например, межсортные различия в содержании отдельных аминокислот найдены Ксонка и Джонсом [3]; Смирновой-Иконниковой [4] установлено значительное изменение фракционного состава белка сои в зависимости от сорта и условий произрастания. Клименко [5] отмечает влияние метеорологических условий на содержание отдельных аминокислот в белке сои. Однако некоторые авторы получили другие данные. Так, Кункен и Лимэн [6] проанализировали 20 сортов сои микробиологическим методом и не нашли существенных различий в их аминокислотном составе. Таким образом, у исследователей нет единого мнения по вопросу тождества или различия аминокислотного состава белка сои у отдельных сортов. Для его окончательного решения необходимы дальнейшие исследования с применением более совершенных методов, позволяющих уловить тонкие особенности близких белков.

Аминокислотный состав белков сои в сортах, культивируемых на Дальнем Востоке, совершенно не изучался, а между тем Дальний Восток является основным районом возделывания этой культуры. Промышленность, перерабатывающая сою, и даже селекционные станции, занятые

выведением новых высокобелковых сортов, не располагают необходимыми сведениями о качестве белка сои наиболее распространенных на Дальнем Востоке сортов.

Мы поставили перед собой задачу — дать аминокислотную характеристику белка основных сортов сои, выращиваемых в Приморском, Хабаровском краях, а также в Амурской области. Настоящая работа является продолжением уже опубликованных ранее исследований [7], проведенных в нашей лаборатории. В предыдущей работе, при проведении анализа белка на содержание аминокислот, мы применили обычные химические методы [8], которые позволили получить ориентировочные данные количественного содержания лишь небольшого числа аминокислот. Были определены лизин, гистидин, аргинин, триптофан, тирозин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты.

Для оценки пищевого достоинства белка необходимо знать содержание всех незаменимых аминокислот. Мы задались целью дать наиболее полную аминокислотную характеристику белка.

Для исследований были взяты скороспелые сорта сои, выведенные селекционером В. А. Золотницким, Амурская желтая 41, Амурская желтая 42 и кормовой сорт — Амурская бурая 57. Все эти сорта высокоурожайны и характеризуются хорошими товарными и техническими качествами. Они являются стандартными в Амурской области и Хабаровском крае. Образцы для анализа брались в Хабаровском крае на опытном поле Дальневосточного научно-исследовательского института земледелия и животноводства (район г. Хабаровска) и в Амурской области на опытном поле Амурской государственной селекционной станции (урожай 1956—1957). По метеорологическим показателям эти пункты близки, по почвенным условиям — резко различаются. Опытное поле института земледелия (г. Хабаровск) — это дерновоподзолистые почвы со слабой структурой, малым естественным плодородием, тяжелым механическим составом и небольшим гумусовым горизонтом. Опытное поле Амурской селекционной станции имеет почвы лугово-черноземные, с высоким естественным плодородием, большим содержанием гумуса, хорошей структурой и тяжелым механическим составом.

Таким образом, в наших исследованиях учитывалось влияние на аминокислотный состав сои географического фактора и сорта.

Методы исследований

В своей работе мы исследовали суммарный белок, содержащийся в зерне сои. Извлечение белка производилось следующим образом.

Обезжиренная тонко измельченная соевая мука многократно экстрагировалась 10% раствором NaCl и после этого 0,2% раствором NaOH. Осадок от раствора отделялся центрифугированием. Солевая и щелочная вытяжки отдельно профильтровывались несколько раз через бумажную мязгу до получения прозрачного опалесцирующего раствора. Солевая вытяжка подвергалась диализу. После диализа выпавший в осадок белок отделялся центрифугированием, а фильтрат упаривался на водяной бане до получения сухого остатка. Белок щелочной вытяжки осаждался в изоэлектрической точке путем добавления разбавленного раствора уксусной кислоты и отфильтровывался. Полученные осадки белка промывались этиловым спиртом возрастающей концентрации (сначала 30, затем 50, 70, 90% и под конец абсолютным) и последний раз сухим серным эфиром. После этого препараты белка объединялись и сушились в вакуум-экскаторе над парафином. При выделении белка

учитывался баланс азотистых веществ. Препараты белка анализировались на содержание азота и аминокислотный состав. Белок подвергался гидролизу с 6 NHC1 в течение 24 часов. Гидролизат белка освобождался от избытка соляной кислоты многократной отгонкой ее в вакууме. Освобожденный от NHC1 гидролизат обессоливался по методу Балига и Кришнамурти [9], заключающемуся в следующем: упаренный до густого сиропа гидролизат белка растворяется в подкисленном NHC1 96% этиловом спирте. Все аминокислоты при этом переходят в раствор, а соли остаются в нерастворимом остатке, который отделяется центрифугированием. Эта операция повторяется 3—4 раза. После обессоливания гидролизат упаривается на водяной бане и растворяется в определенном объеме воды.

Количественное определение аминокислот производилось методом бумажной хроматографии, полученным путем соединения рациональных деталей двух методов: Гирн и Боде в модификации Г. Н. Зайцевой и Н. П. Тюленевой [10]. Для разделения аминокислот использовалась хроматографическая бумага, изготовленная фабрикой им. Володарского в Ленинграде. Бумага предварительно промывалась раствором 8-оксихинолина в верхнем слое смеси бутанол — уксусная кислота — вода в соотношении 40 : 5 : 14, с целью удаления катионов металлов. Комплекс оксихинолина вымывался из бумаги той же смесью, но без оксихинолина.

Разделение аминокислот на бумаге производилось путем 3—4-кратного пропускания смеси бутанол — уксусная кислота — вода в соотношении 40 : 10 : 50. После разделения хроматограммы проявлялись 0,5% раствором пингидрина в сухом ацетоне. После испарения ацетона хроматограммы прогревались в течение 30 мин. в термостате при температуре 65° С.

Проявленные фиолетовые пятна аминокислот вырезывались, разрезались на мелкие части и помещались в пробирки. Каждое пятно заливалось 4 мл метанола, содержащего в объеме 500 мл 0,2 мл насыщенного раствора азотнокислой меди. Содержимое пробирок тщательно встряхивалось для полноты экстракции окрашенного продукта из бумаги. Экстракция продолжалась около 2 час. в темноте. Одновременно с пятнами аминокислот вырезались из бумаги контрольные участки, равные по площади опытным, и обрабатывались таким же образом. Интенсивность окраски экстрактов замерялась в фотоэлектроколориметре.

Расчеты по содержанию аминокислот производились по калибровочным графикам, составленным для аминокислот по α-аминному азоту. Количественное содержание аминокислот в белке рассчитывалось в процентах к абсолютно сухому весу белка.

Баланс азотистых веществ

Ранее [7] нами было отмечено, что групповой состав азотистых веществ в семенах сои зависит от года урожая, сорта, места произрастания и удобрений. Приступая к исследованиям, мы решили проследить за распределением азота по группам веществ, обладающих разной растворимостью. Это необходимо было сделать еще и потому, что в работах Добриковой [11], Беликова и Тюленевой [12] отмечено заметное влияние условий выращивания и сорта на баланс азотистых веществ приморских сортов сои.

В табл. 1 показано, что амурские сорта сои содержат высокий процент азота. Несколько больше его в кормовом сорте. Отмечено повы-

Таблица 1
Баланс азотистых веществ при извлечении белка сои

Сорта	Район возделывания	Содержание азота в % к сухому весу						Относ. извл. азота к общему азоту исх. матер.									
		обезжиренная мука		солевая из- тяжка (10 % р-р NаС1)		щелочная вытяжка		остаток		препараты белка		азот солевой вытяжки		азот щелочной вытяжки		сушка азота со- левой и щелоч- ной вытяжек	
		1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957
Амурская желтая 41	Хабаровский край	7,67	7,90	5,89	6,37	0,79	0,80	0,99	0,73	16,26	16,80	76,79	80,62	10,30	10,01	87,09	90,76
	Амурская область	7,61	8,53	6,11	6,69	0,62	0,94	0,88	0,90	16,37	15,70	80,29	78,44	8,14	11,02	88,43	89,46
Амурская желтая 42	Хабаровский край	8,45	—	7,05	—	0,62	—	0,78	—	16,09	—	83,40	—	7,33	—	90,73	—
	Амурская область	7,90	8,63	6,30	6,73	0,65	0,78	0,95	0,95	16,26	16,03	79,75	77,98	8,22	9,04	87,97	87,02
Амурская бурая 57	Хабаровский край	8,08	8,53	6,31	6,85	0,74	0,74	1,03	0,94	15,79	16,00	78,09	80,30	9,16	8,67	87,25	88,97
	Амурская область	8,78	9,10	6,90	7,27	0,82	0,87	1,06	0,96	16,99	15,95	78,59	78,80	9,32	9,55	87,91	88,35

Таблица 2
Содержание аминокислот в белке сои к сухому весу белка, %

Аминокислоты	Амурская желтая 41						Амурская желтая 42						Амурская бурая 57							
	Хабаровский край		Амурская область		Хабаровский край		Амурская область		Хабаровский край		Амурская область		Хабаровский край		Амурская область		Хабаровский край		Амурская область	
	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957	1956	1957		
Лизин	—	5,88	—	5,59	—	—	5,57	—	—	—	5,88	—	—	—	—	5,88	—	—	5,97	
Гистидин	—	3,55	—	3,18	—	—	2,70	—	—	—	3,59	—	—	—	—	3,59	—	—	3,31	
Аргинин	10,90	10,85	11,3	10,31	12,0	12,0	10,23	11,80	11,80	10,23	12,42	12,42	12,88	12,88	12,88	12,88	12,88	12,88	11,20	
Аспарагиновая кислота	6,49	6,93	5,55	6,53	6,36	6,36	5,88	6,85	6,85	5,88	5,21	5,21	6,51	6,51	6,51	6,51	6,51	6,51	6,80	
Серин	4,54	4,36	4,15	4,80	4,99	4,99	3,91	4,19	4,19	3,91	5,40	5,40	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	4,44	
Глицин	5,21	4,94	4,10	4,23	4,19	4,19	4,59	4,41	4,41	4,59	3,89	3,89	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	4,45	
Глютаминовая кислота	15,42	14,50	14,94	14,72	16,50	16,50	13,94	14,87	14,87	13,94	14,30	14,30	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,04	
Треонин	4,29	4,13	4,21	5,50	5,56	5,56	3,72	4,69	4,69	3,72	5,30	5,30	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	4,33	
Аланин	5,73	4,88	5,04	5,58	6,42	6,42	4,94	5,45	5,45	4,94	4,89	4,89	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	5,28	
Тирозин	4,39	3,85	4,06	3,99	4,01	4,01	3,86	3,88	3,88	3,86	3,94	3,94	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,98	
Метионин	1,17	1,79	1,43	1,88	1,52	1,52	1,60	1,49	1,49	1,60	1,90	1,90	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	1,79	
Валин	5,52	5,45	5,01	6,18	5,55	5,55	6,85	5,07	5,07	6,85	5,32	5,32	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	7,00	
Фенилаланин	5,39	6,95	5,80	6,88	5,39	5,39	6,57	5,41	5,41	6,57	4,86	4,86	6,39	6,39	6,39	6,39	6,39	6,39	7,20	
Лейцины	12,10	13,66	13,98	13,10	13,99	13,99	13,30	13,88	13,88	13,30	14,10	14,10	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	13,06	

шенное содержание общего азота во всех сортах урожая 1957 против урожая 1956 г.

В 10% раствор NaCl переходит до 80% всех азотистых веществ белка сои, причем разница в извлечении в зависимости от сорта, условий выращивания и года урожая отмечена сравнительно небольшая и незакономерная. В раствор 0,2% NaOH переходит до 10% азотистых веществ, четкой закономерности в извлечении данной группы азотистых веществ не отмечается. Разница определений азота в остатке и препарате белка также невелика.

Определение аминокислот

При изучении аминокислотного состава амурских сортов сои урожая 1951—1952 гг. нами было определено только семь аминокислот [7], а теперь методом количественной бумажной хроматографии мы установили 14 аминокислот (табл. 2).

Приведенные в табл. 2 данные анализа показывают, что качественный аминокислотный состав белков одинаков во всех исследованных сортах. По количественному содержанию аминокислот сорта также мало различаются между собою, имеющиеся колебания в содержании отдельных аминокислот незначительны и нехарактерны для того или иного сорта.

Исследованные сорта содержат все незаменимые аминокислоты, что свидетельствует о высокой питательной ценности их белка. Обращает на себя внимание высокое содержание лизина, близкое к содержанию его в белках животного происхождения. Лизин является незаменимой аминокислотой и играет чрезвычайно важную роль в животном организме. Необходимо отметить, что имеющиеся в литературе данные (табл. 3) о содержании лизина весьма противоречивы. Так, по данным Джонса и Уотермана [15], содержание лизина, найденное методом Ван-Сляйка, составляло 9,06%. Феликс [16] при тщательном фракционировании гидролизата глицинина сои нашел содержание лизина в нем равным 5,77%. По данным Осборна и Клаппа [13], в глицинине сои содержится 2,71% лизина. Чрезвычайно мало лизина (1,6—1,7%) найдено в суммарном белке сои Смирновой-Иконниковой [4]. Причина таких резких расхождений объясняется, по-видимому, несовершенством применяемых методов определения. В более поздних работах, в которых использовались более совершенные методы исследования белка, наблюдается большая согласованность у авторов в вопросе о содержании лизина, а также и других аминокислот.

Наши данные по содержанию лизина, полученные путем осаждения его фосфорно-вольфрамовой кислотой, совпадают с результатами, полученными хроматографическим методом, и вполне согласуются с данными Блока и Боллинга, Куикена и Лимэна, Клименко и др. Что касается других аминокислот, то по некоторым из них наши данные расходятся с литературными. Так, например, содержание глютаминовой кислоты, по нашим данным, значительно ниже данных, приведенных Осборном и Клаппом, Куикеном и Лимэном и др.

Имеются расхождения и по содержанию аргинина. Полученные нами методом количественной хроматографии данные значительно выше, чем при определении аргинина путем осаждений в виде серебряных солей. Нужно сказать, что аргинин очень чувствителен к щелочной реакции и при определении его методами, связанными с применением последней, получаются заниженные результаты, что и имело место у нас при определении его методом осаждения в виде серебряных солей.

Таблица 3

Аминокислотный состав белка сои (в %), по литературным данным

Аминокислоты	Авторы	Осборн и Клапп [13]	Блок и Боллинг [2]	Губершев и Товарицкий [14]	Смирнова-Иконникова [4]	Куикен и Лимэн [6]	Клименко [5]	Беликов и Неделько [7]
Лизин	•••••	2,71	5,4	4,58	1,6—1,7	7,07—6,00	5,11 3,87	6,90—4,20
Гистидин	•••••	1,39	2,30	4,44	2,5—2,6	2,52—2,16	3,09—2,82	2,80—1,67
Аргинин	•••••	5,12	5,80	7,76	8,0—8,5	8,30—7,22	7,58—7,02	6,48—5,27
Аспарагиновая кислота	•	3,89	—	—	—	—	—	12,55—10,10
Серин	•••••	—	—	—	—	—	—	—
Глицин	•••••	0,97	—	—	—	—	—	—
Глютаминовая кислота	•	19,46	—	—	—	19,2—17,9	—	13,20—11,20
Треонин	•••••	—	4,0	—	—	4,06—3,72	—	—
Аланин	•••••	—	—	—	—	—	—	—
Тирозин	•••••	1,86	4,1	4,46	2,4—2,5	—	3,75—3,30	4,90—3,35
Метионин	•••••	—	1,8	—	1,7—1,9	1,53—1,28	2,52—2,36	—
Валин	•••••	0,63	4,0—5,0	—	—	5,48—5,17	—	—
Фенилаланин	•••••	3,86	5,3	—	—	5,23—4,80	—	—
Лейцин (H)	•••••	8,45	Лейцин—8,0 Изолейцин—4,0	—	—	Изолейцин 5,53—5,85 Лейцин 8,45—7,75	—	—
Триптофан	•••••	присут.	1,5	2,30	1,2—1,3	1,64—1,42	1,54—1,43	3,26—2,20
Цистин	•••••	—	0,5—1,4	0,60	1,1—1,2	—	1,20—1,07	—
Пролин	•••••	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	•••••	3,78	—	—	—	—	—	—

Величины, полученные для аргинина химическим методом, близки к величинам, полученным Блоком и Боллингом, Осборном и Клаппом. В отношении остальных аминокислот наши данные согласуются с литературными, полученными в более позднее время.

Выводы

1. Методом количественной бумажной хроматографии изучался аминокислотный состав суммарного белка зерна сортов сои: Амурская 41, Амурская 42 и Амурская бурая 57 (кормовой сорт), культивируемых в Хабаровском крае и Амурской области. Определен следующий состав аминокислот в процентах к сухому весу белка: лизина 5,57—5,97; гистидина 2,70—3,59; аргинина 10,31—12,88; аспарагиновой кислоты 5,18—6,93; серина 3,91—5,40; глицина 5,21—9,47; глютаминовой кислоты 13,94—16,50; треонина 3,68—5,56; аланина 4,63—6,42; тирозина 3,81—4,39; метионина 1,17—2,20; валина 5,01—7,00; фенилаланина 4,86—7,46; лейцина 12,10—14,10.

2. По качественному содержанию аминокислот белки всех исследуемых сортов сои одинаковы. По количественному содержанию найдены различия; но незначительные и нехарактерные для того или иного сорта.

3. Белки исследуемых сортов являются полноценными по аминокислотному составу. Обращает на себя внимание высокое содержание лизина, близкое к содержанию его в белках животного происхождения. Это обстоятельство позволяет использовать данные сорта в целях обогащения лизином пищевых продуктов.

Дальневосточный филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
9/XII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. K. S. Markley and H. Goss, Soybean Chemistry and Technology. New-York, 1944.
2. Р. Блок и Д. Боллинг, Аминокислотный состав белков и пищевых продуктов. Изд-во иностр. лит., М., 1949.
3. F. A. Sponka and D. V. Jones. J. Cereal Chem., 1933, 27, 243.
4. М. И. Смирнова-Иконникова, Белки в промышленности и сельском хозяйстве (Конференция по белку). Изд. АН СССР, М., 1952.
5. В. Г. Клименко. Биохимия, в. 1, т. 19, 1954.
6. K. A. Kuiken and C. M. Luman. J. Biol. Chem., 177, № 1, 1949, p. 29.
7. И. Ф. Беликов и Е. Я. Неделько. Маслوبيнно-жировая промышленность, № 4, 1956.
8. А. Н. Белозерский и Н. И. Проскуряков, Практическое руководство по биохимии растений. Гос. изд. «Советская наука», М., 1951.
9. V. Baluga and K. Krishnamurthy, Ind. Inst. Sci., 37, № 1, 1955.
10. Г. Н. Зайцева и Н. П. Тюленева, Лабораторное дело, № 3, 1958, стр. 24.
11. А. Н. Добрикова, Аминокислотный состав белков семян сои Приморского края. Биохимия зерна, сб. № 4, 1958.
12. И. Ф. Беликов и Н. П. Тюленева, Биохимическая характеристика сортов сои Приморского края. Маслوبيнно-жировая промышленность, № 10, 1959.
13. T. V. Osborne and S. H. Starr. Amer. J. Physiol., 19, 468, 1907.
14. М. А. Губерниев и В. И. Товарицкий. Тр. Всес. научн.-иссл. ин-та зернобобовых культур, т. 4, М., 1935.
15. D. V. Jones and H. C. Waterman. J. Biol. Chem., 46, 459, 1921.
16. K. Z. Felix. Z. Physiol. Chem., 110, 1920, 217—238.

Ф. Т. СУХЕНКО

ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИЕ ФЕРМЕНТЫ РЖАВОГО И ПУШИСТОГО МИКРОСПОРИУМОВ

Сообщение

1. ВЛИЯНИЕ ЦИСТЕИНА, СЕРОВОДОРОДА, ФОСФАТОВ И pH

Для решения многих вопросов, касающихся вирулентности дерматофитов, их изменчивости, антигенных и токсинообразующих свойств, выбора рациональных методов борьбы с заболеваниями, вызываемыми этими грибами, а также для обоснования некоторых наблюдающихся фактов (например, поражаемость ими одних лиц (или животных) и непоражаемость других) необходимо иметь более или менее полное представление о физиологии и биохимии этих микроорганизмов. Так как биохимические процессы в мицелии грибов и превращение грибами сложных веществ окружающей среды в удобоусвояемую форму протекают при участии ферментов, то изучение последних представляет несомненный интерес.

Протеолитическим ферментам патогенных для человека грибов уделяли много внимания Д. И. Верюжский [1], впервые показавший, что *Trichophyton tonsurans* и *Achorion Schönleni* во время роста разжижают желатину, Блюменталь и Малленкродт-Хаупт [2, 3], Тат [4], Вамос [5, 6], Некам [7], Григораки и Давид [8—10] и др. Эти авторы получили много интересных данных в отношении обнаружения протенназ у дерматофитов, свойств этих ферментов, а также ферментативной активности отдельных видов грибов и использования ими некоторых белков. Однако эти данные далеко не полные и иногда противоречивые. Данных о протенназах ржавого микроспорума нам найти не удалось.

Кафедра биохимии Новосибирского мединститута в течение ряда лет занимается изучением биохимии некоторых патогенных грибов, в том числе и ржавого микроспорума, не так давно распространившегося в некоторых районах СССР. В этом сообщении приводятся результаты работы, касающейся некоторых свойств протенназ ржавого микроспорума, штамм К (*Microsporum ferrugineum*).

Методика

Гриб выращивали в комнатных условиях в 250 мл конических колбах, содержащих 100—120 мл питательной среды. Последняя состояла из пептона (1%), или желатины, глюкозы (3%) и водопроводной воды.

Общий и остаточный азот реакционных смесей определяли по Кьельдалю, а азот аминокислот — по Попу и Стивенсу. При определении остаточного азота белки осаждали 20% раствором трихлоруксусной кислоты, взятым в равном по объему количестве по отношению к реакционной смеси.

При определении вязкости использовали вискозиметр Пинкевича с диаметром просвета 0,6 или 0,8 мм. В вискозиметр помещали 5 мл такого же раствора желатины, какой брали для соответствующего опыта, и 1 мл ферментного раствора.

Экспериментальная часть и результаты опытов

Расщепление желатины «суспензиями» из свежего мицелия грибов

Проведенные нами ([11] и неопубликованные данные) опыты показали, что на средах с желатиной, яичным альбумином, казенном, белками гороха или другими белками, как единственными источниками азота, микроспорумы растут хорошо. При этом в жидкостях культур обнаружены полипептиды, аминокислоты и аммиак, количество которых в течение некоторого периода роста грибов постепенно увеличивается, а затем уменьшается. То же самое найдено и сотрудницей нашей кафедры О. Л. Семовских [12] в опытах с ахорионом Шонлейна. Из этого следует, что расщепление белков питательных сред происходит вне мицелия и что протеиназы выделяются грибами в окружающую среду. Если это так, то можно предполагать, что для определения протеиназной активности дерматофитов можно пользоваться «суспензиями» свежего, только что отделенного от питательной среды мицелия.

Для проверки этого предположения были поставлены следующие опыты. Мицелий ржавого микроспорума отделяли от глюкозо-пептонной среды, промывали его три раза водой и несколько раз отжимали между листами фильтровальной бумаги до тех пор, пока бумага не оставалась сухой. Часть мицелия сразу же растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством кварцевого песка и двойным количеством воды до получения однородной массы (густая суспензия). Эту суспензию сразу же использовали для опыта. При этом 1 объем суспензии смешивали с 10 объемами 3,5% раствора желатины, приготовленной на $1/15$ M фосфатном буфере с $pH = 6,9$. Другую часть мицелия помещали на 2,5 часа в термостат при 35° и затем растирали с 6-кратным количеством воды. Полученную суспензию с целью автолиза выдерживали 12 часов в термостате при 35° . Опытные пробы готовили так же, как и в первом случае. В обоих случаях контролями служили пробы с кипяченными суспензиями. Пробы инкубировали в термостате при 35° .

Результаты анализа реакционных смесей показали, что расщепление желатины в обоих опытах происходит довольно медленно, но с различной скоростью. Так, в первом опыте в течение первых 24 часов расщепилось всего 6% взятого количества желатины, а в последующие 24 часа гидролизовалось еще 17%. Во втором опыте, несмотря на большее соотношение между водой и мицелием, в первые же сутки расщепилось 30% этого белка. Медленное расщепление желатины в первые сутки, по сравнению со вторыми, в опыте с не помещавшейся в термостат суспензией может быть объяснено тем, что в первые сутки протеолитические ферменты удерживались в живой еще ткани мицелия и лишь в небольшом количестве переходили в раствор. Во вторые же сутки вследствие частичного автолиза ткани ферменты переходили в раствор в большем количестве, в связи с чем за это время гидролизовалось желатины почти в 3 раза больше, чем в первые 24 часа. Частичным автолизом мицелия и переходом в раствор протеиназ можно объяснить и большую скорость расщепления желатины в опыте с суспензией, выдержанной в термостате, по сравнению со скоростью расщепления желатины в опыте с суспензией, которая в термостат не помещалась.

Влияние высушивания мицелия на извлечение из него ферментов

а) Высушивание на воздухе

Постановка опытов была следующей. Высушенную на воздухе грибницу растирали в ступке с 20-кратным количеством фосфатного буфера с $pH = 6,9 - 6,96$. Полученную взвесь после прибавления антисептика (тимол) оставляли на ночь в лаборатории. Затем центрифугировали ее в течение 30 мин. при 3000 об/мин. При этом получалась светло-желтого цвета опалесцирующая жидкость (ферментный препарат), которую мы использовали для опыта. Такой препарат фермента готовился перед каждым опытом. Реакционные смеси состояли из 5 частей раствора желатины и 1 части ферментного раствора. О протеолитической активности последнего, а следовательно, и о ферментативной активности мицелия гриба судили по скорости расщепления желатины, определяемой по нарастанию в реакционной смеси остаточного азота и азота аминокислот и, кроме того, по изменению вязкости раствора желатины. Результаты опытов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расщепление желатины ферментными препаратами, полученными извлечением фосфатным буфером из высушенного на воздухе мицелия ржавого микроспорума

Время действия ферментов, час.	Общий азот, мг%		Остаточный азот, мг%		Азот аминокислот, мг%	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Опыт 4						
0	567	590	194	202	26,6	28,0
24	—	—	184	555	28,0	70,0
50	—	—	191	565	28,0	74,6
65	—	—	198	584	30,8	82,6
Опыт 6						
0	569	682	136	154	19,5	21,7
5	—	—	133	270	21,0	25,1
24	—	—	130	536	20,3	28,7
48	—	—	133	596	20,3	30,1

При рассмотрении приведенных в табл. 1 данных прежде всего обращает на себя внимание то, что в нулевое время как в опытных, так и в контрольных пробах обнаруживается довольно большое количество остаточного азота. Это явление замечено нами еще при изучении результатов, полученных в опытах с суспензиями свежей грибницы. В первое время этот факт вызывал у нас недоумение и даже некоторое недоверие к полученным данным. Но в дальнейшем, в процессе работы, проводимой мною и моими сотрудниками, мы убедились, что это явление имеет место во всех случаях и даже тогда, когда для опытов используется дважды переосажденная из спирта желатина. Такое высокое содержание остаточного азота в реакционных смесях в начале опытов объясняется, во-первых, тем, что в экстрактах из грибницы содержится некоторое, хотя и небольшое, количество азотистых веществ небелкового характера и, во-вторых, тем, что часть желатины не осаждается 10% раствором трихлоруксусной кислоты.

Данные табл. 1 показывают, что количество остаточного азота в опытных пробах с течением времени увеличивается. При этом увеличение происходит главным образом в первые сутки; в дальнейшем вследствие значительного снижения в реакционной смеси количества белка скорость нарастания остаточного азота уменьшается. Так, в те-

чение первых 24 часов содержание остаточного азота увеличилось в опыте 4 на 353 мг%, а в опыте 6 — на 382 мг%. Такое увеличение остаточного азота показывает, что в течение суток подверглось гидролизу примерно от 90 (опыт 4) до 72% (опыт 6) взятого количества желатин; во вторые сутки дополнительно гидролизовалось еще от 3 до 12%.

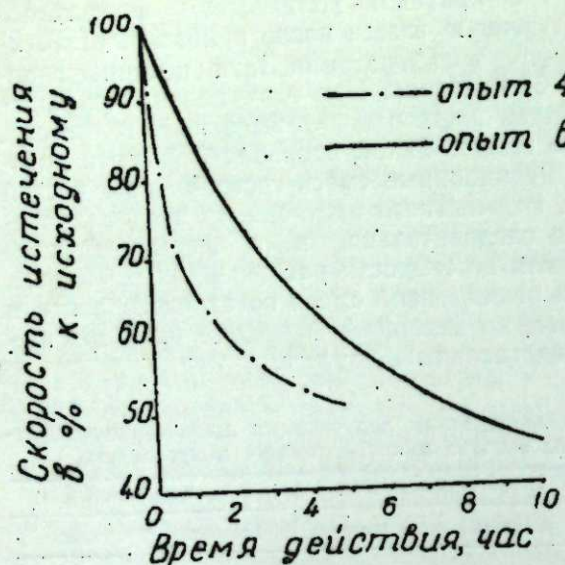


Рис. Изменение вязкости раствора желатин при действии ферментов, извлеченных фосфатным буфером из высушенного при комнатных условиях мицелия ржавого микроспорума.

Из рисунка видно, что под влиянием экстрактов из грибки вязкость раствора желатин уменьшается, при этом в первые часы опыта значительно быстрее, чем в последующие. Данные изменения вязкости растворов желатин подтверждают полученные в опытах 4 и 6 результаты и показывают, что в экстрактах из грибки содержатся ферменты, расщепляющие этот белок.

Если, в соответствии с указаниями А. В. Благовещенского [13], считать, что действие ферментов пропорционально их количеству, то можно сказать, что экстракты из высушенной на воздухе грибки ржавого микроспорума являются довольно активными в протеолитическом отношении. Из этого следует, что высушенная на воздухе грибка вполне пригодна для изучения протеиназной активности гриба.

б) Обезвоживание мицелия ацетоном

Высушивание мицелия на воздухе или в термостате при 30—35° происходит сравнительно медленно, вследствие чего наступает частичный автолиз ткани. При этом могут наблюдаться по крайней мере два явления, касающиеся протеиназ гриба. Первое — освобождение их из связанного состояния, если они находятся в комплексе с другими веществами ткани, и второе — частичное разложение их. Чтобы избежать последнего, необходимо как можно быстрее высушить ткань и этим зафиксировать протеиназы в таком количестве, в каком они были в живой ткани гриба.

Для быстрого высушивания тканей, как известно, часто применяется обработка их ацетоном при различных условиях. Несмотря на то,

что Малленкродт-Хаупт [3], Вамос [6] и др. получали довольно активные порошки мицелия при обработке его ацетоном, мы все же решили выяснить, как будет изменяться протеиназная активность грибки при более упрощенном высушивании ее ацетоном.

Для этого мы взяли 113-дневного возраста грибку штамма КК ржавого микроспорума, выращенного на глюкозо-пептонной среде, промыли ее три раза водой, слегка отжали между листами фильтровальной бумаги и разделили по весу на две части. Одну часть обработали при комнатной температуре три раза 100 мл порциями ацетона, который сменяли через 20 мин.; вынутую из ацетона грибку выдерживали в течение 2 час. на воздухе для испарения ацетона, а затем в вакуумированном эксикаторе над хлористым кальцием. Вторую часть грибки ацетоном не обрабатывали, а высушивали в вакуумированном эксикаторе.

Отметим, что вес обработанной ацетоном грибки оказался на 12% меньше, чем вес грибки, которую ацетоном не обрабатывали. Экстракты из грибки готовили так же, как и в предыдущих опытах, используя для этого 1/15 М фосфатный буфер с pH = 6,9. Экстрагирование грибки, высушенной ацетоном, производили 25-кратным количеством буфера, а грибки, высушенной в эксикаторе, соответственно разнице в весе, меньшим количеством.

Об активности экстрактов, а следовательно, и грибки судили по расщеплению ими желатин. Для опытов использовали желатину, осажденную спиртом. Опытные пробы состояли из 5 объемов примерно 5% раствора белка и 1 объема экстракта из соответствующей грибки. Для контрольных проб использовали кипяченые экстракты. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Из рисунка видно, что под влиянием экстрактов

что Малленкродт-Хаупт [3], Вамос [6] и др. получали довольно активные порошки мицелия при обработке его ацетоном, мы все же решили выяснить, как будет изменяться протеиназная активность грибки при более упрощенном высушивании ее ацетоном.

Для этого мы взяли 113-дневного возраста грибку штамма КК ржавого микроспорума, выращенного на глюкозо-пептонной среде, промыли ее три раза водой, слегка отжали между листами фильтровальной бумаги и разделили по весу на две части. Одну часть обработали при комнатной температуре три раза 100 мл порциями ацетона, который сменяли через 20 мин.; вынутую из ацетона грибку выдерживали в течение 2 час. на воздухе для испарения ацетона, а затем в вакуумированном эксикаторе над хлористым кальцием. Вторую часть грибки ацетоном не обрабатывали, а высушивали в вакуумированном эксикаторе.

Отметим, что вес обработанной ацетоном грибки оказался на 12% меньше, чем вес грибки, которую ацетоном не обрабатывали.

Экстракты из грибки готовили так же, как и в предыдущих опытах, используя для этого 1/15 М фосфатный буфер с pH = 6,9. Экстрагирование грибки, высушенной ацетоном, производили 25-кратным количеством буфера, а грибки, высушенной в эксикаторе, соответственно разнице в весе, меньшим количеством.

Об активности экстрактов, а следовательно, и грибки судили по расщеплению ими желатин. Для опытов использовали желатину, осажденную спиртом. Опытные пробы состояли из 5 объемов примерно 5% раствора белка и 1 объема экстракта из соответствующей грибки. Для контрольных проб использовали кипяченые экстракты. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Протеолитическая активность экстрактов из грибки, высушенной в эксикаторе и ацетоном

Время действия фермента, час.	Азот, мг%					
	общий		остаточный		аминокислот	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Опыт (27) с экстрактом из высушенной в эксикаторе грибки						
0	635	638	192	190	21,5	22,9
24	—	—	192	472	21,0	30,8
Опыт (27 а) с экстрактом из высушенной ацетоном грибки						
0	623	623	192	200	20,2	21,5
24	—	—	192	448	21,5	26,0

Следует указать, что в экстракте из высушенной ацетоном грибки содержание общего азота было равно 55 мг%, а в экстракте из грибки, высушенной в эксикаторе, — 70 мг%.

Из данных в табл. 2 видно, что экстракты из высушенной ацетоном грибки обладают почти такой же протеолитической активностью, как и экстракты из грибки, высушенной в эксикаторе. Разница в скорости разложения желатин этими экстрактами составляет 4,4% и находится, следовательно, в пределах точности опыта.

Таким образом, на основании проведенных нами опытов можно считать, что как высушенная обычным способом на воздухе или в эксикаторе, так и грибка, высушенная ацетоном, в одинаковой степени пригодны для опытов по изучению протеолитической активности грибов.

Влияние pH среды на активность протенназ микроспорумов

Одним из свойств ферментов является то, что наибольшая каталитическая активность их проявляется обычно при определенных значениях pH , колеблющихся иногда в довольно узких пределах. При этом действие одних ферментов, в том числе и протенназ, проявляется лучше в слабнокислой или нейтральной среде, а других — в слабощелочной.

В литературе нет исчерпывающих данных относительно того, при какой реакции среды проявляется наибольшая активность протенназ микроспорумов. Разрешить данный вопрос было необходимо, чтобы знать, при каких условиях проводить в дальнейшем опыты по изучению свойств этих ферментов, и, кроме того, чтобы выявить, к какому типу — пепсина, трипсина, химотрипсина или же папаина — относятся протенназы микроспорумов.

Для выяснения этого вопроса были поставлены опыты по расщеплению желатины экстрактами из грибницы ржавого микроспорума, в которых pH реакционных смесей изменялся в пределах от 5,29 до 8,34 (опыт 5) и от 3,60 до 9,18 (опыт 7). В том случае, когда опытные пробы готовили с pH от 5,29 до 9,18, использовали фосфатный буфер, а для приготовления проб с $pH = 3,60$ и 4,90 — ацетатный буфер.

Так как состав азотистой части питательной среды мог оказать влияние на ферментативную активность гриба, то, чтобы учесть это влияние, для приготовления экстрактов использовали мицелий гриба, выращенного в одном случае (опыт 5) на среде с желатиной, а в другом (опыт 7) — на глюкозо-пептонной среде. Экстракты готовили так же, как и в предыдущих опытах, с той лишь разницей, что высушенный мицелий экстрагировался не фосфатным буфером, а водой, взятой в 30-кратном количестве (вес/объем). Реакционные смеси состояли из 5 объемов раствора желатины, приготовленного на указанных выше буферных растворах, и 1 объема водного экстракта из воздушно-сухой грибницы. Реакционные смеси инкубировали при 37°. Результаты опытов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние pH среды на активность протенназ ржавого микроспорума

Форма азота, мг%	Время действия фермента, час.	pH среды							
		3,60	4,40	5,29	6,24	6,98	7,38	8,34	9,18
Опыт 5									
Общий остаточный	0	—	—	557	557	557	557	557	—
	0	—	—	191	187	198	191	193	—
	23	—	—	258	244	301	285	293	—
Аминокислот	47	—	—	278	276	330	347	311	—
	0	—	—	21	22	22	22	20	—
	23	—	—	25	28	27	28	24	—
	47	—	—	25	28	28	28	24	—
Опыт 7									
Общий остаточный	—	577	571	615	585	582	—	582	580
	0	141	140	161	133	132	—	137	137
	24	—	216	203	214	220	—	201	—
Аминокислот	48	178	270	266	252	263	—	245	229
	75	192	298	—	286	305	—	274	255
	0	16	17	18	20	16	—	18	17
	24	—	18	21	20	20	—	18	—

Из табл. 3 видно, что протеолитические ферменты грибов проявляют свое действие в довольно широких пределах значения pH . Однако, судя по нарастанию во время опыта остаточного азота, наибольшая каталитическая их активность проявляется при $pH = 6,98-7,38$. При сдвиге водородного показателя в кислую или щелочную сторону от указанных значений pH , активность протенназ микроспорума уменьшается. Так, в опыте 5 при повышении pH с 7,38 до 8,34 активность их уменьшилась на 25%, а при снижении этого показателя до 5,29 — на 44,2%; в опыте 7 при сдвиге pH с 6,98 до 9,18 активность протенназ уменьшалась на 31,8%, а при сдвиге до 3,60 — на 70,6%.

Следует отметить, что даже при самой благоприятной для протенназ реакции среды протеолитическая активность экстрактов, используемых для этих опытов, была низкой. Объясняется это, по-видимому, тем, что для опытов использовали водные, а не фосфатные экстракты, притом полученные при обработке грибницы 30-, а не 25-кратным, как в предыдущих опытах, количеством воды.

Холден [14] приводит литературные данные, касающиеся оптимума pH для многих ферментов. Из них видно, что для разных протенназ он различен. Так, для пепсина оптимум pH находится в пределах 1,5—2,5, трипсина — 8—11, катепсина — 3—5; а для протенназ растительного происхождения — папаина, бромелина, протенназы тыквы — он колеблется в пределах от 5 до 7,0—7,4.

Ф. Т. Сухенко и Е. С. Подгайная [15] нашли, что скорость расщепления белков гороха ферментами *Fusarium avenaceum* мало изменяется при изменении pH от 4,9 до 8,4; однако наибольшая скорость расщепления этих белков, а следовательно, и наибольшая активность протенназ фузариума, имела место при $pH = 6,24-8,04$.

Сравнивая полученные нами результаты по влиянию pH на протеолитические ферменты микроспорума с литературными данными, можно сказать, что протенназы этого гриба, вопреки ожиданию, ближе всего стоят к растительным ферментам типа папаина, хотя оптимум pH для них несколько сдвинут в щелочную сторону. Последнее, надо полагать, связано с приспособлением гриба к определенному типу питания, которое он имеет в естественных условиях существования — в условиях паразитизма.

Следует отметить, что аналогичная зависимость между действием протенназ и реакцией среды наблюдается и для протеолитических ферментов других дерматофитов, как это установлено моими сотрудниками О. Л. Семовских и Е. И. Сальниковой. Так, О. Л. Семовских [12] нашла, что протенназы ахориона Шонлейна интенсивно расщепляют желатину при pH от 5,9 до 11, но наибольшая активность их проявляется при нейтральной реакции $pH = 7,0$. Протенназы трихофитона фиолетового, по наблюдениям Е. И. Сальниковой [16], расщепляют желатину при pH от 5,0 до 8,0 и выше.

Все эти данные убедительно говорят, что протенназы дерматофитов — микроспорумов, ахорионов и трихофитонов, а также фузариума проявляют наибольшую активность при реакции среды, близкой к нейтральной.

Широкий диапазон pH , при котором ферменты названных грибов оказывают действие на белки, а также то, что фузариин, как указывает В. И. Билай [17], разжижают желатину в кислой среде ($pH = 3,8$) лучше, чем в щелочной ($pH = 8$), дают основание высказать предположение, что протеолитическая система грибов, в том числе и дерматофитов, является сложной, состоящей по меньшей мере из двух протенназ.

Влияние сероводорода и цистеина на активность протеолитических ферментов ржавого микроспорума и фосфатов на их извлечение из высушенной грибкицы

Многие ферменты активируются синильной кислотой, сероводородом и некоторыми другими соединениями. К таким ферментам относятся, например, растительные протениазы, катепсин и др. Так, Вильштеттер и Грасман [18] показали, что под влиянием синильной кислоты активность папаина повышается в 2—3 раза. Папаин может быть активирован также сероводородом, цистеином, пирофосфатом и цитратом. Мы также наблюдали [19], что скорость гидролиза желатины ферментами фузариума увеличивается в присутствии цитрата натрия. Клеймани и Штери (см. [14]) нашли, что катепсин в неочищенном состоянии активируется синильной кислотой и сероводородом, тогда как в очищенном состоянии — только сероводородом.

Является почти общепризнанным, что каталитическое действие некоторых ферментов связано с наличием в их молекуле сульфгидрильных групп. Окисление последних и замещение в них водорода на тяжелые металлы приводит к образованию дисульфидных мостиков ($-S-S-$) и меркаптопротенидов и к инактивированию этих ферментов. Инактивированные таким образом ферменты могут быть снова реактивированы восстанавливающими и связывающими металлы веществами. Если в присутствии названных веществ происходит восстановление или повышение активности данного фермента, то обычно считают, что это служит доказательством наличия в его молекуле сульфгидрильных групп.

Представляло интерес выяснить, активируются ли протениазы микроспорумов, подобно растительным протениазам и катепсину, цистеином и сероводородом.

Предыдущие наши опыты наводили на мысль, что не только высушивание грибкицы, но и фосфаты способствуют переходу протениаз в раствор, вследствие чего получают довольно активные в протеолитическом отношении экстракты. Исходя из этого, мы считали необходимым выяснить также, действительно ли фосфаты оказывают положительное действие на извлечение протеолитических ферментов из высушенной грибкицы. Кроме того, нас интересовал вопрос о том, как будет сказываться присутствие фосфатов на активировании протениаз грибов цистеином и сероводородом.

Для выяснения этих вопросов нами поставлен опыт с водным и фосфатным экстрактами из грибкицы ржавого микроспорума, выращенного на глюкозно-пептонной среде, с добавлением цистеина или сернистого натрия и без них.

Экстракты готовили следующим образом. Высушенную, как и в предыдущих опытах, грибкицу измельчали в порошок. Навески порошка тщательно растирали в ступке с 25-кратным количеством (вес/объем) в одном случае воды, а в другом — $1/15 M$ фосфатного буфера с $pH = 7$. Полученные взвеси настаивали в течение ночи (антисептик толуол) и затем центрифугировали их. Надосадочную жидкость (ферментный экстракт) делили на три части. К одной из них за час до начала опыта прибавляли сернистый натрий, как источник сероводорода, из расчета 250 мг на 100 мл, как это делали А. В. Благовещенский и Н. А. Кудряшова [20]; а к другой — цистеин, в количестве 200 мг на 100 мл; к третьей части эти вещества не прибавляли.

Пятипроцентный раствор желатины готовили на $1/15 M$ фосфатном буфере с $pH = 7$. Следует отметить, что при нагревании этого раствора

до кипения выпал небольшой осадок, который удаляли фильтрованием. Следовательно, используемый для опыта раствор желатины был несколько слабее, чем 5%.

Опытные смеси, состоящие из 5 объемов раствора желатины и 1 объема ферментного раствора, инкубировали в термостате при 37°. Результаты опытов приведены в табл. 4. Необходимо указать, что в этом опыте, как и в ранее приведенных, в нулевое время обнаружено достаточно большое количество остаточного азота. Так, содержание его в фосфатном экстракте было в пробе с цистеином 126 мг%, а в двух других пробах — 116 мг%. С целью наглядности приведенные в табл. 4 данные, касающиеся общего азота, даны в виде разности между обнаруженным его количеством и количеством остаточного азота, найденного в нулевое время; количество остаточного азота и азота аминокислот, найденное в начале опыта, также принято равным нулю.

Таблица 4

Влияние сернистого натрия и цистеина на активность протениаз ржавого микроспорума

Время действия фермента, час.	Азот, мг%							
	общий		остаточный			аминокислот		
	без активатора	активатор		без активатора	активатор		без активатора	активатор
Na ₂ S		цистеин	Na ₂ S		цистеин	Na ₂ S		цистеин

Опыт (8 а) с водным экстрактом

0	494	502	474	0	0	0	—	—	—
6	—	—	—	69	263	78	0	0	0
24	—	—	—	170	436	203	0,7	9,8	4,9
48	—	—	—	252	492	300	1,4	16,1	6,4

Опыт (8 а) с фосфатным экстрактом

0	505	508	495	0	0	0	—	—	—
6	—	—	—	119	418	288	0	0	0
24	—	—	—	250	489	408	6,2	14,7	12,6
48	—	—	—	317	506	492	18,7	19,6	16,8

Данные табл. 4 показывают, что из высушенной на воздухе грибкицы фосфатным буфером извлекается протениаз значительно больше, чем водой. Это подтверждается нарастанием в реакционных смесях продуктов распада желатины. Так, в течение 6 часов в пробе без активатора с водным экстрактом расщепилось 13,97%, а с фосфатным экстрактом — 23,5% взятого количества желатины. Если первую цифру принять за 100, то вторая будет равна 168. Это подтверждает наше предположение о том, что фосфаты оказывают положительное действие на извлечение протениаз из высушенного мицелия грибов.

При изучении данных, полученных в пробах без активатора, обращает на себя внимание то, что расщепление желатины водными экстрактами происходит медленнее, чем фосфатными экстрактами, только в начале опыта (в первые 6 часов); в дальнейшем этот процесс постепенно выравнивается и в обоих случаях становится почти одинаковым. Этот факт показывает, что фосфаты не только способствуют извлечению протениаз из ткани грибов, но оказывают и активирующее действие на эти ферменты.

Рассматривая данные, полученные с водными экстрактами, легко заметить, что в пробе с цистеином скорость расщепления желатины до полипептидов лишь немногим больше скорости превращения ее в пробе

без цистенна и значительно меньше, чем в пробе с сероводородом, образующимся из прибавленного сернистого натрия. Так, если в пробе с цистенном в течение первых 6 час. разложилось 16,5% взятого количества желатинны, а в пробе без цистенна — 13,9%, то в пробе с сероводородом — 52,5%; в течение 24 час. гидролиз этого белка достигал соответственно 63,3; 51,0 и 98,0%.

Интересно то, что в пробах с фосфатным экстрактом активирующее действие как цистенна, так и сероводорода выражено в значительно большей степени, чем в пробах с водным экстрактом. Так, в случае использования фосфатного экстракта уже в течение 6 час. гидролиз желатинны достигал в пробе с цистенном 58%, а в пробе с сероводородом — 82%, тогда как в случае водного экстракта соответственно гидролизовалось только 16,5 и 52,5% желатинны.

Таким образом, полученные в этом опыте данные убедительно свидетельствуют о том, что цистенин и сероводород активируют протенназы гриба, расщепляющие желатинну до веществ, не осаждающихся трихлоруксусной кислотой. При взятых нами количествах активирующее действие сероводорода было значительно больше, чем цистенна, как в присутствии фосфатов, так и без них.

М. Л. Беленький и В. И. Розенгарт [21] уже давно указывали, что все известные ферменты могут быть разделены на сульфгидрильные и несulfгидрильные. Из протенназ к числу первых относятся папаин и катепсин, а к числу вторых — пепсин и трипсин. Исходя из приведенных выше литературных данных, а также и из полученных в наших опытах результатов по влиянию сероводорода, цистенна и pH на расщепление желатинны ферментами ржавого микроспорума, можно считать, что протенназы микроспорумов относятся к группе тиоловых ферментов и если не тождественны, то близки к таким, как папаин и катепсин.

Одновременно с нами другие сотрудники нашей лаборатории изучали протенназы других грибов. Ими найдено, что протеолитические ферменты некоторых дерматофитов не активируются ни цистенном, ни сероводородом. Более того, они даже несколько угнетаются этими соединениями. Так, тормозящее действие указанных веществ на процесс расщепления желатинны ферментами ахориона Шонлейна обнаружено О. Л. Семовских [12]. Аналогичное влияние сероводорода и цистенна наблюдала и Е. И. Сальникова [16] в опытах с протенназами фиолетового трихофитона.

Установленное неодинаковое влияние цистенна и сероводорода на протенназы отдельных видов грибов свидетельствует о том, что микроспорумы, в частности ржавый микроспорум, резко отличаются от ахориона Шонлейна и фиолетового трихофитона не только в морфологическом, но и в биохимическом отношении, хотя все эти грибы поражают человека, а их ферменты могут расщеплять одни и те же белки, например желатинну, казеин, белки гороха (эти данные нами еще не опубликованы). Одним из биохимических различий между этими дерматофитами является то, что в молекуле протенназ микроспорумов в качестве одной из определяющих ферментативное действие группировок атомов имеется свободная или связанная сульфгидрильная группа, тогда как у протеолитических ферментов ахориона и трихофитона она или отсутствует, или же не влияет на каталитические их свойства.

Нам представляется, что различное отношение к цистенну и сероводороду протенназ микроспорума, ахориона Шонлейна и фиолетового трихофитона имеет не только теоретический интерес, но при необходимости может быть использовано как один из дополнительных тестов для идентификации грибов.

Выводы

Установлено, что у недавно распространившегося в некоторых районах СССР гриба — ржавого микроспорума (*Microsporium ferrugineum*) имеется система ферментов, состоящая из протенназ и пептидаз, при участии которой происходит процесс расщепления белков (желатинны) до полипептидов и аминокислот. Протенназная активность гриба значительно выше пептидазной. У этого гриба имеются также ферменты, расщепляющие аминокислоты.

Протеолитические ферменты прочно удерживаются живой тканью гриба и из свежего, только что отделенного от питательной среды мицелия не извлекаются водой в сколько-нибудь заметном количестве. Из автолизованной же грибницы и из грибницы, высушенной при комнатных условиях, в вакууме или в термостате при 30—35°, или из грибницы, обезвоженной при 18—20° ацетоном, протенназы экстрагируются водой, а еще лучше — фосфатным буфером с pH около 7,0; фосфаты способствуют переходу протеолитических ферментов из мицелия в раствор.

Наибольшая активность протенназ этого гриба проявляется при реакции среды, близкой к нейтральной (pH = 6,98—7,38); однако они действуют в довольно широких пределах значения pH (3,60—9,18); при более высоких pH опыты не проводились.

Сероводород (сернистый натрий) и цистенин активируют протенназы микроспорума при действии их на желатинну; активирующее действие первого выше, чем второго. В пробах с фосфатными экстрактами активирующее действие этих веществ проявляется в большей степени, чем в пробах с водными экстрактами.

В отличие от протенназ некоторых других дерматофитов, протеолитические ферменты микроспорума относятся к тиоловым ферментам и близки к протенназам растительного происхождения типа папаина.

Новосибирский медицинский институт

Поступила в редакцию 16/IX 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Верюжский, Исследования по морфологии и биологии паразитных растительных грибов *Trichophyton tonsurans* и *Achorion Schönleinii*. Воен.-мед. журн., т. 159, отд. 1, 1887, стр. 47—94.
2. F. Blumenthal, A. Mallinckrodt-Haupt, Zur Biologie der Hautpilze, I. Mitteilung, Arch. für Dermatol. u. Syphilis, B. 144, H. 3, s. 458—475, 1923.
3. A. Mallinckrodt-Haupt, Die protease der pathogenen Hautpilze, Arch. für Dermatol. u. Syphilis, B. 154, H. 3, s. 493—508, 1928.
4. P. Tate, On the Enzymes of certain dermatophytes or ringworm fungi. Parasitology, vol. 21, p. 31, 1929.
5. L. Vámos, Über Pilzfermente. Zentralblatt für Haut- und Geschlechtskrankheiten, B. 44, H. 9/10, s. 513, 1933.
6. L. Vámos, Über der Pilzfermente. Eiweiss- und Kohlenhydratspaltende Enzyme, Zentralblatt Bact. Orig., B. 136, H. 1/2, s. 80—84, 1936.
7. L. Nékam, Über den quantitative Fermentgehalt der hautpathogenen Pilze. Debrecen kongressus dermatologorum internationales, IX — i, v. 2, s. 644—648 (Budapestini), 1936.
8. L. Grigoraki et R. David, Caractères biochimiques des Teignes, Compt. rend. des Séances de la Société de Biologie, 128, № 21, pp. 889—891, 1938.
9. L. Grigoraki et R. David, Caractères biochimiques, de *Microsporium gypseum*. Compt. rend. des Séances de la Société de Biologie, 132, № 25, pp. 448—450, 1939.
10. L. Grigoraki et R. David, Caractères biochimiques de *Microsporium fulvum*. Compt. rend. des Séances de la Société de Biologie, 132, № 25, pp. 450—452, 1939.
11. Ф. Т. Сухенко, О. Л. Семовских, Е. И. Сальникова, Превращение азотистых веществ питательной среды под влиянием фиолетового трихофитона и ржавого микроспорума.

- вого микроспорума. Итоговая за 1949 г. научн. конф. Новосиб. гос. мед. ин-та и Ин-та усовершенствования врачей. Тез. докл., Новосибирск, 1950, стр. 102.
12. О. Л. Семовских, Азотистое питание и протеолитические ферменты ахорнона Шонлейна. Тр. Новосиб. мед. ин-та, т. 30, 1958, стр. 132.
 13. А. В. Благовещенский, О различных ферментах одного наименования в зависимости от их происхождения. Биохимия, т. 2; вып. 3, 1937, стр. 155—167.
 14. Дж. Б. С. Холден, Энзимы, Госхимиздат, М.—Л., 1934.
 15. Ф. Т. Сухенко, Е. С. Подгайная, Расщепление белков ферментами *Fusarium avenaceum*. Биохимия, т. 16, вып. 6, стр. 528, 1951.
 16. Е. И. Сальникова, Некоторые биохимические свойства фиолетового трихофитона. Итоговая за 1955 г. конференция, посвященная 20-летию Новосиб. мед. ин-та, Тез. докл., Новосибирск, 1956, стр. 238.
 17. В. І. Білай, Мікробіологічний журнал Академії наук УРСР, т. II, стр. 19, 1947.
 18. K. Willstätter und W. Grassman, Über die Activirung des papains durch Blausäure. Ztschr. Physiol. Chem. B. 138, s. 184, 1924.
 19. Ф. Т. Сухенко, О. Л. Семовских, Превращение азотистых веществ питательной среды и расщепление желатинны под влиянием грибов рода фузарииум. Биохимия, т. 14, вып. 3, 1949, стр. 201.
 20. А. В. Благовещенский, Н. А. Кудряшева, Термические коэффициенты расщепления белков протеолитическими ферментами. Биохимия, т. 9, вып. 5, 1944, стр. 248.
 21. М. Л. Беленький, В. И. Розенгарт, О влиянии ядов на тиловые ферментные системы клетки. Успехи современной биологии, т. 28, вып. 3 (6), 1949, стр. 387—399.

Э. Л. АФАНАСЬЕВА

НАУПЛИАЛЬНЫЕ СТАДИИ РАЧКА
EPISCHURA BAICALENSIS SARS. ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Epischura baicalensis Sars. является одной из ведущих форм байкальского зоопланктона. Изучение распространения планктона по всему Байкалу показало, что эпишура отсутствует только в сорах и мелководных бухтах и то лишь летом; на всех остальных участках Байкала этот рачок обычен, присутствует круглый год, концентрируясь преимущественно в поверхностных слоях воды до 50 м, но встречается и на глубинах свыше 500 м. Биомасса его нередко составляет свыше 90% от общей биомассы зоопланктона.

Epischura baicalensis — основная пища для таких пелагических рыб Байкала, как омуль, желтокрылый бычок, голомянка и гаммариды *Macrohectopus*. Науплиусы эпишуры поедаются циклопами. Сам же рачок живет за счет растительного планктона и бактерий [1].

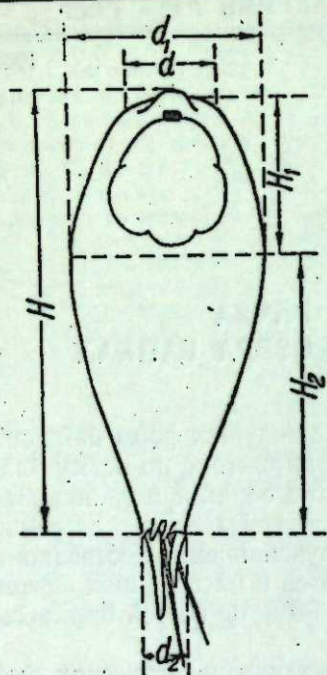
Epischura baicalensis Sars. (Copepoda, Calanoida) относится к свободноживущим пелагическим формам с полным метаморфозом. Основные моменты жизненного цикла эпишуры были установлены исследованиями А. А. Коротнева (1902), В. Н. Яснитского (1923—1930), А. А. Захваткина (1930—1932), Б. И. Гарбера (1948), М. М. Кожова (1940—1955) и др. Б. И. Гарбер [2] дал описание копепоидных стадий *Epischura baicalensis*. Однако до последнего времени отсутствовали данные по морфологии личиночных (науплиальных) стадий.

Задачей нашего исследования* было выяснить количество науплиальных стадий *Epischura baicalensis*, дать морфологическую характеристику рачков каждой стадии, определить размеры науплиусов зимне-весенней и летней генераций, вычислить их объем и вес и дать таблицу важнейших признаков.

Основным материалом для работы послужили планктонные пробы, собранные в течение двух лет (1953—1955) планктонными сетями типа Джеди и Цеппелин из шелкового мельничного газа № 50—70.

Методика работы заключалась в следующем: зарисовывалась форма тела науплиусов *Epischura*, устанавливались количество пар конечностей и их строение, вооружение каудального конца тела, измерялись общая длина и ширина и подсчитывался объем рачков. Все эти данные сводились в таблицы, которые позволяли сравнивать рачков отдельных стадий. Зарисовка частей тела науплиусов производилась под микроскопом с помощью рисовального аппарата. При этом использовался как живой материал, так и личинные шкурки, попадающиеся в планктонных пробах. Для определения размеров тела науплиусов измерялось по 50 экземпляров каждой стадии летней и зимней генераций. Объем тела вычислялся

* Работа была выполнена на кафедре зоологии беспозвоночных Иркутского государственного университета под руководством проф. М. М. Кожова, которому выражаю искреннюю благодарность. Сбор и обработка материала производились на Байкальской биологической станции Биолого-географического института в районе Б.Котов.



$$V = \frac{1}{3} \pi H_1 (R^2 + Rr + r^2) + \frac{1}{3} \pi H_2 (R^2 + Rr_2 + r_2^2)$$

Рис. 1. Схема формы тела науплиуса пятой стадии (H — длина; $R = d_1 : 2$; $r = d : 2$; $r_2 = d_2 : 2$).

ный шип с четырьмя длинными волосками и голая щетинка. Второй членик базиподита имеет у основания длинную, толстую, густо оперенную волосками щетинку и две небольшие голые щетинки. Эндоподит одночленистый с тремя щетинками на конце и двумя тонкими короткими щетинками, отходящими от небольшого утолщения на внешнем крае. Экзоподит пятичленистый. Ясных границ между члениками нет. Дистальный членик короче других и несет две щетинки. От вершины каждого членика отходит по одной длинной щетинке, а от направленного во внутрь угла первого, самого крупного членика отходят две щетинки. Все щетинки голые.

Мандибулы (рис. 2, I г) двуветвистые, состоят из двучленистого базиподита, одночленистого эндоподита и четырехчленистого экзоподита. Резких границ между члениками нет. Первый членик базиподита с одной голой короткой щетинкой, второй расширен и несет две щетинки, которые снабжены волосками. Эндоподит одночленистый с двумя отходящими от него длинными толстыми щетинками, покрытыми густыми волосками. На конце эндоподита четыре голых щетинки. Экзоподит четырехчленистый. На конце каждого членика имеется по щетинке, у дистального членика — две щетинки.

На заднем конце тела науплиуса две каудальные щетинки, причем левая короче правой (со спинной стороны). Они расположены или почти параллельно, или их свободные концы приближены друг к другу (рис. 2, I д). Верхняя губа в виде округлой пластинки. По свободному краю ее имеется ряд волосков разной длины. На брюшной стороне тела — «волосатое поле», но его рисунок трудно различим.

по формуле двух усеченных конусов, сложенных основаниями (рис. 1). По объему определялся вес науплиусов, при этом удельный вес рачка приравнялся к единице. Ниже описываются науплиальные стадии *Epischura baicalensis* Sars.

Первая науплиальная стадия (рис. 2, I)

Форма тела рачков этой стадии неправильно яйцевидная. Конечностей три пары: первые антенны, вторые антенны и мандибулы.

Длина первых антенн (рис. 2, I б), равна $\frac{2}{3}$ длины тела. Первые антенны одноветвистые, состоят из трех члеников, ясных границ между которыми нет. Дистальный членик на конце несет три щетинки, из них средняя немного толще и длиннее остальных, снабжена чувствительными волосками. Средний членик на конце с внутренней стороны имеет одну длинную, оперенную волосками щетинку. На этом же членике ближе к его основанию на небольшом выступе есть маленький шипик.

Вторые антенны (рис. 2, I в) состоят из двучленистой основной части (базиподита) и двух ветвей: внутренней (эндоподита) и внешней (экзоподита). На первом членике базиподита — один относительно круп-

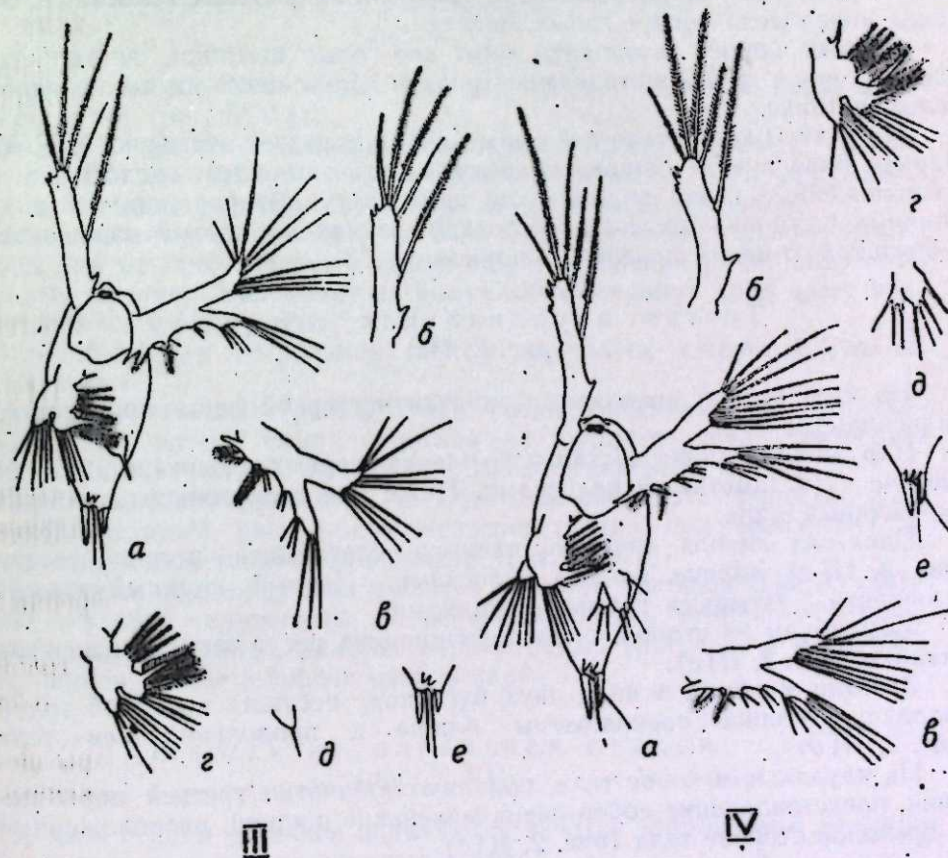
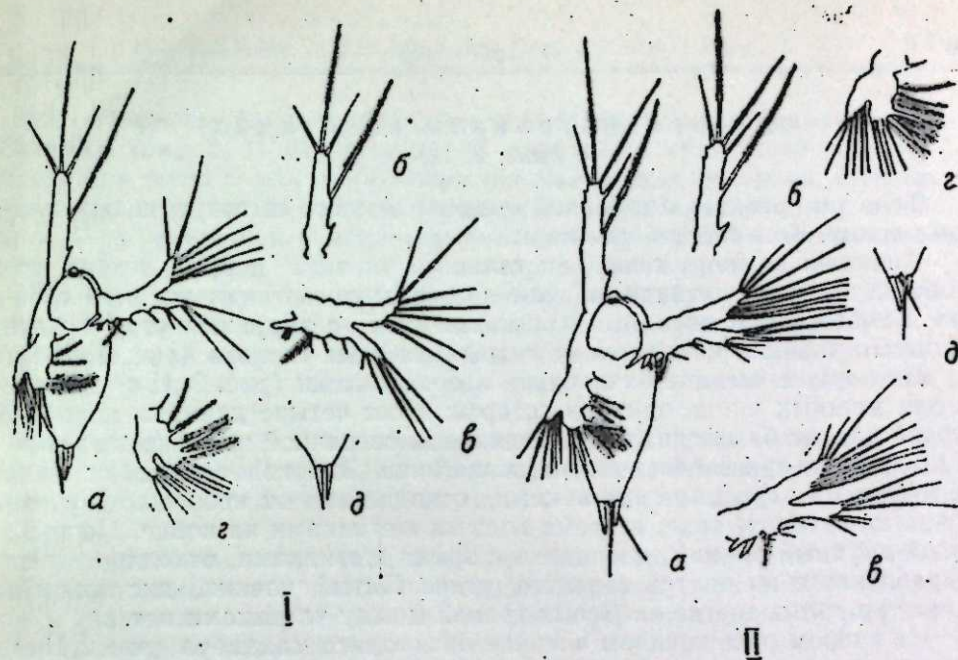


Рис. 2.

I: а — общий вид науплиуса первой стадии, б — первая антенна, в — вторая антенна, г — мандибула, д — вооружение каудального конца тела; II: а — общий вид науплиуса второй стадии, б — первая антенна, в — вторая антенна, г — мандибула, д — вооружение каудального конца тела; III: а — общий вид науплиуса третьей стадии, б — первая антенна, в — вторая антенна, г — мандибула, д — зачаток максиллы, е — каудальный конец тела; IV: а — общий вид науплиуса четвертой стадии, б — первая антенна, в — вторая антенна, г — мандибула, д — максилла, е — каудальный конец тела.

Вторая науплиальная стадия (рис. 2, II)

Тело по сравнению с первой стадией немного вытянуто к каудальному концу. Конечностей три пары.

Апикальное вооружение дистального членика первых антенн состоит из четырех щетинок, причем две средние щетинки длиннее крайних и снабжены волосками. Кроме щетинок, с наружной стороны дистального членика находятся два едва заметных шипика (рис. 2, II б).

На первом членике базиподита вторых антенн (рис. 2, II в) имеются два мощных шипа, один из которых несет четыре длинных волоска. Второй членик базиподита, кроме длинной оперенной щетинки, похожей на шип, имеет три небольших голых щетинок. Эндоподит с тремя тонкими и голыми короткими щетинками, отходящими от небольшого утолщения на внешнем крае, и тремя голыми щетинками на конце. Первый, самый крупный членик экзоподита с тремя щетинками, отходящими от направленного во внутрь верхнего угла. Пятый членик, дистальный, имеет три голых щетинок. Ясных граней между члениками нет.

На втором расширенном членике базиподита мандибул (рис. 2, II г) три оперенных щетинок. Эндоподит одночленистый с тремя отходящими от него длинными шиповидными щетинками, покрытыми волосками; на конце эндоподита четыре голых щетинок.

Первый членик экзоподита несет две голые щетинки, дистальный членик тоже с двумя щетинками. Средние два членика имеют по одной голой щетинке.

На заднем конце тела две пары каудальных щетинок (рис. 2, II д). Первая пара в виде шипов, оперенных чуть заметными волосками и расположенных почти параллельно друг другу. Вторая пара в виде длинных щетинок, находящихся между щетинками первой пары, одна с брюшной стороны, другая со спинной.

Третья науплиальная стадия (рис. 2, III)

На этой стадии появляются зачатки четвертой пары конечностей (максиллы).

Наружная щетинка дистального членика первых антенн (рис. 2, III б) оперена чуть заметными волосками. Ниже нее расположены два ясно выраженных шипа.

Один из шипов первого членика базиподита вторых антенн (рис. 2, III в) сплошь покрыт волосками. Первый крупный членик экзоподита с четырьмя голыми щетинками.

Мандибулы на втором членике базиподита несут четыре оперенных щетинок (рис. 2, III г).

Зачатки максилл в виде двух бугорков, несущих по одной голой щетинке, бугорки расположены ближе к продольной оси тела (рис. 2, III д).

На каудальном конце тела появляются зачатки третьей пары щетинок, представляющие собой очень маленькие шипики, расположенные на брюшной стороне тела (рис. 2, III е).

Четвертая науплиальная стадия (рис. 2, IV)

На этой стадии имеются четыре пары конечностей: первые антенны, вторые антенны, мандибулы и максиллы.

Все четыре щетинки апикального конца дистального членика первых антенн (рис. 2, IV б) оперены. С наружного края этого членика имеются два шипа и два зачаточных шипика в виде бугорков. Вторые антенны развиты так же, как у науплиусов третьей стадии, они отличаются лишь величиной и наличием четвертой щетинки на конце эндоподита (рис. 2, IV в).

Щетинка первого членика базиподита мандибул (рис. 2, IV г) оперена. На конце эндоподита находятся четыре щетинки, первая с внутреннего края оперена чуть заметными волосками. Вторая щетинка первого членика экзоподита также оперена, остальные щетинки голые.

Максиллы (рис. 2, IV д) представляют собой разветвленную лопасть — эндоподит и экзоподит. Базиподита нет. Экзоподит несет на конце три голые щетинки, а эндоподит имеет еще четвертую с наружного края.

На каудальном конце тела имеются три пары щетинок. Третья пара в виде удлиненных, слабо оперенных шипиков (рис. 2, IV е). Хотя шипики значительно короче остальных щетинок, они хорошо видны при малом увеличении микроскопа.

Пятая науплиальная стадия (рис. 3, V)

Появляются зачатки пятой пары конечностей — первой пары максиллярных ног (рис. 3, V е).

Вторая (снаружи) щетинка дистального членика первых антенн (рис. 3, V б) самая мощная и имеет длинные волоски. На наружном крае этого членика ясно видно четыре шипа в виде бугорков.

Экзоподит вторых антенн (рис. 3, V в) на пятом, дистальном членике несет три щетинки. Первый, самый крупный членик имеет пять тонких голых щетинок. Эндоподит на выпуклости внешнего края несет три щетинки, а на конце — пять.

Мандибулы так же развиты, как у науплиуса четвертой стадии (рис. 3, V г).

Эндоподит максилл (рис. 3, V д) с пятью щетинками, не покрытыми волосками, из них самая короткая — с внешнего края. Экзоподит снабжен девятью голыми щетинками. Базиподита нет.

Первая максиллярная нога в виде соскообразного выроста (без щетинок), который расположен непосредственно под максиллой и представляет собой зачаток эндоподита (рис. 3, V е).

На каудальном конце тела имеются три пары щетинок (рис. 3, V ж). Первая — в виде удлиненных и оперенных шипов, вторая — в виде длинных голых щетинок, длиннее первой пары, третья — в виде оперенных шипов, толще и короче первой пары.

Шестая науплиальная стадия (рис. 3, VI)

На этой стадии у рачков появляются зачатки второй пары максиллярных ног и двух пар плавательных ног.

От середины дистального членика первых антенн (рис. 3, VI б) с внутреннего края отходит голая короткая щетинка. На наружном крае этого членика шесть хорошо развитых шипов.

Два шипа первого членика базиподита вторых антенн (рис. 3, VI в) густо покрыты длинными волосками.

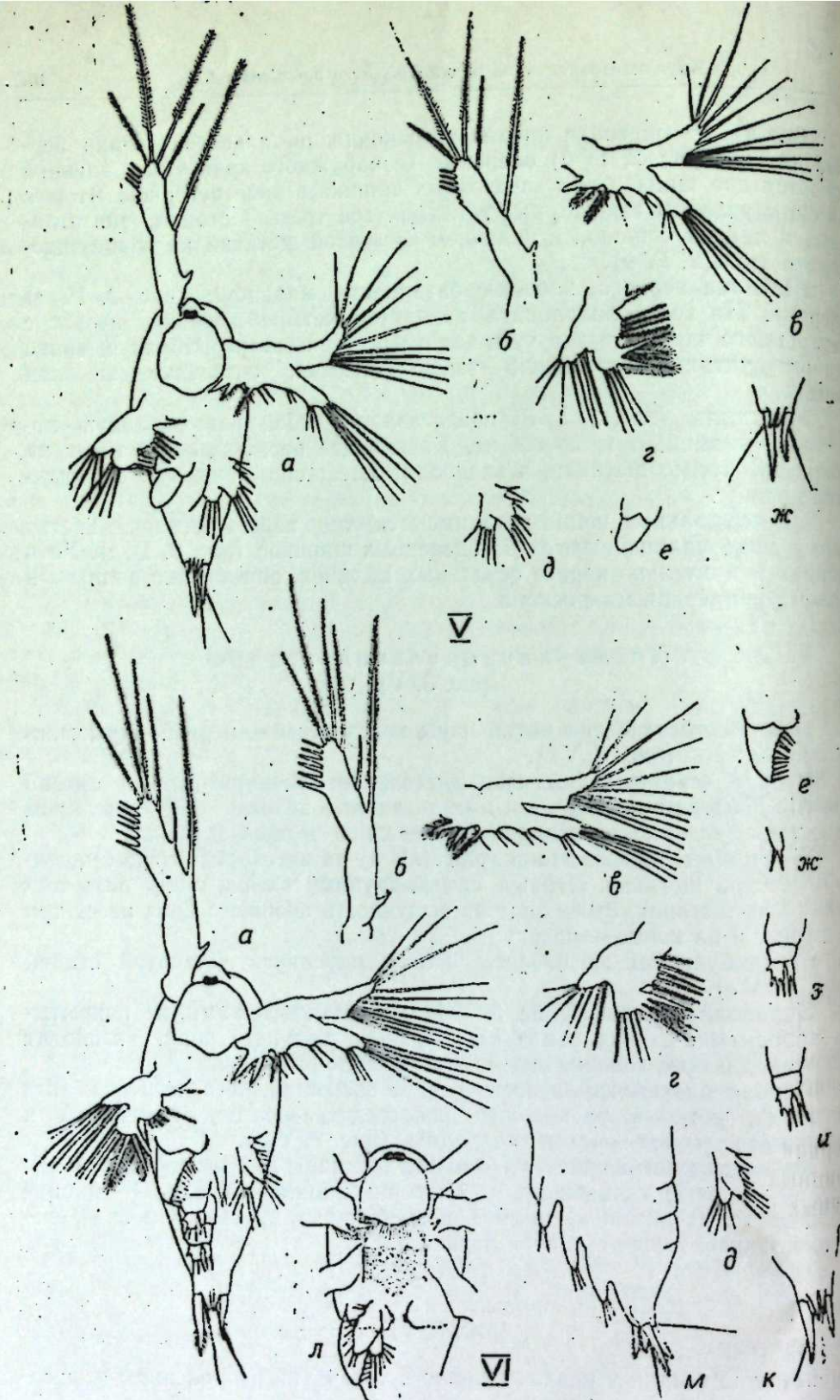


Рис. 3.

V: а — общий вид науплиуса пятой стадии, б — первая антенна, в — вторая антенна, г — мандибула, д — максилла, е — первая максиллярная нога, ж — каудальный конец тела; VI: а — общий вид науплиуса шестой стадии, б — первая антенна, в — вторая антенна, г — мандибула, д — максилла, е — максиллярная нога первой пары, ж — максиллярная нога второй пары, з, и — плавательные ноги первой и второй пары, к — каудальный конец тела, л — рисунок «волосатого поля» м — вид сбоку (ясно видны зачатки двух сегментов).

Мандибулы отличаются от мандибул науплиусов пятой стадии большей величиной (рис. 3, VI г).

У максилл базиподита нет; щетинки эндоподита и экзоподита не оперены (рис. 3, VI д).

Первая пара максиллярных ног (рис. 3, VI е) состоит из слегка раздвоенного базиподита, имеющего с внутреннего края три небольших, расположенных близко друг к другу шипика, и эндоподита с десятью короткими голыми щетинками.

Вторая пара максиллярных ног зачаточная и расположена немного ниже первой пары, ближе к средней оси тела. Она состоит из эндоподита с двумя голыми щетинками на конце (рис. 3, VI ж). Базиподита и экзоподита нет.

На этой стадии у рачков намечается сегментация тела. Появляются два зачаточных сегмента, несущие зачатки двух пар плавательных ног (рис. 3, VI м). Последние имеют двучленистый базиподит и две ветви: одночленистый с двумя щетинками на конце эндоподит и экзоподит с тремя щетинками и шипиком (рис. 3, VI з, и).

Каудальный конец тела несет три пары щетинок. Намечается появление фурки в виде легкого раздвоения посередине (рис. 3, VI к).

Поле волосков на брюшной стороне тела имеет своеобразный рисунок (его трудно проследить у науплиусов предыдущих стадий). Начинается поле от верхней губы двумя треугольниками, направленными вершинами к основанию мандибул. Отсюда, заполняя расстояние между двумя мандибулами, поле волосков языком подходит почти к основаниям максилл (рис. 3, VI л).

Обобщая приведенные данные, мы можем сказать, что науплиальный период развития рачка *Epischura baicalensis* состоит из двух ортонауплиальных и четырех метанауплиальных стадий.

Ортонауплиальные стадии (первая и вторая, рис. 2, I, II) характеризуются наличием только трех пар конечностей; зачатки каких-либо других пар конечностей отсутствуют. На второй стадии исчезает эмбриональный отпечаток, свойственный первой стадии: тело удлиняется, появляется вторая пара каудальных щетинок, несколько усложняется строение конечностей.

Метанауплиальные стадии (третья, четвертая, пятая и шестая, рис. 2, III, IV; рис. 3, V, VI) характеризуются тремя парами каудальных щетинок и появлением зачатков других пар конечностей. Так, на третьей стадии появляются зачатки максилл, на пятой — первой пары максиллярных ног и, наконец, на шестой — зачатки второй пары максиллярных ног и две пары зачаточных плавательных ног на соответствующих сегментах. Функциональное значение зачатков этих конечностей становится понятным лишь с их полным развитием в копеподитный период. Метанауплиальные стадии являются, следовательно, переходными между науплиусом и копеподитом.

Ниже приводится таблица важнейших признаков науплиальных стадий *Epischura baicalensis* Sars. (табл. 1).

Результаты измерений и вычислений сведены в табл. 2. Из этой таблицы видно, что длина науплиусов *Epischura* от стадии к стадии увеличивается. Длина науплиуса первой стадии почти в три раза меньше длины науплиуса шестой стадии. Интересно отметить, что науплиусы зимне-весенней генерации *Epischura* по размерам превосходят науплиусов летней генерации.

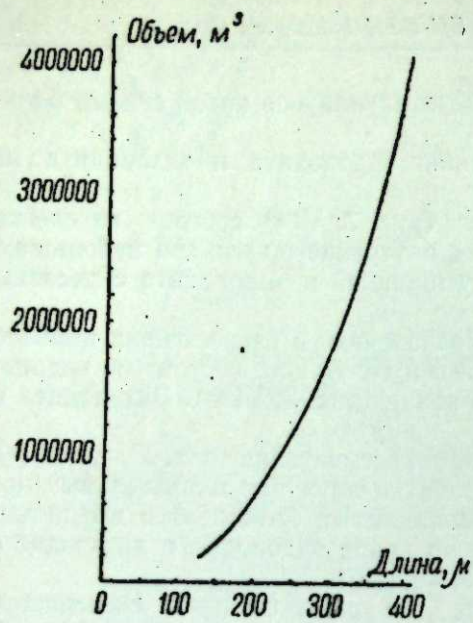


Рис. 4. График для определения объема и веса науплиуса по длине тела.

Таблица I
Важнейшие признаки науплиальных стадий рачка *Epischura baicalensis* Sars:

Признаки	Стадии					
	I	II	III	IV	V	VI
Максиллы	нет	нет	нет	нет	нет	Появляются зачатки двух сегментов, несущих плавательные ноги
Первая пара максиллярных ног	нет	нет	Зачатки в виде бугорков со щетинкой	Зачатки в виде раздвоенного бугорка (ясно виден)	Как у IV стадии	Как у IV стадии
Вторая пара максиллярных ног	нет	нет	нет	нет	Зачатки в виде соскообразных выростов	Зачатки оперены щетинками
Плавательные ноги	нет	нет	нет	нет	нет	Оперенные зачатки
Вооружение каудального конца тела	нет	нет	нет	нет	нет	Зачатки двух пар плавательных ног
Сегментация	Одна пара щетинок в виде почти параллельных шпилек; правая щетинка длиннее левой	Две пары щетинок; вторая пара тоньше и длиннее первой	Появляется третья пара очень коротких щетинок-шпилек с брюшной стороны	Три пары щетинок; третья пара более разнотипна и ясно различима (то же, в виде шпилек)	Как у IV стадии	Слегка заметно раздвоенное каудальное концевое кольцо (будущая фурка). Три пары щетинок

Таблица 2

Размеры, объемы и веса науплиальных стадий рачка *Epischura baicalensis* Sars. из озера Байкал

Стадия	Средняя длина, μ	Вариация длины, μ	Средняя ширина, μ	Вариация ширины, μ	Средний объем, μ^3	Вариация объема, μ^3	Вес 1 рачка, μg	Вес 1000 рачков, μg	Летняя генерация		Зимняя генерация	
									Средний объем, μ^3	Вариация объема, μ^3	Средний вес, μg	Вариация веса, μg
I	144,5	136—153	62,3	51 — 68	246,789	217,941—278,174	0,000247	0,25	246,789	217,941—278,174	0,000302	0,30
II	178,25	170 — 187	79,3	76,5 — 85	530,184	464,626—572,113	0,000530	0,53	530,184	464,626—572,113	0,000566	0,57
III	212,5	195,5—225,25	89,2	85 — 93,5	729,283	682,907—802,047	0,000729	0,73	729,283	682,907—802,047	0,000839	0,84
IV	255	229,5—263,5	108,3	93,5—114,75	1276,710	1143,845—1409,031	0,001276	1,28	1276,710	1143,845—1409,031	0,001386	1,39
V	308,95	306 — 314,5	121,8	114,75—127,5	1886,235	1809,657—2009,122	0,001886	1,89	1886,235	1809,657—2009,122	0,002172	2,17
VI	374	340 — 399,5	145,5	127,5—170	3549,827	2876,905—4045,272	0,003549	3,55	3549,827	2876,905—4045,272	0,0036	3,60
I	154	144,5—170	69	59,5 — 76,5	302,282	221,675—361,437	0,000302	0,30	302,282	221,675—361,437	0,000302	0,30
II	190,6	178,5—204	84	76,5 — 85	566,339	471,222—742,175	0,000566	0,57	566,339	471,222—742,175	0,000566	0,57
III	221	212,5—229,5	94,9	85 — 102	839,143	783,331—939,937	0,000839	0,84	839,143	783,331—939,937	0,000839	0,84
IV	264,6	238 — 280,5	113,5	102 — 119	1386,129	1164,520—1618,698	0,001386	1,39	1386,129	1164,520—1618,698	0,001386	1,39
V	316,2	306 — 331,5	126,5	119 — 136	2172,137	1786,633—2555,627	0,002172	2,17	2172,137	1786,633—2555,627	0,002172	2,17
VI	382,5	365,5—399,5	147,6	136 — 170	3600,617	2985,743—4064,039	0,0036	3,60	3600,617	2985,743—4064,039	0,0036	3,60

Линейные и объемные измерения науплиусов представлены на рис. 4. Пользуясь им, можно по длине науплиуса определить его объем, а следовательно, и вес.

Байкальская лимнологическая станция
Восточно-Сибирского филиала
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
9/XII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Кожов, Животный мир озера Байкал. Огиз, Иркутск, 1947.
2. Б. И. Гарбер, Постэмбриональное развитие *Epischura baicalensis* Sars. Изв. АН СССР, сер. биол., № 1, 1941.

И. П. ПЕТУХОВА

ДЕРЕВЬЯ И КУСТАРНИКИ СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ В ОЗЕЛЕНЕНИИ СРЕДНЕГО УРАЛА

Переселение растений наряду с селекцией и гибридизацией — одно из основных средств обогащения растительных ресурсов. Средний Урал, как и многие другие районы нашей страны, в результате историко-геологических событий оказался гораздо беднее видами древесных растений, чем другие территории, расположенные в относительно одинаковых географических и климатических условиях.

Настоящая работа проведена нами путем обследования зеленых насаждений в городах Среднего Урала (с 1956 г.), а также на основе многолетних исследований по интродукции Опытной станции по озеленению при Уральском научно-исследовательском институте Академии коммунального хозяйства* и Ботанического сада Уральского Филиала АН СССР.

Основная задача работы состояла в изучении роста и развития интродуцированных североамериканских древесных пород в условиях Среднего Урала.

Для быстрейшего расширения ассортимента и улучшения выпускаемого питомниками материала необходимо полностью использовать тот фонд растений, который накопился на Среднем Урале в результате интродукции [1—3].

Наблюдения за ростом и развитием интродуцированных пород в условиях Среднего Урала позволили нам рекомендовать обширный ассортимент деревьев и кустарников для зеленого строительства и лесных культур там, где эти виды дали положительные, с нашей точки зрения, результаты.

По количеству интродуцированных видов на Среднем Урале представители североамериканской флористической области занимают второе место после дальневосточных деревьев и кустарников (табл. 1). Из общего числа иноземных пород, культивируемых на Среднем Урале, полностью акклиматизировалось 69,3%. Из них на дальневосточные породы приходится 25,7%, на североамериканские — 17,3%. Представителей остальных флористических областей значительно меньше.

Широколиственные леса на Урале пережили эпоху наибольшего оледенения на западном склоне и в предгорьях Южного Урала. Ледниковые реликты на предгорьях и прилегающих к Уралу равнинах представлены только травянистыми растениями *Dryas punctata*, *Saxifraga caespitosa*, *Dianthus repens* и др. [4]. Северная Америка значительно меньше пострадала от оледенения. Флора ее поэтому более богата и, несомненно, представляет большой интерес для интродукции.

* В дальнейшем будем именовать ее Опытной станцией по озеленению.

Таблица 1

Происхождение и количество интродуцированных видов деревьев и кустарников, культивируемых на Среднем Урале

Естественный ареал	Всего видов	% от общего числа культивируемых видов	Колич. видов хвойных	Колич. лиственных		
				видов	подвидов и форм	всего
Дальний Восток	62	34,4	2	58	2	60
Северная Америка	42	22,9	6	35	1	36
Средняя Азия	4	2,1	—	3	—	4
Балканский п-ов	3	1,7	1	2	—	2
Кавказ и Крым	3	1,7	—	3	—	3
Западная Европа	25	13,1	2	23	—	23
Восточная Европа II	—	—	—	—	—	—
Западная Сибирь	20	10,8	—	20	—	20
Садовые формы	24	13,3	—	7	17	24
Всего:	183	100	11	—	—	172

Подавляющая масса североамериканских видов, успешно интродуцированных на Среднем Урале, относится к восточному приатлантическому лесному району Северной Америки (табл. 2).

Таблица 2

Происхождение североамериканских деревьев и кустарников, интродуцированных на Среднем Урале

Районы Северной Америки	Хвойные		Лиственные	
	число видов	%	число видов	%
Западный Тихоокеанский лесной	2	5,0	3	7,3
Канада и восточный лесной	3	7,3	33	80,4

Ботанический центр этого района расположен на Аппалачских горах. Здесь имеется разнообразие таких важных родов древесных пород, как дуб, ясень, клен, орех. Значение восточноамериканского лесного района как источника для интродукции ценных древесных пород заключается в том, что по широте и климату он весьма близок к Уралу [5].

Все обследованные североамериканские породы прошли ступенчатую акклиматизацию. Большинство семян получено из вторичных пунктов интродукции — из Москвы и Казани. Количество исследованных особей колебалось в среднем от 2—5 до нескольких десятков. Преобладающий возраст — от 21 года до 40 лет, но были посадки и 2—5 лет.

Так как образование семян является конечным результатом нормального развития каждого растения, есть все основания рассматривать наличие плодоношения в качестве надежного показателя высокой степени успешности переселения растений. В табл. 3 приведены данные о плодоношении разных видов деревьев и кустарников североамериканского происхождения на Среднем Урале.

Данные табл. 3 показывают, что большинство видов североамериканского происхождения в условиях Среднего Урала плодоносит, следовательно, они успешно акклиматизировались.

Как известно, к быстрорастущим породам относятся те, у которых кульминация прироста происходит в возрасте 10—30 лет. Не имея для некоторых пород данных по плодоношению, но наблюдая их отличный рост

Таблица 3

Плодоношение деревьев и кустарников североамериканского происхождения на Среднем Урале

Семейство	Общее колич. видов		Из них плодоносящих		% плодоносящих	
	деревьев	кустарников	деревьев	кустарников	деревьев	кустарников
<i>Pinaceae</i>	5	—	3	—	60	—
<i>Fagaceae</i>	1	—	—	—	—	—
<i>Salicaceae</i>	2	—	2	—	100	—
<i>Aceraceae</i>	2	—	1	—	50	—
<i>Oleaceae</i>	1	1	1	1	100	100
<i>Juglandaceae</i>	2	—	—	—	—	—
<i>Rosaceae</i>	1	12	—	—	—	—
<i>Cupressaceae</i>	1	—	1	11	100	91
<i>Berberidaceae</i>	—	1	1	—	100	—
<i>Leguminosae</i>	—	2	—	1	—	100
<i>Caprifoliaceae</i>	—	3	—	3	—	—
<i>Saxifragaceae</i>	—	2	—	2	—	100
<i>Elaeagnaceae</i>	—	1	—	1	—	100
<i>Rutaceae</i>	—	1	—	1	—	100
<i>Vitaceae</i>	—	1	—	—	—	—

в условиях Среднего Урала, интересно расположить соответствующие виды по скорости роста. Такое расположение дает некоторое представление о степени акклиматизации видов, которые на Среднем Урале не плодоносят или очень редко плодоносят, таких, как клен серебристый (*Acer saccharinum* L.), дуб красный (*Quercus rubra* L.), орех серый (*Juglans cinerea* L.), черемуха поздняя (*Padus serotina* (Ehrh.) Agardh.) и некоторые другие (табл. 4).

Таблица 4

Быстрота роста деревьев и кустарников североамериканского происхождения в условиях Среднего Урала

Породы	Возраст, лет	Среднегодовой прирост по высоте, см
<i>Лиственные</i>		
Тополь бальзамический	30	76
Черемуха пенсильванская	27	38
Ясень пенсильванский	33	33
Клен ясенелистный	32	26
Клен серебристый	28	20
Дуб красный	33	12
Черемуха виргинская	31	7,7
Клен колосистый	32	6,5
Орех серый	30	4,8
Черемуха поздняя	33	3
<i>Хвойные</i>		
Ель канадская	33	15
Пихта бальзамическая	29	12
Ель колючая	33	10,4
Туя западная	29	9
Ель Энгельмана	33	8,7

Клен серебристый в условиях Среднего Урала не плодоносит, однако, как видно из таблицы, очень неплохо растет в местных условиях. Несомненно, для озеленения он очень интересен благодаря своей декоративности и хорошему росту. Размножить его можно зеленым черенкованием.

Наиболее отрицательно сказывается климат Среднего Урала на видах деревьев и кустарников, имеющих на родине ограниченный естественный ареал, в частности это относится к акации белой (*Robinia pseudoacacia* L.), произрастающей в центральной части плато Озарк и в районе Аппалачских гор, от Атланта на юге до Вашингтона на севере.

Большая часть видов, полностью акклиматизировавшихся, т. е. почти не страдающих от суровых зим и плодоносящих в местных условиях, имеет на родине очень широкий естественный ареал. К таким видам относятся клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), ирга канадская (*Amelanchier canadensis* (L.) Medic.) и др. Широкий естественный ареал, например клена ясенелистного, распространенного по всей территории США и Канады, позволяет виду приспосабливаться к различным условиям среды на большой протяженности.

На Среднем Урале вполне зимостойкими оказались 29 видов: арония черноплодная (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot), боярышник канадский (*Crataegus canadensis* Sarg.), боярышник мягковатый (*Crataegus submollis* Sarg.), вишня Бессея (*Cerasus Besseyi* (Bailey) comb. nova), ель канадская (*Picea canadensis* Britt.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), ель Энгельмана (*Picea Engelmanni* Engelm.), жимолость канадская (*Lonicera canadensis* Marsh.), жимолость покрывальная (*Lonicera involucrata* Banks.), лох серебристый (*Elaeagnus argentea* Pursh.), ирга канадская, ирга обильноцветущая (*Amelanchier florida* Lindl.), клен ясенелистный, клен колосистый (*Acer spicatum* Lam.), магония падуболистная (*Mahonia aquifolium* Nutt.), свидина отпрысковая (*Thelycrania stolonifera* (Mchx.) Pojark.), смородина золотая (*Rubus aureum* Pursh.), снежноягодник (*Symphoricarpos racemosus* I. Mich.), пихта бальзамическая (*Abies balsamea* Mill.), птелея (*Ptelea trifoliata* L.), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim.), таволга белая (*Spiraea alba* Du Roi.), таволга Дугласа (*Spiraea Douglasii* Hook.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь канадский (*Populus deltoides* Marsh.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.), черемуха виргинская (*Padus virginiana* L. Mill.), черемуха пенсильванская (*Padus pensylvanica* (L. f.) comb. nova.), ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.).

Значительно подмерзает, но плодоносит в местных условиях только один вид — чубушник пушистый (*Philadelphus latifolius* Schrad.). Малина душистая (*Rubus odoratus* L.) и черемуха поздняя, также довольно сильно подмерзающие, плодоносят очень нерегулярно и образуют мало семян. Виноград пятилистный (*Parthenocissus* Planch.) и клен серебристый почти не страдают от суровых уральских зим, но не плодоносят. Аморфу (*Amorpha fruticosa* L.), акацию белую, дуб красный, орех серый можно отнести к группе малозимостойких видов, не цветущих и не дающих семян в местных условиях. Эти виды очень сильно подмерзают, но ежегодно восстанавливаются корневыми отпрысками, пней порослью или принимают вид кустарников.

Реакции интродуцентов на условия Среднего Урала выражаются в габитуальных изменениях, в сдвигах ритма роста и развития. Так, туя западная, растущая на родине в виде дерева средней величины, приобретает на Среднем Урале форму кустарника, который вполне морозостоек и обильно плодоносит. То же можно сказать о клене колосистом, который на родине имеет вид не только кустарника, но и дерева высотой до 10 м, а на Среднем Урале — лишь кустарника.

Следует отметить, что габитуальные изменения не отражаются на плодоношении и развитии видов, которые вполне приспособились к местным условиям и не теряют своей декоративности.

Средний Урал, включающий различные по рельефу горный Урал, Предуралье и Зауралье, сильно варьирует по составу почв и климатическим особенностям. Несомненно, все это сказалось на особенностях приспособления интродуцированных видов.

В виде примера интересно рассмотреть черемуху позднюю и птелею. Птелея в Предуралье малозимостойка. В г. Березники она ежегодно вымерзает до корневой шейки. По-видимому, большое количество осадков в долине Камы действует на птелею неблагоприятно, рост побегов не успевает завершиться, и к зиме кустарник оказывается неподготовленным. В Зауралье же птелея обильно плодоносит и подмерзаний не наблюдается. Это можно объяснить тем, что на родине она приспособилась к горным условиям, так как концентрируется в районе Аппалачей.

Черемуха поздняя совершенно не оправдала себя в Зауралье. Здесь она неморозостойка, не цветет и не плодоносит. В Предуралье же, в долине Камы, черемуха поздняя не только цветет, но и дает зрелые семена, несмотря на то, что подмерзание однолетнего прироста наблюдается очень часто. Объяснения также нужно искать прежде всего в естественном распространении данного вида на родине. Черемуха поздняя дико растет на территории от Онтарио до Северной Дакоты, в Техасе и Флориде, охватывая долину Миссисипи с притоками. Понятно, что условия Предуралья (долина Камы) обеспечивают черемухе поздней более легкую акклиматизационную перестройку.

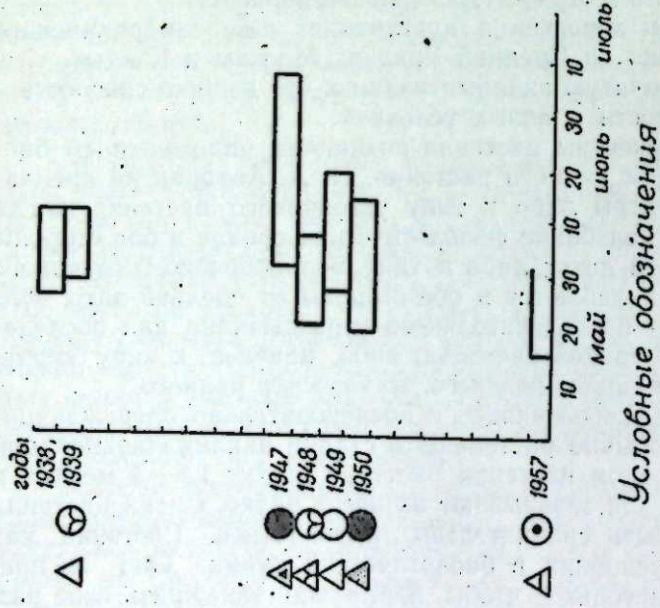
В новой среде продолжительность стадий и фаз должна измениться соответственно новому ритму развития. Следовательно, фенология акклиматизирующихся растений и их многолетние спектры не могут быть устойчивыми. Отклонения фенологических сроков бывают тем больше, чем больше разница между прежними и новыми условиями жизни растений. Репродукция в условиях культуры только усложняет, но не снижает проявления эколого-географической закономерности.

Большинство семян деревьев и кустарников североамериканского происхождения прислано на Средний Урал из Москвы и Казани, т. е. растения прошли ступенчатую акклиматизацию, что должно способствовать их приспособляемости в новых условиях.

Многолетние феноспектры цветения подчинены определенным биологическим особенностям данного растения. Н. А. Аврорин [6] предлагает относить феноспектры либо к типу устойчивого цветения, когда происходит небольшое колебание фенологических сроков в обе стороны от определенной средней даты; либо к типу волнообразно-устойчивого цветения, когда сроки колеблются в обе стороны от средней даты волнообразно; либо к типу последовательного запаздывания или последовательного опережения сроков цветения; либо, наконец, к типу «мечущегося» цветения, то слишком позднего, то чересчур раннего.

Последовательно запаздывающее и последовательно опережающее цветение свойственно обычно растениям в стадии акклиматизационной перестройки. При затяжном цветении растения цветут 1,5—3 месяца и не завязывают плодов или завязывают их очень редко. Сроки цветения могут смещаться или быть сравнительно постоянными. Растение как бы заходит в новых условиях в биологический тупик. Оно не приспособляется к ним настолько, чтобы нормально завершить свое развитие плодоношением, не перестраивается и не акклиматизируется [6]. Примером в условиях Среднего Урала может служить малина душистая.

Большинство деревьев и кустарников североамериканского происхождения в условиях Среднего Урала имеет постоянно-устойчивый или волнообразно-устойчивый тип цветения, что свидетельствует о прироч-



Лето: ▲ засушливое, △ сухое, △ умеренно
 сухое, ● очень холодное, ○ холодное,
 ⊖ умеренно холодное, ▲ сырое, △ влажное,
 △ умеренно влажное, ● очень жаркое,
 ⊕ теплое, ⊕ умеренно теплое

Рис. 1. Многолетний феноспектр цветения спорыньи в условиях Свердловска и его зависимость от климатических особенностей каждого года.

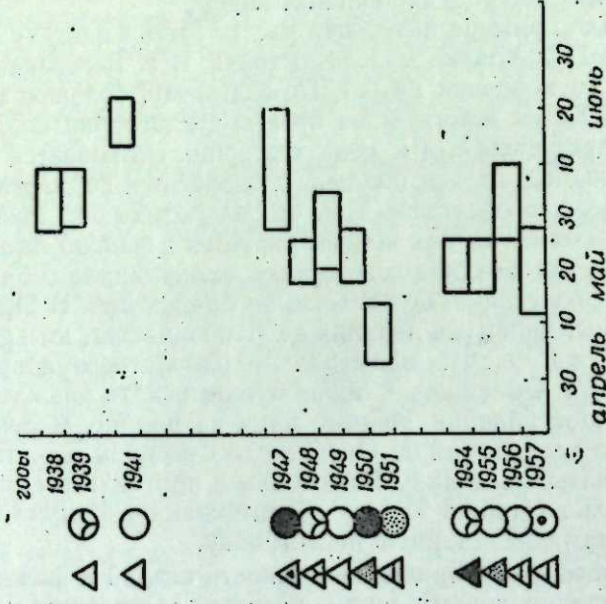


Рис. 2. Многолетний феноспектр цветения спорыньи в условиях Свердловска и его зависимость от климатических особенностей каждого года. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

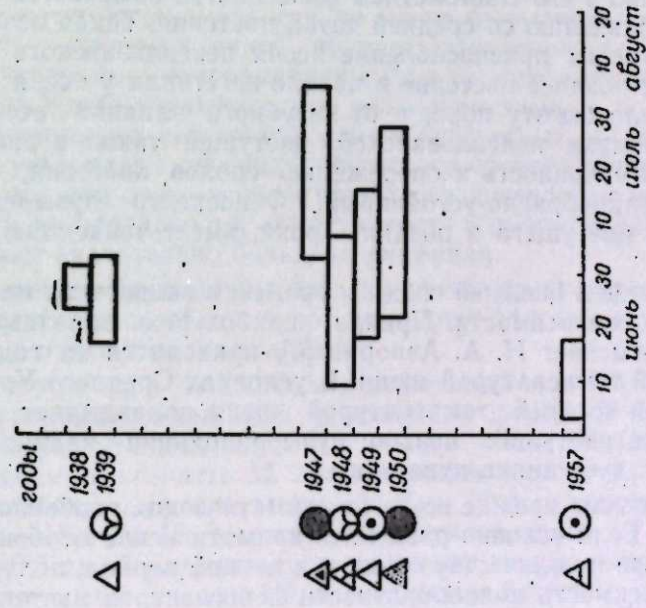


Рис. 3. Многолетний феноспектр цветения спорыньи в условиях Свердловска и его зависимость от климатических особенностей каждого года. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

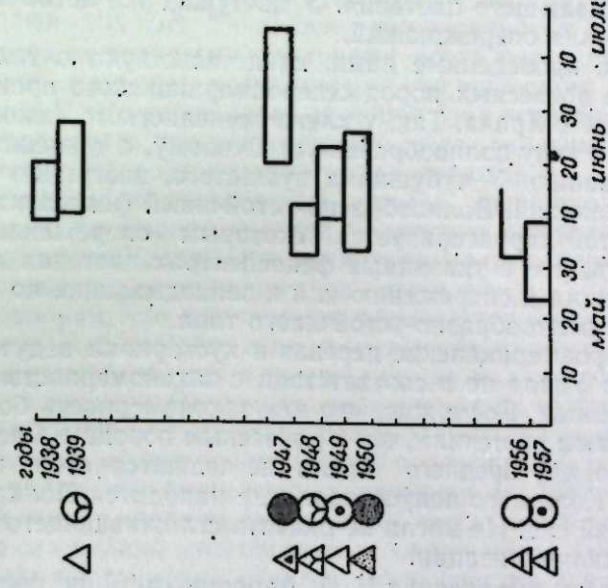


Рис. 4. Многолетний феноспектр цветения спорыньи в условиях Свердловска и его зависимость от климатических особенностей каждого года. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

ценной или приобретенной относительно высокой приспособляемости к новой среде.

Н. А. Аврорин [6] отмечает, что в Полярно-альпийском ботаническом саду для ранцветущих растений при акклиматизации характерен феноспектр запаздывающего цветения. У цветущих же летом или осенью феноспектр цветения опережающий.

Наблюдения, проведенные нами, свидетельствуют о такой закономерности у ряда древесных пород североамериканского происхождения в условиях Среднего Урала. Так, у клена ясенелистного феноспектр цветения относится к типу волнообразно-устойчивому, с тенденцией к некоторому запаздыванию. У чубушника пушистого, цветущего летом, тип цветения опережающий. Волнообразно-устойчивый феноспектр цветения смородины золотой характеризуется некоторым опережением сроков. Следует отметить, что в указанных феноспектрах цветения есть только некоторая тенденция к опережению или к запаздыванию, но в основном это феноспектры волнообразно-устойчивого типа.

Многие североамериканские деревья и кустарники ведут себя в условиях Среднего Урала не в соответствии с закономерностью, отмеченной Н. А. Аврориным. Возможно, что эта закономерность больше относится к травянистым растениям, чем к древесным породам. Следует также учесть, что условия Кольского полуострова, где находится Полярно-альпийский ботанический сад. Не могла не оказать сглаживающего действия и ступенчатость акклиматизации.

Закономерность, выявленная Н. А. Аврориным [6], не подтверждается в условиях Среднего Урала на таких деревьях и кустарниках, как черемуха пенсильванская, ясень пенсильванский, арония черноплодная, пузыреплодник калинолистный и др. Ясень пенсильванский цветет в ранние сроки. Однако в его многолетнем феноспектре намечается опережение сроков по сравнению со средней датой цветения. Такая особенность, несомненно, тормозит приспособление ясеня пенсильванского к новым условиям. Более позднее цветение и начало вегетации у ясеня пенсильванского избавило бы эту породу от пагубного влияния весенних заморозков. У черемухи пенсильванской, цветущей также в ранние сроки, наблюдается склонность к опережению сроков цветения, хотя феноспектр и волнообразно-устойчивый. Феноспектр пузыреплодника калинолистного, цветущего в поздние сроки, имеет тенденцию к запаздыванию.

Между влиянием внешней среды и временем зацветания нет строгой функциональной зависимости. Правда, наибольшее запаздывание зацветания, как отмечает Н. А. Аврорин [6], приходится на годы с наименьшей средней температурой июня. В условиях Среднего Урала в годы с наименьшей средней температурой июня запаздывает цветение древесных пород, цветущих поздно: пузыреплодника калинолистного, снежноягодника, чубушника пушистого.

Цветение зависит прежде всего от климатических особенностей предыдущего года. Если условно разделить климатические особенности года по температуре и количеству осадков в летний период, получится опереженная зависимость волнообразности феноспектров цветения.

Условное деление проведено нами следующим образом (рис. 1—4). Сумма температур за июнь, июль, август: 1) лето очень холодное (сумма температур 1400° и меньше); 2) лето холодное (сумма температур 1435—1464°); 3) лето умеренно холодное (сумма температур 1484—1525°); 4) лето очень жаркое (сумма температур 1650—1684°); 5) лето теплое (сумма температур 1591—1614°); 6) лето умеренно теплое (сум-

ма температур 1531—1578°). Сумма осадков на июнь, июль, август: 1) лето сырое (сумма осадков 337—430 мм); 2) лето влажное (сумма осадков 241—282 мм); 3) лето умеренно влажное (сумма осадков 214—225 мм); 4) лето засушливое (сумма осадков 81—142 мм и меньше); 5) лето сухое (сумма осадков 149—165 мм); 6) лето умеренно сухое (сумма осадков 180—205 мм). Такое деление основано на том, что осадки и тепло являются важнейшими факторами роста растений. Безусловно, в данном случае допущена схематизация, упрощающая положение, так как разница в 1° и меньше ведет за собой уже перевод в другую группу. Однако сложность процесса цветения и его зависимость от климатических особенностей года получают свое отражение.

Пузыреплодник калинолистный, арония черноплодная, черемуха пенсильванская, смородина золотая полностью акклиматизировались в условиях Среднего Урала. Они прекрасно растут, вполне зимостойки, обильно плодоносят, дают жизненное потомство.

Мы не говорим, что зависимость феноспектра цветения от климатических особенностей каждого года является строго функциональной. Она такой и не может быть, так как цветение не механический, а сложный биологический процесс. Однако такая зависимость существует и во многих случаях проявляется довольно резко. В годы с холодным сырым летом наблюдаются запаздывание сроков и растянутый период цветения. Это можно видеть на феноспектрах цветения за 1947 и 1950 гг. (см. рис. 1—4). В годы с жарким засушливым летом, наоборот, сроки цветения опережают средние многолетние и сокращаются (см. рис. 2). В переходные годы таких резких сдвигов в феноспектре цветения не наблюдается, хотя есть определенные колебания. При сдвиге в сторону более низкой температуры и при большем количестве осадков цветение обычно несколько запаздывает и удлиняется, а при повышении температуры и меньшем количестве осадков опережает средние сроки и сокращается.

Более четко закономерности не могут быть выявлены из-за малочисленности изучаемых видов. Мешает выявлению также то, что деревья и кустарники североамериканского происхождения представлены на Среднем Урале исключительно репродуктивами.

Остановимся на нескольких самых интересных, на наш взгляд, деревьях и кустарниках североамериканского происхождения, которых совершенно нет или очень мало в наших озеленительных посадках. Однако по своей декоративности, зимостойкости и простоте размножения они заслуживают значительно большего внимания.

Из деревьев рассмотрим ель колючую, из кустарников — тую западную, магонию падуболистную, смородину золотую и снежноягодник, из лиан — виноград пятилистный.

Ель колючая отличается декоративностью. На Среднем Урале хорошо зарекомендовала себя сизохвойная форма. В Свердловске по ул. Чапаева растут экземпляры высотой до 7—9 м. На Опытной станции по озеленению в возрасте 32 лет ель имеет высоту 3,5 м, поперечник кроны в наиболее широком месте — 2,12 м. Диаметр ствола у поверхности почвы — 15,4 см. На высоте 0,5 м диаметр равен 5,7 см, а на высоте 1,3 м — 3,3 см. В Свердловском дендропарке ель колючая в возрасте около 17 лет имеет высоту 1,5 м, в Нижнем Тагиле в саду Л. К. Рудых в возрасте около 20 лет дерево имеет высоту 1,7 м. В г. Березники Пермской области культивируются два экземпляра ели колючей высотой 1,63 и 1,45 м с диаметром ствола у поверхности почвы 7,4 и 4 см. Везде вполне зимостойка. Хорошо переносит газы и пыль. Размножается семенами, прививкой. Особенно интересен для нас прививочный метод на местные формы ели, обеспечивающий более быстрый рост.

Туя западная — кустарник широкопирамидальной формы. В возрасте 17—20 лет в питомнике Горзеленстроя г. Перми имеет высоту 3 м, диаметр ствола у поверхности почвы — 8 см. В Свердловске на Опытной станции по озеленению туя западная в возрасте 29 лет имеет высоту 2,5 м с шириной кроны 1,7 м и диаметром ствола у поверхности почвы 7 см. В дендропарке туя западная в возрасте около 10 лет имеет высоту 1 м. Вполне зимостойка. Обильно плодоносит. Размножается семенами и черенками.

Магония падуболистная — кустарник до 1 м высоты, с темно-зелеными непарноперистыми кожистыми колючими листьями. В наших условиях вполне зимостойка, ежегодно плодоносит. Дает обильные корневые отпрыски. Несмотря на простоту размножения и очень декоративный внешний вид, в зеленом строительстве используется мало. Но единичные экземпляры, культивируемые по Уралу и даже в Сибири, говорят о достаточной акклиматизации этого вида. Так, магония растет в Свердловске в Ботаническом саду УФАН СССР, в дендропарке, на Опытной станции по озеленению; в Нижнем Тагиле в питомнике Горзеленхоза. В Омске магония неплохо растет в дендропарке Сельскохозяйственного института и в питомнике № 1. Этот вечнозеленый кустарник прекрасно зимует в условиях Среднего Урала, находясь под снежным покровом. Высота его в Свердловске в возрасте 30 лет равна 0,30—0,42 м. Особенно он декоративен в бордюрах.

Смородина золотая. Золотисто-желтые цветы и блестящая темно-зеленая листва придают растению декоративность. Прекрасно поддается стрижке. Легко размножается семенами и черенками. На Среднем Урале вполне акклиматизировалась, о чем свидетельствуют экземпляры, культивируемые в Свердловске, Березниках, Перми. Высота в возрасте 14 лет составляет 1,5—2 м. Ежегодно обильно плодоносит.

Снежноягодник — кустарник раскидистой формы с темно-зелеными простыми узкими листьями. Цветет с начала июля по август, а иногда и сентябрь мелкими беловато-розовыми цветами в коротких кистях, расположенных по всему побегу. Плоды, как видно из названия, — снежно-белые круглые ягоды в кистях. Остаются на кусте до зимы, украшая его в течение всей осени. В Свердловске высота кустов в возрасте 26 лет равна 60—75 см. В Березниках в питомнике Горзеленстроя культивируется 40 кустов высотой до 140 см. В Перми в саду А. И. Зеленина растет 5 кустов высотой 130 см. Везде зимостоек, дает большое количество корневых отпрысков, что делает его размножение весьма легким. Уже в возрасте 2 лет начинает давать плоды и затем плодоносит обильно.

Может быть использован на почвах с примесью строительного мусора для создания живых изгородей, бордюров и групповых посадок.

Виноград пятилиственный — очень изящная лиана с тонкими плетистыми побегами и красивой пятипальчатой и рассеченной листвой. В Свердловске растет в дендропарке и в Ботаническом саду Уральского университета. В возрасте 4—5 лет имеет длину плети 1,6—2,0—2,5—3,5 м. В Перми растет 1 экземпляр в Ботаническом саду университета и 3 экземпляра в виде пристенной культуры около дома по Коммунистической улице. Везде зимует без всякого прикрытия. Подмерзаний почти не наблюдается. Прекрасно размножается одревесневшими черенками. Для вертикального озеленения на Среднем Урале имеет очень большое значение.

Выводы

1. Из общего количества видов деревьев и кустарников североамериканского происхождения на Среднем Урале полностью акклиматизировалось 70,7%.

2. 29 видов североамериканского происхождения, в том числе 9 деревьев (черемуха пенсильванская, ель канадская, ель Энгельмана, ель колючая, пихта бальзамическая, тополь канадский, тополь бальзамический, ясень пенсильванский, клен ясенелистный) зарекомендовали себя на Среднем Урале как вполне зимостойкие, плодоносящие в местных условиях.

Особенно ценными для озеленения населенных мест являются ель колючая, клен серебристый, ясень пенсильванский, черемуха виргинская, смородина золотая, снежноягодник, туя западная, лох серебристый, виноград пятилиственный, магония падуболистная, птелея.

3. Высокая степень акклиматизации деревьев и кустарников североамериканского происхождения на Среднем Урале позволяет рекомендовать их не только для озеленения, но и для введения в лесные культуры.

4. Фонд растений, накопленный на Среднем Урале в результате интродукции, должен служить источником получения семян и черенков для размножения и внедрения ценных деревьев и кустарников в зеленое строительство.

Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию
11/IV 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Л. Стельмахович, Порайонный ассортимент деревьев и кустарников для Свердловской области. Свердловск, 1937.
2. Н. А. Коновалов, Е. Ф. Минина, Декоративные деревья и кустарники Урала. Свердловск, 1948.
3. Н. А. Коновалов, Деревья и кустарники Урала. Свердловск, 1951.
4. П. Л. Горчаковский, История растительности Урала в плейстоцене и голоцене в свете изучения реликтовых элементов флоры. Делегатский съезд ВБО (9—15 мая 1957). Тез. докл.
5. А. В. Гурский, Основные итоги интродукции древесных растений в СССР. М.—Л., 1957.
6. Н. А. Аврорин, Переселение растений на Полярный Север. М.—Л., 1956.

О. Ф. ВАСИЛЬЕВ,
Н. А. ПРИТВИЦ, В. М. ТИТОВ

**НЕКОТОРЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ,
ОТНОСЯЩИЕСЯ К МЕТОДАМ БОРЬБЫ С ЛИЧИНКАМИ
КРОВОСОСУЩИХ МОШЕК (ГНУСА) В РЕЧНЫХ ПОТОКАХ**

Значение проблемы борьбы с гнусом в Сибири общезвестно. В районах Приангарья и, в частности, в районе строительства Братской ГЭС основной компонентой гнуса являются мошки, составляющие около 90% от всех кровососущих [1]. Энтомологическим участком при строительстве Братской ГЭС осуществляется ряд мероприятий по борьбе с гнусом, в том числе уничтожение личинок мошек в р. Ангаре и ее притоках.

Для отыскания оптимальных методов борьбы с личинками мошки появилась необходимость исследовать поведение мелкодисперсных частиц инсектицида и личинок в речном потоке.

С этой целью летом 1959 г. на Братский опорный пункт по борьбе с гнусом Отдела биологии Восточно-Сибирского филиала Сибирского отделения АН СССР были направлены сотрудники Института гидродинамики СО АН СССР — авторы настоящей статьи. Инициатором явилась координационная комиссия по борьбе с гнусом при Президиуме СО АН СССР.

Авторами были рассмотрены некоторые гидродинамические вопросы, связанные с работами, проведенными Специальным энтомологическим участком строительства Братской ГЭС по борьбе с личинками кровососущих мошек в р. Ангаре.

Круг изучаемых вопросов можно разделить на две группы. В первую войдут вопросы, связанные с механизмом перемещения личинок мошек речным потоком. Вопрос о возможной дальности миграции личинок в речном потоке и о характере перемещения их потоком представляет существенный интерес для определения рациональных способов борьбы с личинками мошек.

Во вторую группу войдут вопросы, связанные с закономерностями распространения частиц инсектицида в русловом потоке. Введение эмульсии в речной поток осуществляется энтомологическим участком с воздуха при помощи самолетов. При отыскании оптимальных составов эмульсий и условий введения их в речной поток следует учитывать решающую роль турбулентного перемешивания в потоке.

Несмотря на кажущееся отличие этих двух групп вопросов, они решаются в общем одними и теми же методами, основанными на теории турбулентных русловых потоков. Поэтому далее обе задачи рассматриваются параллельно.

Выполненная работа может быть использована и при расчетах других способов введения инсектицида в речной поток.

**Исходные данные
о свойствах эмульсии инсектицида и личинок**

Данные о свойствах эмульсии инсектицида

Для производства гидродинамических расчетов необходимы следующие данные: объемный вес вещества, из которого состоят частицы (капельки) эмульсии инсектицида, размер капелек эмульсии, гидравлическая крупность частиц эмульсии, т. е. скорость падения частиц в спокойной воде. Часть этих данных была определена расчетным, часть экспериментальным путем.

Препараты инсектицидов, применяемые для воздействия на личинки, представляют собой масляные эмульсии токсического вещества (ДДТ или гексахлорана), для изготовления которых используются минеральные масла (соляровое, веретенное, машинное, зеленое). Остальные добавки обычно незначительны. Дальнейшие расчеты велись в предположении, что капельки эмульсии состоят практически из двух компонентов: минерального масла (66,7%) и ДДТ (33,3%) по весу. Объемный вес ДДТ — 1,556 г/см³, масла — 0,3 г/см³ (в среднем). Тогда для вещества капелек эмульсии получаем $\gamma_1 = 1,05 \text{ г/см}^3$. Это значение и было принято для дальнейших расчетов.

Перед употреблением концентрат эмульсии разбавляют водой до концентрации 2,5—5% по токсическому веществу.

Диаметры частиц эмульсии в этом случае, как показало непосредственное наблюдение под микроскопом, лежат в интервале 1—4 м. На 1 каплю диаметром 4 м приходится примерно 4 капли диаметром 2 м и 40 капель диаметром 1 м. Это соответствует весовому составу, приведенному в табл. 1.

Таблица 1

d, μ	Относительное количество	Весовой состав, %	Гидравлическая крупность $w_0, \text{ см/сек}$
1	40	29,4	$0,24 \cdot 10^{-5}$
2	4	23,6	$0,95 \cdot 10^{-5}$
4	1	47	$3,82 \cdot 10^{-5}$

Как видим, появление даже отдельных крупных капель резко сокращает число частиц эмульсии, что уменьшает вероятность воздействия на личинки.

Ввиду того, что вязкость вещества капелек эмульсии значительно больше вязкости воды, гидравлическая крупность частиц эмульсии может быть определена по формуле Стокса:

$$w_0 = \frac{2}{9} \frac{(\gamma_1 - \gamma)}{\mu} R^2 = \frac{2}{9} \left(\frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right) \frac{g}{\nu} R^2, \quad (1)$$

где w_0 — скорость падения (гидравлическая крупность), см/сек,

γ_1 — объемный вес вещества эмульсии, г/см³,

γ — объемный вес воды, г/см³,

μ — динамическая вязкость воды, г/см · сек,

ν — кинематическая вязкость воды, см²/сек,

R — радиус частицы, см,

g — ускорение свободного падения, 980 см/сек².

Вычисленная по формуле (1) гидравлическая крупность частиц рассматриваемой эмульсии приведена в табл. 1. Для расчета принята температура воды 15°С, при этом $\nu = 0,0114 \text{ см}^2/\text{сек}$. Как видно из таблицы, скорость падения частиц эмульсии в спокойной воде ничтожно мала.

Данные о свойствах личинок

Для производства расчетов по транспортированию личинок потоком нас интересовали следующие данные: объемный вес личинок, их размер и скорость падения в спокойной воде. Объемный вес и гидравлическая крупность были определены опытным путем; в качестве характеристики крупности личинок был принят фиктивный диаметр, определение которого описано ниже.

Для определения объемного веса использовались недавно отловленные личинки, доставленные в лабораторию в водной среде. Под биноклем определялись размеры каждой личинки (длина и диаметр), затем вычислялся ее объем. Так как каждую личинку отдельно взвесить было невозможно из-за отсутствия весов соответствующей точности (вес личинки примерно 1—2 мг), взвешивались группы личинок по 5—10 штук. Всего было взято 25 личинок. Так как точность измерений веса личинок, а в особенности их объема, недостаточна для точного определения объемного веса, средний объемный вес личинки принят с округлением до второго знака $\gamma_1 = 1,1 \text{ г/см}^3$.

Гидравлическая крупность личинок, т. е. скорость падения их в спокойной воде, была определена опытным путем. Только что отловленные личинки опускались в наполненный водой цилиндр высотой 30 см, секундомером засекалось время, за которое они проходили расстояние 25 см по вертикали. Данные 25 опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ опыта	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
t, сек.	22,4	30,0	35,6	26,7	27,0	25,6	22,6	25,4	40,0	38,0	27,6	30,0	20,2
№ опыта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
t, сек.	30,6	23,2	23,0	25,0	33,4	50,4	27,0	48,8	24,0	25,6	37,6	29,5	

Имеющийся разброс опытных точек объясняется тем, что личинки опускались в воду по-разному: одни плашмя, другие вертикально, третьи свернувшись. Средняя гидравлическая крупность личинки по данным 25 опытов $\omega_0 = 0,855 \text{ см/сек}$. Учитывая, что для отдельных личинок скорость падения была больше, а также для большей надежности последующих выводов принимаем для личинок $\omega_0 = 1 \text{ см/сек}$.

При гидравлических расчетах транспортирования потока частиц необходимо знать крупность частицы, влекомой потоком. Определим диаметр частицы, которая, имея плотность личинки, соответствовала бы ее гидродинамическим свойствам. Эту величину можно назвать фиктивным диаметром личинки. Как было найдено выше, объемный вес личинки $\gamma_1 = 1,1 \text{ г/см}^3$, гидравлическая крупность $\omega_0 = 1 \text{ см/сек}$. Зная эти величины, из формулы Стокса найдем фиктивный радиус личинки $R = 0,022 \text{ см}$. Фиктивный диаметр личинки $d = 0,044 \text{ см}$.

Гидродинамические расчеты движения эмульсии инсектицида и личинок в русловом потоке

Для гидродинамического расчета движения эмульсии инсектицида и личинок необходимо задаться некоторыми параметрами руслового по-

тока. Такими параметрами являются глубина потока H , средняя скорость v , температура воды $t^\circ \text{C}$, шероховатость дна, определяемая по составу слагающих его грунтов.

По данным, полученным в Ангарской экспедиции Мосгидэпа, за характерные параметры руслового потока Ангары в летние месяцы могут быть приняты следующие величины: средняя глубина в потоках $H = 2,0 \text{ м}$, средняя скорость $v = 1,0 \text{ м/сек}$, температура воды $t = 15^\circ \text{C}$.

Грунты дна представлены галечно-гравийными отложениями с песчаным разнозернистым кварцевым заполнителем, с редкими валунами. Гранулометрический состав грунта, полученный по 341 пробе на одном из характерных участков Ангары, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Крупность частиц, мм	60	60—40	40—20	20—10	10—5	5—2,5	2,5—1,2	1,2—0,6	0,6—0,3	0,3—0,15	0,1
Содержание, %	8,6	7,0	20,8	23,2	13,4	4,7	2,5	3,1	10,4	4,9	1,4

Вопрос о транспортируемости частиц эмульсии и личинок

Рассмотрим вопрос о транспортируемости русловым потоком частиц эмульсии инсектицида и личинок. Для этого обратимся к понятию о «срывающей скорости» [2, стр. 282]. Срывающей скоростью называется средняя скорость потока, при которой происходит срыв отдельных частиц со дна. Если скорость потока равна срывающей скорости или превышает ее, то частица будет подниматься потоком и транспортироваться им.

Величину срывающей скорости v_c определим по формуле В. Н. Гончарова [2, стр. 287]:

$$v_c = \sqrt{\frac{2g(\gamma_1 - \gamma)k}{1,75\gamma}} \lg \frac{8,8H}{k_5}, \quad (2)$$

где H — глубина потока,

γ_1 — объемный вес частицы,

k — средний размер частицы.

Величина k_5 определяется как размер тех наиболее крупных зерен дна, доля которых равна 5% от всего состава несвязного зернистого грунта русла. В соответствии со сказанным выше $H = 2,0 \text{ м}$, $\gamma_1 = 1,05 \text{ г/см}^3$. Анализируя состав грунта дна (см. табл. 3), принимаем с небольшим округлением $k_5 = 60 \text{ мм}$. Берем самую крупную частицу эмульсии $k = d = 4 \text{ м}$, так как скорость, достаточная для срыва наиболее крупной частицы, будет заведомо больше срывающей скорости для более мелких частиц.

По формуле (2) срывающая скорость для частицы эмульсии инсектицида размером 4 м равна $0,37 \text{ см/сек}$. Бытовые скорости в протоках Ангары имеют порядок $80—100 \text{ см/сек}$, т. е. неизмеримо больше срывающей скорости для частиц эмульсии. Отсюда следует, что частицы эмульсии будут непрерывно транспортироваться потоком.

Аналогично определим срывающую скорость для личинки. При этом, как указывалось выше, личинку можно рассматривать как частицу объемного веса $\gamma_1 = 1,1 \text{ г/см}^3$ с гидравлической крупностью $\omega_0 = 1,0 \text{ см/сек}$. Фиктивный диаметр такой частицы $k = 0,044 \text{ см}$.

По формуле (2) срывающая скорость для личинки равна $5,5 \text{ см/сек}$. (Разумеется, здесь не принимаются во внимание биологические факто-

ры, например прикрепление личинки нитями к субстрату). Это означает, что при скоростях, имеющих место в протоках Ангары, личинка, если ее рассматривать как инертную частицу, влекомую потоком, может передвигаться сколь угодно далеко вниз по течению.

Можно полагать, что возможность остановки личинки, вследствие столкновения ее с каким-либо подводным предметом и прикрепления к нему, более вероятна в русловых потоках с большим количеством островов, излучин и поворотов русла.

Распределение частиц эмульсии и личинок по глубине потока

Рассмотрим распределение в русловом потоке по вертикали частиц эмульсии инсектицида, а также личинок. Воспользуемся для этого диффузионной теорией взвешивания [3, стр. 113], которая вполне применима при малых размерах частиц и гидравлических крупностях, характерных для частиц эмульсии инсектицида и личинок.

Распределение взвешенных частиц по глубине потока определяется следующей формулой [2]:

$$\mu = \mu_g \left[\frac{\Delta y}{H(H-y)} \right]^{0,41} \sqrt{gHi}, \quad (3)$$

где H — глубина потока,

y — расстояние от поверхности потока,

μ — удельное содержание частиц на некоторой глубине,

μ_g — удельное содержание частиц в придонном слое,

i — уклон водной поверхности,

Δ — высота выступов шероховатости дна, определяемая из соотношения $\Delta = 0,7 k_s$ [2, стр. 288].

Так как уклон водной поверхности неизвестен, несколько преобразуем формулу, введя в нее вместо уклона величину средней скорости потока. Скорость потока по формуле Шези равна

$$v = C \sqrt{Hi}, \quad (4)$$

где C — коэффициент Шези. Можно записать также

$$v = \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{gHi}.$$

Найденное отсюда значение \sqrt{gHi} подставим в формулу для μ . Выразив C через Δ и H по формуле В. Н. Гончарова [2, стр. 99]

$$C = 17,71 \lg \frac{6,15H}{\Delta}, \quad (5)$$

окончательно получим показатель степени в формуле для μ в следующем виде:

$$\frac{\omega_0}{0,41 \sqrt{gHi}} = \frac{13,8 \omega_0}{v} \lg \frac{6,15H}{\Delta}.$$

Рассмотрим распределение по вертикали частиц эмульсии инсектицида диаметром 4 μ . Как было установлено выше, гидравлическая крупность такой частицы $\omega_0 = 3,82 \cdot 10^{-5}$ см/сек.

Согласно структуре формулы для μ удельное содержание частиц возрастает от поверхности к дну, достигая в придонном слое величины μ_g . Определим относительное удельное содержание частиц μ/μ_g по глубине потока. Вблизи свободной поверхности, на глубине 5 см от поверх-

ности, относительное содержание наиболее крупных частиц эмульсии инсектицида, подсчитанное по формуле (3), будет $\frac{\mu}{\mu_g} \approx 1,0^*$.

В точках, расположенных ниже по вертикали, отношение μ/μ_g будет еще ближе к единице.

Таким образом, частицы эмульсии инсектицида в русловом потоке практически распределены совершенно равномерно по глубине.

Расчет произведен для самых крупных частиц эмульсии размером 4 μ . Более мелкие частицы, как это следует из формулы, будут еще более равномерно распределены по глубине. Нетрудно заметить, что даже значительное укрупнение частиц инсектицида при практически возможном увеличении их объемного веса не может изменить этого результата. Поэтому нет смысла стремиться изменить распределение частиц эмульсии инсектицида по глубине потока путем увеличения их размера или плотности.

Первый путь потребует слишком большого увеличения размера капель, в результате чего резко уменьшится их количество. Второй путь дает ничтожные результаты, так как возможность увеличения объемного веса ограничена.

Если бы даже мы получили возможность увеличить объемный вес капелек эмульсии до объемного веса ртути, гидравлическая крупность капелек, как это нетрудно установить с помощью формулы (1), хотя и увеличилась бы из-за этого примерно в 100 раз, но все же осталась бы ничтожной по абсолютной величине.

Обратимся к распределению по вертикали личинок.

Гидравлическая крупность личинки $\omega_0 = 1$ см/сек значительно превышает гидравлическую крупность частиц эмульсии. Поэтому для личинок уже не будет такого равномерного распределения частиц по вертикали, как для частиц эмульсии инсектицида. Произведем расчет удельного содержания личинок на глубинах $y = 5, 50, 100, 150, 195$ см при трех значениях средней скорости потока $v = 1,0, 1,5$ и 2 м/сек. Результаты расчета показаны на рис. 1.

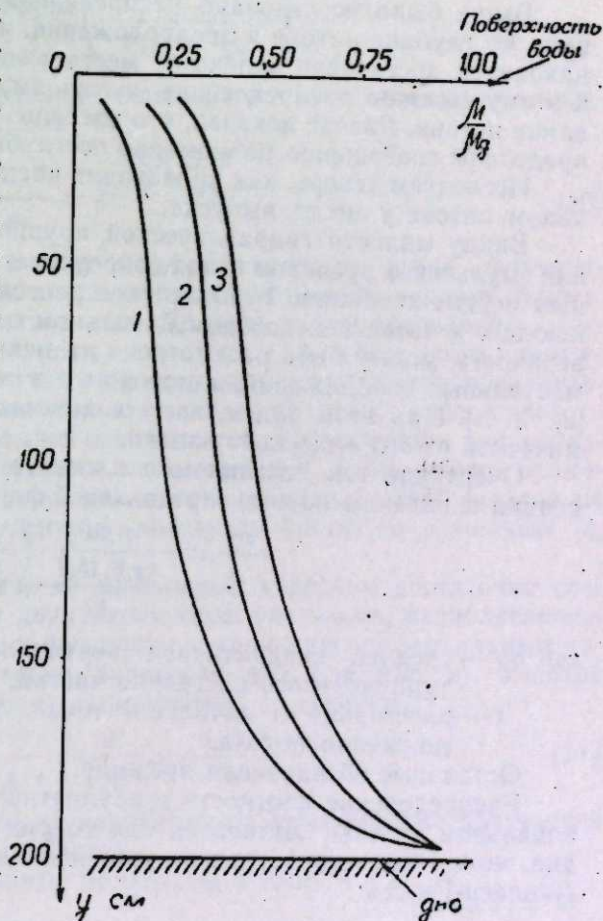


Рис. 1. Вероятностная кривая распределения переносимых потоком личинок по глубине потока. 1 — $v = 1$ м/сек; 2 — $v = 1,5$ м/сек; 3 — $v = 2$ м/сек.

* Отношение μ/μ_g несколько меньше единицы, однако эта разница проявляется только в пятом знаке и не улавливается даже при пользовании четырехзначными таблицами логарифмов.

Так как поток несет заведомо сравнительно небольшое на единицу объема воды количество личинок, то полученные кривые правильнее рассматривать как вероятностные кривые распределения переносимых потоком личинок по глубине потока.

Из рис. 1 видно, что относительное расчетное содержание личинок увеличивается по вертикали от поверхности к дну, причем при увеличении скорости потока распределение по вертикали становится более равномерным.

Распределение эмульсии инсектицида в руслевом потоке у места выпуска

Выше было исследовано распределение частиц эмульсии инсектицида по глубине потока в предположении, что рассматриваемое сечение находится достаточно далеко от места выпуска эмульсии в воду и что к этому сечению распределение частиц эмульсии стало стабильным по длине потока. Расчет показал, что частицы эмульсии в этом случае распределены совершенно равномерно по глубине потока.

Исследуем теперь, как происходит распространение эмульсии в руслевом потоке у места выпуска.

Ввиду малости гидравлической крупности эмульсии распространение эмульсии в руслевом потоке определяется исключительно турбулентным перемешиванием. Турбулентное рассеяние частиц эмульсии, проникающих в поток в некотором начальном сечении сквозь свободную поверхность, может быть рассмотрено на основе теоретических и экспериментальных соображений, изложенных в монографии В. Н. Гончарова [2, гл. X]. При этом будем считать возможным применение гидродинамической схемы «плоской» задачи.

Очертание так называемого плоского коноида турбулентного рассеяния в плоском потоке определяется формулой

$$\frac{\sigma y}{s} = \frac{0,51}{\Delta} \left(\frac{\Delta}{s} \right)^{1/4}, \quad (6)$$

где σy — среднее квадратичное вертикальное отклонение траекторий турбулентного рассеяния частиц,

s — расстояние от начальной точки, отсчитываемое в направлении движения потока.

Остальные обозначения прежние.

Распределение плотности турбулентного рассеяния по вертикали на начальном участке длиной s_1 , где коноид рассеяния еще не достигает дна, может быть представлено уравнением стандартного распределения Лапласа-Гаусса:

$$\mu = \frac{c}{\sigma y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2 y^2}}, \quad (7)$$

причем y , как и ранее, отсчитывается по вертикали от свободной поверхности. Для контура коноида рассеяния напишем $y = 3 \sigma y$.

Длина начального участка, т. е. расстояние s_1 , на котором взвесь достигает дна потока, определяется выражением

$$s_1 = \frac{1}{\Delta^{1/2}} \left(\frac{H}{1,53} \lg \frac{6,15H}{\Delta} \right)^{1/2}. \quad (8)$$

В пределах коноида рассеяния на начальном участке сосредоточено

99,7% всей площади кривой распределения, т. е. практически полностью вся взвесь.

Линия $y = 2 \sigma y$ ограничивает снизу область, в которой сосредоточено 95,4% взвеси, а линия $y = 3 \sigma y$ — область в которой размещается 68,3% взвеси (рис. 2).

Наибольшая плотность (концентрация) взвеси имеет место на свободной поверхности (при $y = 0$) и равна

$$\mu_0 = \frac{c}{\sigma y \sqrt{2\pi}}, \quad (9)$$

где c — концентрация взвеси в поверхностном слое потока в точке

$$y = 0; \quad s = s_0 = \left(\frac{\lg \frac{6,15H}{\Delta}}{0,51 \sqrt{2\pi}} \right)^{4/3} \Delta^{1/2}.$$

Относительное распределение концентрации по вертикали на начальном участке дается выражением

$$\frac{\mu}{\mu_0} = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma y} \right)^2} \quad (10)$$

Однако следует иметь в виду, что приведенные выше формулы В. Н. Гончарова применимы лишь до того поперечного сечения потока, где коноид рассеяния достигает дна. Дальше на распределение концентрации взвеси начинает влиять дно потока. Для учета этого влияния мы предлагаем воспользоваться методом наложения полей концентрации взвеси от системы источников, один из которых расположен в начальном сечении на свободной поверхности, а следующие располагаются на той же вертикали вверх и вниз через $2H$. Возможность применения метода наложения полей плотности (концентрации) следует из того, что уравнение турбулентной диффузии является линейным [4, стр. 271].

На некотором расстоянии за начальным участком достаточно сложить поля концентрации от двух источников: реального, располагающегося на поверхности потока, и фиктивного, являющегося зеркальным отражением первого относительно плоскости дна (см. рис. 2). Участок влияния двух источников будет простирается до сечения

$$s_2 = \frac{1}{\Delta^{1/2}} \left(\frac{2H}{1,53} \lg \frac{6,15H}{\Delta} \right)^{4/3}. \quad (11)$$

Распределение мутности по вертикали на этом участке получается наложением кривых Лапласа-Гаусса.

Основные расчетные данные приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

К построению кривых распределения концентрации

$S, м$	$\sigma y, см$	$2\sigma y, см$	$3\sigma y, см$	μ/c
0,015	0,4	0,8	1,2	1,0000
5,0	31,3	62,6	93,9	0,0128
6,85	39,8	79,6	119,4	0,0101
10,0	52,0	104,2	156,0	0,0077
13,72	66,7	133,3	200,0	0,0060
24,30	102,7	—	308,1	0,0039
34,80	133,3	—	400,0	0,0030

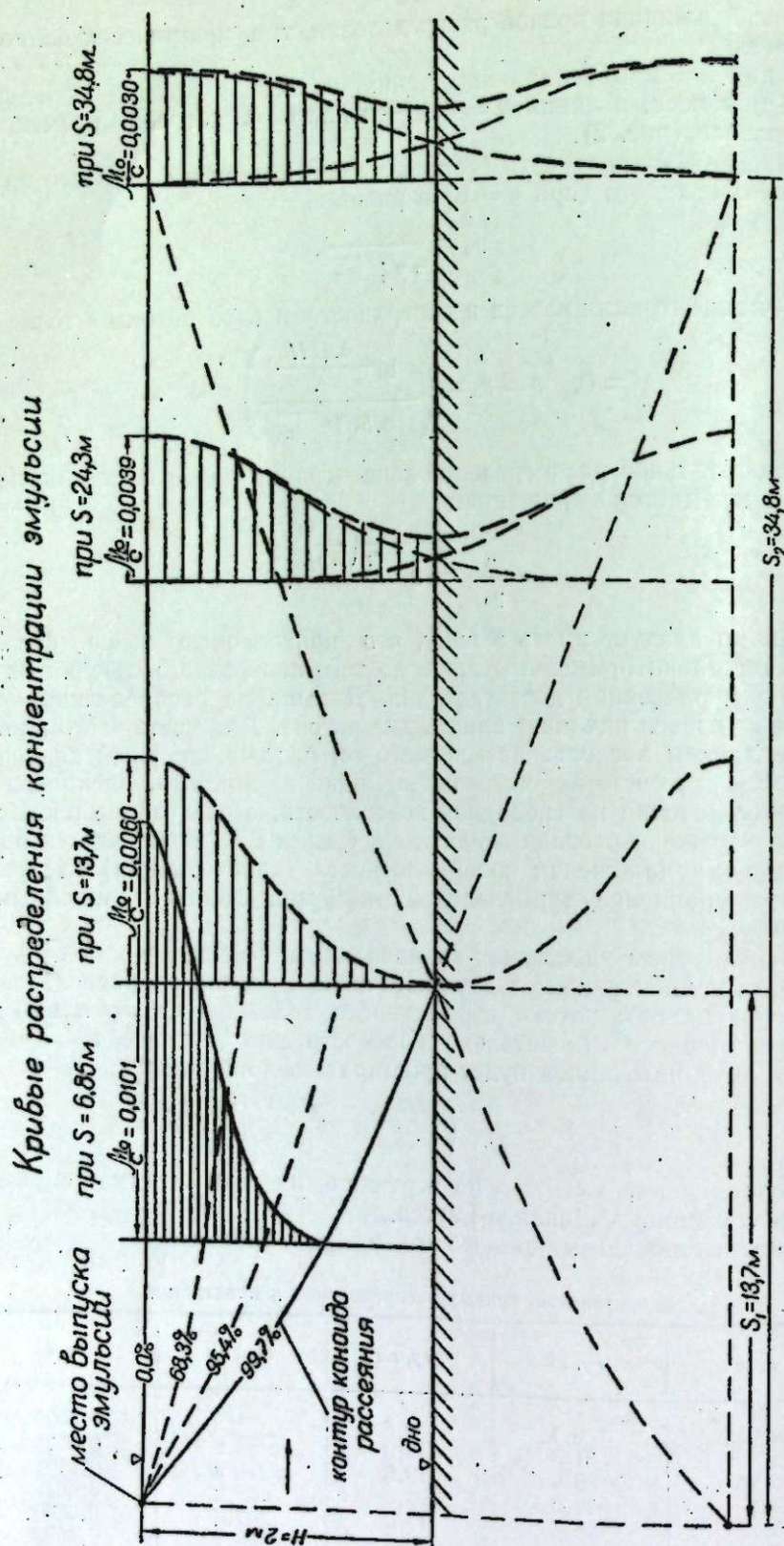


Рис. 2. Распространение эмульсии инсектицида в русловом потоке у места выпуска.

Таблица 5

Расстояние от поверхности y , см		0	50	100	150	200	
$s = 24,3 \text{ м}$	Верхняя кривая	μ/μ_0	1,0000	0,8869	0,6188	0,3430	0,1466
		$1000\mu/c$	3,9	3,46	2,41	1,34	0,57
	Нижняя кривая	μ/μ_0	0	0	0,0143	0,0523	0,1466
		$100\mu/c$	0	0	0,0557	0,204	0,57
	Сумма	μ/μ_0	1,0000	0,8869	0,6331	0,3953	0,2932
		$1000\mu/c$	3,9	3,46	2,4657	1,544	1,14
$s = 34,8 \text{ м}$	Верхняя кривая	μ/μ_0	1,0000	0,9324	0,7558	0,5326	0,3230
		$1000\mu/c$	3,0000	2,8000	2,27	1,60	0,97
	Нижняя кривая	μ/μ_0	1,0111	0,0318	0,0813	0,1738	0,3230
		$1000\mu/c$	0,0333	0,0955	0,244	0,52	0,97
	Сумма	μ/μ_0	1,0111	0,9642	0,8371	0,7064	0,6460
		$1000\mu/c$	3,0333	2,8955	2,514	2,12	1,94

Данные рис. 2 могут быть применены также для анализа распространения эмульсии инсектицида при выпуске ее у дна. В этом случае на расстоянии примерно 15 глубин вдоль русла более высокие концентрации будут сохраняться в придонных слоях потока, но уже на расстоянии примерно в 20 глубин произойдет практически равномерное перемешивание эмульсии по глубине потока.

Выводы

1. Расчеты транспортирования потоком личинок показали, что гидродинамические факторы не ограничивают возможной дальности перемещения личинок. Практически дальность миграции определяется рядом биологических факторов, учет влияния которых выходит за пределы настоящей работы.

2. Распространение эмульсии инсектицида в речном потоке за местом выпуска целиком определяется процессом турбулентного перемешивания в потоке; по расчетным данным, на расстоянии примерно 15—20 глубин от места выпуска устанавливается практически равномерное распределение эмульсии по глубине потока. Стремиться к перераспределению относительного содержания частиц эмульсии по глубине потока за счет изменения их размера или плотности нет смысла. Первый путь приведет к резкому уменьшению их абсолютного числа в единице объема воды (а отсюда — к уменьшению поражаемости личинок). Второй — не может дать сколько-нибудь существенных результатов из-за ограниченных возможностей изменения плотности растворителей и самих инсектицидов.

Место выпуска эмульсии по глубине потока играет роль лишь на близлежащем участке русла длиной примерно 15 глубин. На расстоянии

примерно 20 глубин устанавливается равномерное распределение эмульсии по глубине, не зависящее от способа введения эмульсии.

3. Для дальнейшей разработки поставленных вопросов, которая должна идти в основном по пути натурального экспериментирования, следует широко применять методы экспериментирования с помощью радиоактивных изотопов (метод «меченых атомов»). Применение этих методов может помочь в установлении дальности миграции личинок, интенсивности воздействия инсектицида на поверхность дна и растений на различных расстояниях от места выпуска эмульсии, выявить дальность действия эмульсии инсектицида вдоль речного потока, которая ограничивается, по-видимому, в основном адсорбцией частиц эмульсии поверхностью ложа русла.

Институт гидродинамики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
4/XI 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Гребельский, Борьба с кровососущими мошками на строительстве Братской ГЭС. Госэнергоиздат, 1958.
2. В. Н. Гончаров, Основы динамики русловых потоков. Гидрометеониздат, 1954.
3. И. И. Леви, Динамика русловых потоков. Госэнергоиздат, 1957.
4. М. А. Великанова, Динамика русловых потоков, ч. I, Гостехтеориздат, 1954.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Ю. И. СОЛОВЬЕВ

О ПЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ МАТЕРИАЛА ПОД ЖЕСТКИМ ШЕРОХОВАТЫМ ШТАМПОМ ПРИ СИММЕТРИЧНОМ ЗАГРУЖЕНИИ

Рассматриваемая задача решалась Л. Прандтлем [1] в 1921 г., однако принятая им схема линий скольжения иногда значительно расходится с опытными признами выпора. Это обстоятельство требует объяснения. Ниже будет показано, что решение Л. Прандтля справедливо только тогда, когда внешние связи штампа допускают виртуальные перемещения его, направленные под углом $+\pi/4$ или $-\pi/4$ к вертикали. При этом происходит односторонний выпор среды из-под штампа. Будет также дано решение для случая, когда виртуальные перемещения штампа ограничены вертикальным параллельно-поступательным движением и происходит двухсторонний симметричный выпор среды из-под штампа.

Будем считать штамп абсолютно жестким и шероховатым, а среду — несжимаемой.

Если возможные перемещения штампа ограничены вертикальным параллельно-поступательным движением, то, кроме схемы линий скольжения, принятой Прандтлем, может быть представлена другая схема, изображенная на рис. 1.

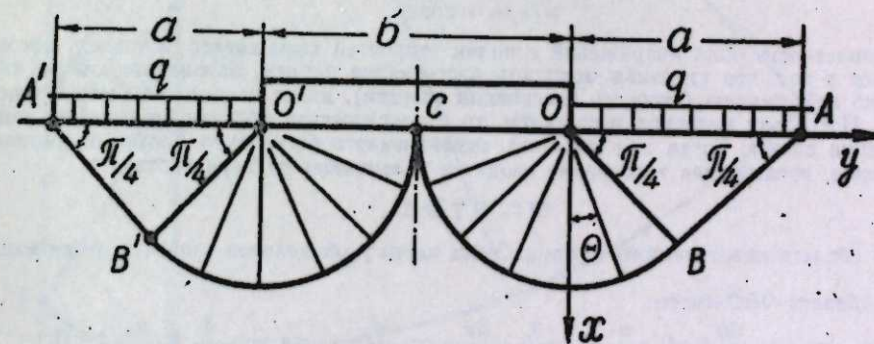


Рис. 1.

Рассматривая, ввиду симметрии задачи, лишь правую половину представленной схемы, видим, что пластическая область в ней состоит только из двух зон: зоны Рейкина, в которой линии скольжения составлены отрезками двух семейств параллельных прямых, наклоненных к поверхности среды под углами $\pm \pi/4$, и зоны Прандтля, в которой линии скольжения состоят из отрезков пучка радиальных прямых, проходящих через точку O , и семейства дуг концентрических окружностей с центром в той же точке O . При этом контактная поверхность совпадает с одной из радиальных линий скольжения, и, следовательно, вдоль нее касательные напряжения достигают своего предельного значения k , равного пределу прочности материала основания на сдвиг, и направлены от ребра штампа к его центру.

Отметим, что в точке C материал не находится в пластическом состоянии. Она является вершиной входящего жесткого угла.

Величину предельного давления по подошве штампа можем определить из общего решения задачи Прандтля с односторонним выпором [2], подставив в него соответствующие граничные условия. Тогда получим:

$$p_* = q + k \left(1 + \frac{3}{2} \pi \right), \quad \tau_* = -k. \quad (1)$$

Решение Прандтля для симметрично нагруженного штампа дает несколько меньшую величину предельного давления:

$$p = q + k(2 + \pi), \tau = 0.$$

Разница в давлениях между этими решениями составляет около 11%.

Размер призмы выпора в полученном решении легко найти из геометрических соотношений:

$$a = \frac{b}{2 \cos \frac{\pi}{4}}.$$

Для того, чтобы убедиться, что найденное решение дает действительное значение интенсивности предельной нагрузки, следует показать, что поле напряжений соответствует полю скоростей в пластической области и что предел текучести нигде не превышает в жесткой части среды [3].

Поле виртуальных скоростей определяется соотношениями Г. Гейрингера [4]:

$$du - vd\theta = 0, \quad dv + ud\theta = 0, \quad (2)$$

где u, v — компоненты вектора скорости соответственно вдоль первого (α) и второго (β) семейств линий скольжения, а θ — угол между осью x и направлением линий скольжения второго семейства, отсчитываемый против хода часовой стрелки. Первым семейством линий скольжения в данном случае является семейство дуг концентрических окружностей и линии, служащие их продолжением в зоне Ренкина.

Из уравнений (2) для централизованного поля OBC имеем:

$$u = \varphi(\theta) + \psi(r), \quad v = \varphi'(\theta), \quad (3)$$

где $\varphi(\theta)$ и $\psi(r)$ — произвольные функции, r — радиус-вектор, штрих означает производную, а для равномерного поля OAB

$$u = u(\alpha), \quad v = v(\beta). \quad (4)$$

Так как вдоль ABC $v = 0$ из условия неразрывности, то на основании вторых из уравнений (3) и (4) $v = 0$ всюду в пластической области $OABC$. Далее, учитывая граничные данные вдоль OC , получим, что во всей области $OABC$

$$u = u_0 = \text{const.}$$

Совместность поля напряжений с полем скоростей выражается условием, заключающимся в том, что удельная мощность рассеивания работы, затрачиваемой на пластическую деформацию (скорость диссипации энергии), нигде не должна быть отрицательной. Поскольку материал несжимаем, то в пластической области происходят лишь деформации сдвига. Тогда для элемента, ограниченного бесконечно близкими линиями скольжения, предыдущее требование сводится к выполнению неравенства

$$w = k \dot{\gamma} \geq 0$$

всюду в области пластического течения. Здесь через $\dot{\gamma}$ обозначена скорость деформации сдвига.

В области OBC имеем:

$$2\dot{\gamma}_r\theta = -\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} - \frac{1}{r} \frac{dv}{d\theta} = \frac{u_0}{r}, \quad w = \frac{1}{2} k \frac{u_0}{r} > 0,$$

а в области OAB деформации сдвига отсутствуют и, следовательно, $w = 0$.

Таким образом, первое условие выполняется.

Наиболее простой путь проверки выполнимости второго условия заключается в отыскании статически возможного продолжения пластического поля напряжений из пластической части среды в жесткую. Такое продолжение для правой половины задачи изображено на рис. 2.

Здесь в квадранте, расположенном правее вертикальной линии скольжения OH , и в криволинейном прямоугольнике $DIRF$ поле напряжений является непосредственным продолжением поля напряжений из пластической зоны.

Прямоугольный треугольник DIK находится в равномерном напряженном состоянии, соответствующем напряженному состоянию вдоль стороны DI , являющейся продолжением радиальной линии скольжения OI .

В криволинейном треугольнике DFG сетка линий скольжения аналогична сетке линий скольжения известной задачи о перерезывании полосы [5], причем кривая FG касается прямой OH в точке F . Построение сетки линий скольжения и определение поля напряжений в этом треугольнике производятся по данным вдоль дуги DF и условию $\varphi = 0$ вдоль оси симметрии.

В треугольнике FGH решение строится по данным вдоль сторон GF и FH , а в

треугольнике GHT — по данным вдоль дуги GH и условию $\varphi = 0$ на отрезке GT оси симметрии.

Аналогичным путем строится сетка линий скольжения и определяется поле напряжений в полосе, ограниченной осью симметрии и вертикалью, проходящей через ребро штампа O , которое может быть продолжено сколь угодно далеко. При этом вертикальная линия скольжения ниже точки F является огибающей второго семейства линий скольжения.

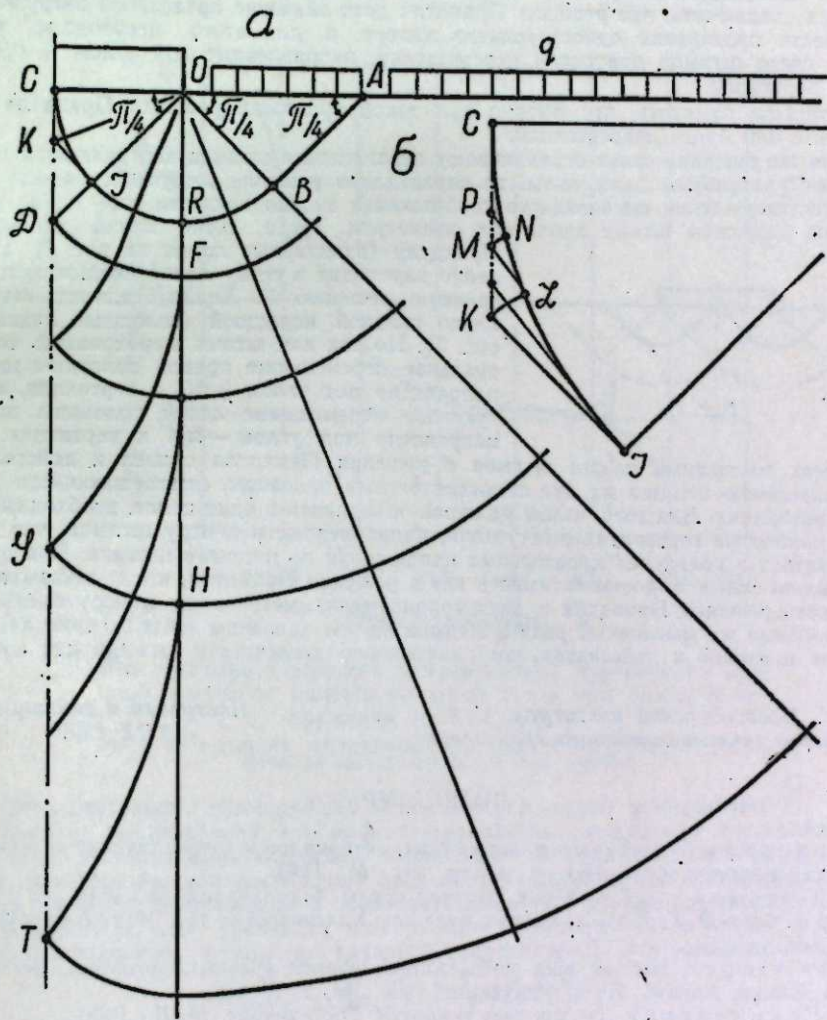


Рис. 2.

Осталось построить поле линий скольжения в небольшой области, ограниченной криволинейным треугольником CKI .

На рис. 2, б эта область показана в увеличенном масштабе. Она разбивается на бесконечную последовательность убывающих треугольников IKM, LMP и т. д., каждый из которых, в свою очередь, состоит из двух криволинейных треугольников — IKL и KLM, LMN и т. д.

В треугольнике IKL одно семейство линий скольжения состоит из отрезков прямых, касающихся дуги IL , а другое является ортогональными траекториями. Решение находится по данным вдоль сторон IK и IL .

В треугольнике KLM решение может быть получено по данным вдоль дуги KL и условию $\varphi = 0$ на отрезке KM . В остальных треугольниках построение сетки линий скольжения и определение поля напряжений производятся аналогично предыдущему.

Таким образом, второе условие также выполняется, т. е. предел текучести нигде не превышает в жесткой части среды.

Отметим, что указанное продолжение пластического поля напряжений не является единственно возможным. Ясно, что построенное поле напряжений ниже дуги DF является

ся статически допустимым продолжением пластического поля напряжений и для решения Прандтля. Известно также, что поле скоростей в этом решении совместимо с полем напряжений. Значит, решение Прандтля также дает действительное значение предельной нагрузки. Разница между этими двумя решениями состоит в следующем.

Как уже отмечалось, решение Прандтля может быть получено из общего решения с односторонним выпором среды при несимметричном нагружении, в котором следует положить касательные напряжения по контактной поверхности равными нулю. Отсюда можно заключить, что решение Прандтля дает значение предельной нагрузки при возможности проявления одностороннего выпора, а для этого необходимо, чтобы внешние связи штампа допускали перемещения, направленные под углом $+\pi/4$ или $-\pi/4$ к вертикали.

Интересно отметить, что именно при такой трактовке решения Прандтля поле скоростей в нем будет непрерывным.

Если же внешние связи ограничивают перемещения штампа вертикальным параллельно-поступательным движением, то справедливо решение, полученное здесь.

В подтверждение выказанного соображения можно привести еще один довод. Мысленно разрежем штамп вдоль оси симметрии. Тогда сетка линий скольжения



Рис. 3.

Прандтля (пунктирные линии на рис. 3) немедленно переходит в сетку линий скольжения, отвечающую решению Р. Хилла [6] для штампа с идеально гладкой подошвой (сплошные линии на рис. 3). Но так как штамп шероховатый, то виртуальное перемещение правой половины штампа направлено под углом $+\pi/4$ к вертикали, а виртуальное перемещение левой половины штампа направлено под углом $-\pi/4$ к вертикали. Следовательно, мысленный разрез штампа в решении Прандтля привел к действительному разделению штампа на две самостоятельные половины, перемещающиеся в разных направлениях. Для того, чтобы их вновь объединить в одно целое, необходимо приложить некоторые горизонтальные усилия, направленные к центру штампа, что должно проявиться в появлении касательных напряжений по подошве штампа. Как раз касательных-то сил по подошве штампа и нет в решении Прандтля, что и доказывает непригодность решения Прандтля к двухстороннему симметричному выпору среды.

Подобный же мысленный разрез штампа на две половины в изложенном здесь решении не приводит к действительному нарушению целостности штампа как твердого тела.

Новосибирский институт
инженеров железнодорожного транспорта

Поступила в редакцию
7/IX 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Прандтль, О твердости пластических материалов и сопротивлении резанию. Сб. «Теория пластичности». Изд-во иностр. лит., М., 1948.
2. В. В. Соколовский, Статика сыпучей среды. Гостехиздат, М., 1948.
3. В. Прагер и Ф. Г. Ходж, Теория идеально пластических тел. Изд-во иностр. лит., М., 1956.
4. H. Geiringer, Beitrag zum vollständigen ebenen Plastizitätsproblem. Ber. 3, Internat. Kongr. Angew. Mech. Stockholm, 1930, Bd. 2, S. 185.
5. В. В. Соколовский, Теория пластичности. Гостехиздат, М.-Л., 1950.
6. Р. Хилл, Математическая теория пластичности. Гостехиздат, М., 1956.

В. Г. САВИЦКИЙ, К. В. ПОПОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛА ОТКЛОНЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ОТ ХОДА, ПРЕДСКАЗЫВАЕМОГО ТЕОРИЕЙ КОТРЕЛЛА

В предыдущей работе [1] была экспериментально исследована температурно-скоростная зависимость предела текучести мягкой стали. Обнаружен температурный район, в котором изменение предела текучести не может быть описано теорией Котрелла — Кемпбелла [2, 3]. Замедление темпа снижения предела текучести при повышении температуры в этом районе было объяснено торможением дислокаций, осуществляющих

скольжение, на дислокациях, застопоренных облаками посторонних атомов во время деформирования. Выведенная для соответствующих условий температурная зависимость предела текучести хорошо согласуется с экспериментальной.

На рисунке представлена экспериментально наблюдаемая зависимость предела текучести стали 20 от температуры при скорости роста напряжений 10^{-2} кг/мм²сек. Аномальное, с точки зрения теории Котрелла — Кемпбелла, поведение предела текучести ограничено температурными пределами T_1 и T_2 , соответствующими точкам перегиба б и в.

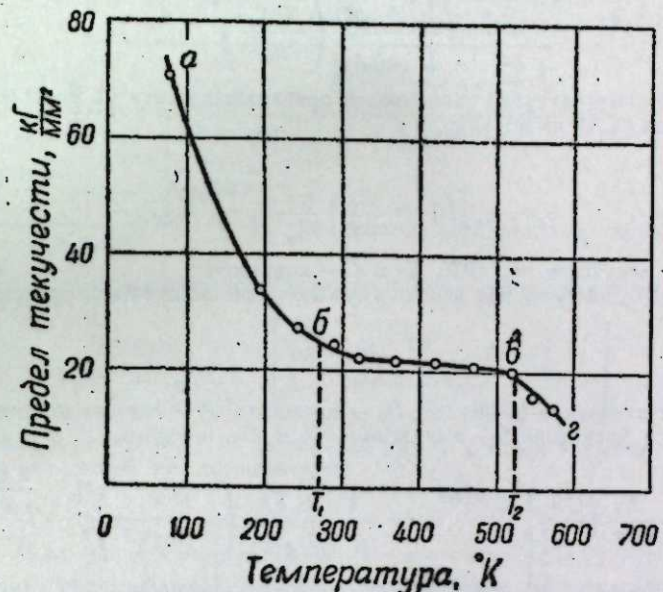


Рис. Экспериментальная температурная зависимость предела текучести малоуглеродистой стали при скорости нагружения 10^{-2} кг/мм²сек.

аб и вг — участки, согласующиеся с теорией Котрелла, бв — участок, не согласующийся с этой теорией.

Цель настоящего исследования заключается в оценке температуры T_1 .

Следует предположить, что эффект торможения движущихся дислокаций на дислокациях, застопоренных облаками посторонних атомов, возникнет тогда, когда за время, необходимое для достижения предела текучести, атомы посторонних примесей успеют подойти к дислокациям и образовать возле них облака достаточной плотности.

В работе [2] дано уравнение, позволяющее определить число атомов N , подошедших к дислокации за время t при заданной температуре T . Это уравнение имеет вид:

$$\frac{N}{N_s} = 3n_0\lambda \left(\frac{\pi}{2}\right)^{1/3} \left(\frac{ADt}{kT}\right)^{2/3}, \quad (1)$$

где N_s — число атомов примеси, необходимое для образования облака нормальной плотности, n_0 — концентрация атомов примеси в исходном твердом растворе, λ — минимальное расстояние между атомами в решетке растворителя, k — постоянная Больцмана, D — коэффициент диффузии примеси, A — некоторая константа, связанная с величиной искажения, вносимого примесью в решетку растворителя.

Отсюда время образования облака данной полноты $\frac{N}{N_s}$ будет следующим:

$$t = \frac{\sqrt{2} kT}{\sqrt{\pi} AD} \left(\frac{N/N_s}{3n_0\lambda}\right)^{3/2}. \quad (2)$$

С другой стороны, при деформировании с постоянной скоростью роста напряжений σ время t_1 , необходимое для достижения предела текучести σ_T , будет

$$t_1 = \frac{\sigma_T}{\dot{\sigma}}. \quad (3)$$

Замедление падения предела текучести с температурой будет наблюдаться при условии

$$t_1 > t. \quad (4)$$

Начаться это замедление должно при достижении условия:

$$t_1 = t. \quad (5)$$

Заменяя в уравнении (5) обе его части выражениями (2) и (3), получим:

$$\frac{\sigma_T}{\dot{\sigma}} = \frac{\sqrt{2} kT}{\sqrt{\pi} AD} \left(\frac{N/N_s}{3n_0 \lambda} \right)^{3/2}. \quad (6)$$

Выражение температурной зависимости предела текучести на участке *ab*, предложенное в работах [3, 4], имеет вид:

$$\sigma_T = \sigma_0 \left[\left(1 + \frac{E_0}{kT} \right) \frac{C \dot{\sigma}}{\sigma_0} \right]^{\frac{1}{1+E_0/kT}}, \quad (7)$$

где σ_0 — предел текучести при 0°K, E_0 и C — константы.

Коэффициент диффузии как функция температуры может быть представлен в виде:

$$D = D_0 l^{-\frac{Q}{RT}}, \quad (8)$$

где Q — энергия активации диффузии, D_0 — константа, R — газовая постоянная.

Подставляя в уравнение (6) выражения (7) и (8), получим:

$$\frac{\sigma_0}{\dot{\sigma}} \left[\left(1 + \frac{E_0}{kT} \right) \frac{C \dot{\sigma}}{\sigma_0} \right]^{\frac{1}{1+E_0/kT}} = \frac{\sqrt{2} kT}{\sqrt{\pi} AD_0} \left(\frac{N/N_s}{3n_0 \lambda} \right)^{3/2} \cdot l^{\frac{Q}{RT}}. \quad (9)$$

Согласно условию (5), температура T , удовлетворяющая уравнению (9), будет температурой нарушения закономерности Котрелла — Кемпбелла. Эта температура обозначена на рисунке как T_1 .

По данным работы [4], для исследуемой области температур и стали данного состава [1] величина $\frac{E_0}{kT}$ имеет порядок десятков. Поэтому $1 + \frac{E_0}{kT} \cong \frac{E_0}{kT}$. Принимая это упрощение, уравнение (9) можно записать в виде:

$$\left(\frac{\alpha}{T_1} \right)^{\frac{T_1}{\beta}} = \gamma T_1 l^{\frac{B}{T_1}}, \quad (10)$$

где

$$\alpha = \frac{E_0 C \dot{\sigma}}{k \sigma_0}; \quad \beta = \frac{E_0}{k}; \quad \gamma = \frac{\sqrt{2} k \sigma (N/N_s)^{3/2}}{\sqrt{\pi} A \sigma_0 D_0 (3n_0 \lambda)^{3/2}}; \quad B = \frac{Q}{R}.$$

Преобразуя уравнение (10) и логарифмируя его, получим

$$T_1 \frac{\ln \alpha}{\beta} - \ln T_1 - \frac{T_1 \ln T_1}{\beta} = \frac{B}{T_1} + \ln \gamma. \quad (11)$$

Имея в виду, что T_1 не может быть близка к абсолютному нулю, можно записать

$$\ln T_1 \cong \delta + \eta T_1, \quad (12)$$

где $\eta = 4 \cdot 10^{-3}$ и $\delta = 4,52$.

Подставив выражение (12) в уравнение (11), получим

$$T_1 \frac{\ln \alpha}{\beta} - \delta - \eta T_1 - \frac{\delta}{\beta} T_1 - \frac{\eta}{\beta} T_1^2 = \frac{B}{T_1} + \ln \gamma. \quad (13)$$

Оценка членов уравнения (13) для района от 200 до 500°K показывает, что член $\frac{\eta}{\beta} T_1^2$ на порядок меньше остальных. Поэтому для оценочного расчета им можно пренебречь. Тогда уравнение (13) приводится к квадратному уравнению относительно T_1 :

$$T_1^2 \left(\frac{\ln \alpha}{\beta} - \eta - \frac{\delta}{\beta} \right) - T_1 (\delta + \ln \gamma) - B = 0. \quad (14)$$

Решение уравнения (14) после некоторых преобразований можно представить в виде:

$$T_1 = \frac{\delta + \ln \gamma}{2 \left(\frac{\ln \alpha}{\beta} - \eta - \frac{\delta}{\beta} \right)} \pm \frac{\delta + \ln \gamma}{2 \left(\frac{\ln \alpha}{\beta} - \eta - \frac{\delta}{\beta} \right)} \times \sqrt{1 + \frac{B}{\delta + \ln \gamma} \cdot \frac{4 \left(\frac{\ln \alpha}{\beta} - \eta - \frac{\delta}{\beta} \right)}{\delta + \ln \gamma}}. \quad (15)$$

Так как $\frac{4B \left(\frac{\ln \alpha}{\beta} - \eta - \frac{\delta}{\beta} \right)}{(\delta + \ln \gamma)^2} < 1$, то, используя разложение типа $\sqrt{1 + \xi} \cong 1 + \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^2}{8}$ и выбирая разумный знак при втором члене уравнения (15), получим

$$T_1 = -\frac{\beta}{\delta + \ln \gamma} \left[1 - \frac{B \left(\frac{\ln \alpha}{\beta} - \eta - \frac{\delta}{\beta} \right)}{(\delta + \ln \gamma)^2} \right]. \quad (16)$$

Подставляя в уравнение (16) выражения для α , β и γ и значения δ и η , получим окончательное выражение для температуры:

$$T_1 = -\frac{Q}{R \left[4,52 + \ln \frac{\sqrt{2} k (N/N_s)^{3/2} \dot{\sigma}}{\sqrt{\pi} A \sigma_0 D_0 (3n_0 \lambda)^{3/2}} \right]} \left\{ 1 - \frac{Q}{R} \cdot \frac{k \ln \frac{E_0 C \dot{\sigma}}{k \sigma_0} - \frac{4,52k}{E_0} - 4 \cdot 10^{-3}}{\left[4,52 + \ln \frac{\sqrt{2} k (N/N_s)^{3/2} \dot{\sigma}}{\sqrt{\pi} A D_0 \sigma_0 (3n_0 \lambda)^{3/2}} \right]^2} \right\}. \quad (17)$$

Анализируя уравнение (17), можно заметить, что температура T_1 слабо зависит от скорости нагружения.

Для случая блокировки дислокаций атомами углерода примем $\frac{Q}{R} = 9000$ [2],

$D_0 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ см²/сек [2], $A = 3 \cdot 10^{-20}$ эрг. см [2], $\frac{E_0}{k} = 4932$ [4], $\sigma_0 = 118$ кг/мм²

[4]. Для решетки α Fe $\lambda = 2,48 \cdot 10^{-8}$ см. Концентрацию углерода в феррите n_0 примем равной 0,003 вес. %, или $1,36 \cdot 10^{19}$ ат/см³. Предположим, что эффект торможения движущихся дислокаций наступает уже при $N/N_s = 0,1$ [2]. Подставив эти значения в уравнение (17), получим, что при скорости $\dot{\sigma} = 10^{-2}$ кг/мм²сек $T_1 = 285^\circ$ K. Это значение T_1 хорошо согласуется с опытом. При увеличении скорости нагружения в 350 раз начало отклонения температурного хода предела текучести от зависимости Котрелла — Кемпбелла смещается в сторону высоких температур на 65°, что также хорошо согласуется с экспериментальными наблюдениями [1].

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
9/XII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Савицкий, К. В. Попов, Исследование температурной зависимости предела текучести стали при малых скоростях нагружения. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 2, 1960.

2. A. H. Cottrell, Bilbi, Dislocation Theori of Yielding and Strain Ageing of Iron. Proc. Phys. Soc., LXII, part. 1-A (1949).
 3. J. D. Campbell, Dinamic Yielding of Mild Stell. Acta Metallurgica, 1, 706 (1953).
 4. J. A. Hendrickson, D. S. Wood, The Effect of Rate of Stress Application and Temperatur on the Upper Yield Stress of Anneald Mild Stell. Trans. Amer. Sos. Met., 50, 498 (1958).

А. В. НОВОСЕЛОВА И Л. Р. БАЦАНОВА

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СФЕНА (ТИТАНИТА) С КРЕМНЕФТОРИСТЫМ НАТРИЕМ

Кремнефтористые соединения используются в качестве фторирующих агентов для вскрытия некоторых минералов или промышленных концентратов с целью разделения металлов, основанного на различной растворимости их фтористых соединений. Спеканием с Na_2SiF_6 производится разложение берилла и отделение бериллия после выщелачивания спека в виде растворимого фторобериллата натрия от труднорастворимых комплексных фторидов алюминия и железа. Кремнефторидный метод применен также для разложения циркониевого и танталитового концентратов.

Фтористые соединения титана также представляют собой растворимые в воде соединения. Чистая окись титана TiO_2 , как показано в работе [1], взаимодействует с кремнефтористым калием (и, очевидно, натрием) с образованием фторотитаната, который может быть выделен при упаривании раствора, полученного при выщелачивании продукта фторирования. Нашей целью было выяснить поведение одного из минералов титана — сфена ($\text{CaTiO}_3 \cdot \text{SiO}_2$) — при спекании его с кремнефтористым натрием. Имевшийся в нашем распоряжении минерал содержал, по данным анализа, 36% двуокиси титана. Смесь растертых в порошок сфена и кремнефтористого натрия нагревалась в запаянных кварцевых ампулах в течение 1,5—2 час. при температуре 740—760°. После охлаждения ампул содержимое их извлекалось в стакан и выщелачивалось горячей водой (тремя порциями по 20 мл). Остаток промывался на фильтре горячей водой, и промывные воды присоединялись к фильтрату. Фильтрат упаривался в платиновой чашке на водяной бане досуха и трижды обрабатывался концентрированной серной кислотой для удаления фтора. Остаток сульфатов растворялся в воде, содержащей несколько капель серной кислоты, и в полученном растворе производилось осаждение гидроокиси титана аммиаком в присутствии трилона Б (10 мл 15% раствора), которая затем прокаливалась до TiO_2 [2]. Во многих опытах остатки от выщелачивания также подвергались анализу на содержание в них титана весовым методом или фотометрически перекисным методом. Предварительно остатки обрабатывались в платиновой чашке смесью H_2SO_4 и HF для удаления кремния, затем выпаривались с серной кислотой до полного удаления фтора и обрабатывались H_2SO_4 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в закрытой стеклом чашке. Через 2—3 часа разложение заканчивали, добавив к содержимому чашки несколько миллилитров 3% раствора перекиси водорода.

Если титана в остатке было мало, то отфильтрованный раствор переносили в мерную колбу, разбавляли водой до метки и фотометрировали (ФЭК — М, синий светофильтр, кювета $l = 50$ мм) [3].

Если содержание титана в остатке было значительным, то определение его проводилось весовым способом путем осаждения гидроокиси титана в присутствии трилона Б избытком аммиака.

Результаты определения титана в водной вытяжке, полученные в присутствии комплексона и в его отсутствии, мало различаются, следовательно, количество примесей, переходящих вместе с титаном в раствор, невелико (2—3%). Это объясняется тем, что все основные примеси в исследуемом нами минерале (а также кальций) образуют при взаимодействии с Na_2SiF_6 нерастворимые фториды (редкоземельные элементы, железо), которые при выщелачивании спека находятся почти полностью в остатке.

Водные растворы фильтровались сразу после выщелачивания, еще горячие: при остывании фильтраты часто мутнели; особенно сильно в опытах, в которых было значительным содержание кремнефторида. Выпадающий осадок, как показало микроскопическое исследование, представляет собой кремнефтористый натрий, растворимость которого существенно уменьшается при понижении температуры.

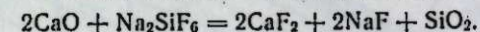
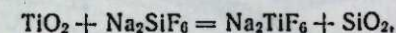
В таблице приведены результаты взаимодействия сфена с кремнефтористым натрием.

В опытах 2—4 количества Na_2SiF_6 были взяты в расчете на следующие реакции:

Таблица
Результаты разложения сфена кремнефтористым натрием (740—760°)

№ опыта	Взято сфена, г	Взято Na_2SiF_6 , г	Весовое отношение сфен / Na_2SiF_6	Время спекания час	Получено TiO_2 в растворе, г	Получено TiO_2 в остатке, г	Процент прореагировавшего титана
1	0,400	0,60	1:1,5	0,5	0,046	не определено	32
2	0,400	0,60	1:1,5	1,5	0,083		58
3	0,400	0,60	1:1,5	2	0,073	0,056	51
4	0,400	0,60	1:1,5	2	0,082	0,059	57
5	0,400	0,80	1:2	1,5	0,099	0,044	69
6	0,400	0,80	1:2	1,5	0,120	не определено	83
7	0,400	0,80	1:2	1,5	0,125		87
8	0,400	0,80	1:2	1,5	0,124	0,017	85
9	0,400	1,00	1:2,5	1,5	0,140	0,004*	98
10	0,400	1,00	1:2,5	1,5	0,138	0,008*	96
11	0,400	1,00	1:2,5	2	0,130	0,003*	93
12	0,400	1,00	1:2,5	2	0,139	не определено	96

* Определено фотометрически перекисным методом.



В этих опытах (см. табл.) в водном растворе оказалось немногим больше половины всего титана, содержащегося во взятой навеске минерала. В опытах 5—12 количество кремнефтористого натрия, взятого для разложения сфена, было увеличено. Как следует из данных таблицы, выход титана в водном растворе при этом увеличился, в опытах 9—12 (отношение сфен: $\text{Na}_2\text{SiF}_6 = 1 : 2,5$) в среднем 95% всего титана перешло в раствор.

Вывод

Показано, что сфен реагирует с кремнефтористым натрием при температуре 740—760°, при этом образуются растворимые фтористые соединения титана, переходящие в раствор при обработке продукта спекания горячей водой. При избытке взятого для разложения сфена кремнефторида, например, в 2,5 раза, в водный раствор переходит более 90% титана.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
3/IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

- Н. С. Киндяков, К. М. Рубайлова. Сб. научных тр. Гиредмета, т. 1, Металлургиздат, 1959, стр. 633.
- Р. Пршибил, Комплексоны в химическом анализе, Изд-во иностр. лит., 1955, стр. 94.
- В. Ф. Гиллебрандт, Г. Э. Лендель, Г. А. Брайт, Д. И. Гофман. Практическое руководство по неорганическому анализу, 1957, стр. 598.

К. Е. МИРОНОВ

О ТРОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ В СИСТЕМЕ $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$

Недавно «обнаружены» [1] тройные соединения в системе $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$: одно соответствует составу $\text{NH}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, т. пл. — 28,9°; другое — составу $(\text{NH}_4)_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, т. пл. около +15°. Еще не было сообщений ни об одной работе по трехкомпонентной системе $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$, пишут эти авторы.

Полное изучение поверхности ликвидуса системы $\text{NH}_3\text{—H}_2\text{O}_2\text{—H}_2\text{O}$ было проведено в 1952 г; с одновременным изучением некоторых свойств соединения $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ [2]. Данные по изотермам поверхности ликвидуса тройной системы использованы для уточнения ликвидуса системы $\text{H}_2\text{O}_2\text{—NH}_3$ [3].

Тройные соединения в системе $\text{NH}_3\text{—H}_2\text{O}_2\text{—H}_2\text{O}$ не образуются (рис. 1). Из всех соединений, существующих в тройной системе, соединение $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ обладает максимальной температурой плавления. Его поле кристаллизации занимает наибольшую площадь, и весь строй диаграммы определяется наличием этого соединения. Только сечения, исходящие из точки состава соединения $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$, являются триангулирующими [5] или квазибинарными.

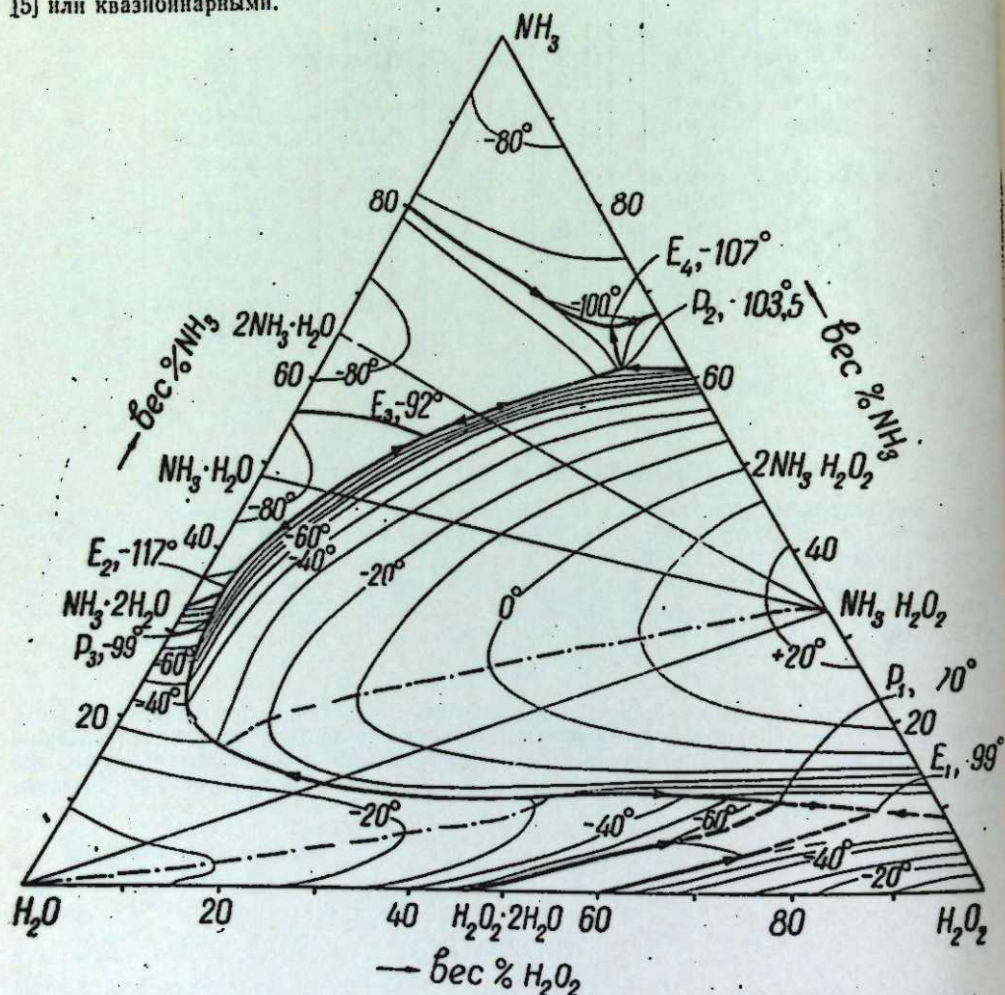


Рис. 1. Проекция поверхности ликвидуса системы $\text{NH}_3\text{—H}_2\text{O}_2\text{—H}_2\text{O}$ (точками указана вероятная граница области кристаллизации соединения $\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, по данным [4]).

Сечение $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{—} \text{NH}_3$ [1] не квазибинарное, так как для него не соблюдается правило ван Рейн ван Алкемаде [6]: сечение является квазибинарным, если соединительная линия между точками состава двух кристаллических фаз пересекает кривую совместной кристаллизации этих фаз в максимальной точке.

Дистектика, принятая Жигером и Чинном [1] за доказательство существования соединения $\text{NH}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, появляется (рис. 2) в результате пересечения хребтовой линии в поле кристаллизации льда. Ветвь, соответствующая кристаллизации соединения $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ (максимум при пересечении хребтовой линии в поле кристаллизации этого соединения не реализован), принята за свидетельство образования гидрата перекиси аммония $(\text{NH}_4)_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Для составов, содержащих более 15 вес. % NH_3 , обнаружено присутствие в твердой фазе ионов аммония и кристаллов льда. Объяснение этого наличием кристаллогидрата перекиси аммония $(\text{NH}_4)_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ казалось неубедительным самим авторам [1].

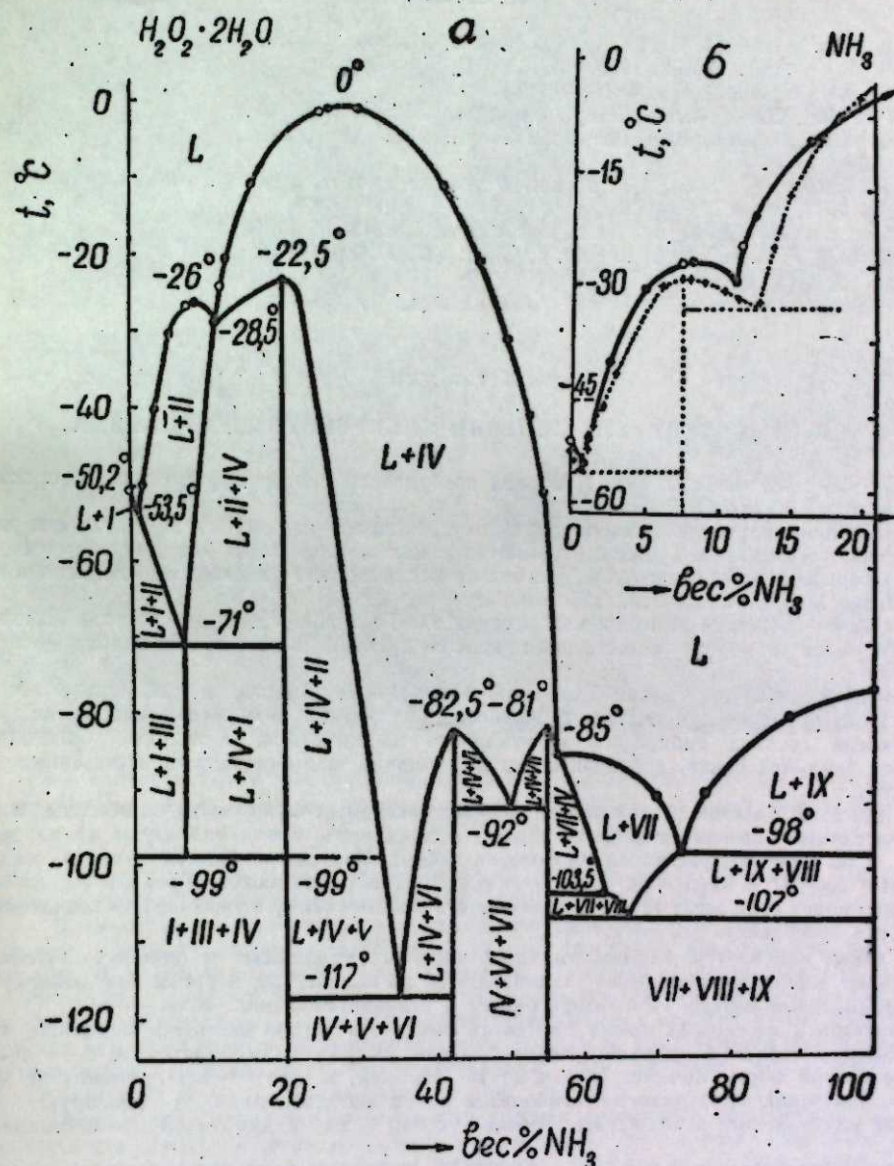


Рис. 2. Ликвидус сечения $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{—} \text{NH}_3$.

а) политермическое сечение по линии $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{—} \text{NH}_3$ в системе $\text{NH}_3\text{—H}_2\text{O}_2\text{—H}_2\text{O}$;
б) сравнение диаграммы ликвидуса сечения.

Обозначения: О — ликвидус по экспериментальным данным, ● — ликвидус по изотермам тройной системы, + — ликвидус по данным Жигера и Чина [1], ... — линии ликвидуса и солидуса по данным Жигера и Чина [1], — — — уточнение солидуса по данным Ролле и Вуайяра [4].

Твердые фазы: I — $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; II — лед; III — H_2O_2 ; IV — $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$; V — $\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; VI — $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; VII — $2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; VIII — $2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$; IX — NH_3 .

Из приведенных в настоящем сообщении результатов очевидно, что твердая фаза, полученная кристаллизацией таких составов, должна в основном состоять из льда и соединения $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$, в кристаллическом состоянии являющегося гидроперекисью аммония [7, 8]. Соединение $2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ в тройной системе занимает сугубо подчиненное положение. При температурах выше $93,5^\circ$ оно переходит в соединение $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ с отщеплением аммиака и не образует никаких гидратов.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
5/IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. P. A. Giguère, D. Chin. Can. J. Chem., 37, 2064 (1959).
2. К. Е. Миронов, РЖХ, 1953, реф. 2835Д.
3. К. Е. Миронов, ЖНХ, 4, 153 (1959).
4. A. P. Rollet, G. Vuillard. Compt. rend., 243, 383 (1956).
5. Н. С. Курнаков, Введение в физико-химический анализ. М., изд. 4-е, 1940, стр. 158.
6. В. Я. Аносов, С. А. Погодин, Основные начала физико-химического анализа. М.-Л., 1947, стр. 572.
7. A. Simon, H. Kriegsmann. Naturwissensch. 42, 14 (1955).
8. О. Кнор, P. A. Giguère. Can. J. Chem., 37, 1794 (1959).

А. Б. ГУКАСЯН

НОВЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ БОЛЕЗНИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА

В 1955 г. Е. В. Талалаев [1] описал возбудителя септицемии гусениц сибирского шелкопряда *Bacillus dendrolimus*.

Занимаясь изучением микроорганизмов сибирского шелкопряда в очагах его размножения в Томской и Тувинской областях с целью разработки микробиологического метода борьбы с этим вредителем, мы также неоднократно отмечали гибель различных вредителей леса от микробных заболеваний.

В 1956—1957 гг. в Магалинском лесничестве Пышкино-Троицкого лесхоза Томской области была отмечена естественная гибель гусениц нескольких видов чешуекрылых.

В 1958—1959 гг. в лесах Тувинской автономной области, в хойбарском, чербинском и усть-уюкском очагах сибирского шелкопряда была отмечена естественная гибель гусениц сибирского и непарного шелкопряда, соснового бражника, большой земляной совки, дубоволистного шелкопряда, пилильщиков на лиственнице и медведиц.

Симптомы болезни у всех перечисленных насекомых были почти одинаковы. Вначале насекомые становятся вялыми, теряют подвижность, плохо реагируют на раздражение, а по мере прогрессирования болезни гибнут. Внутренние органы — гонады, мальпигиевые сосуды и кишечный тракт — очень быстро разлагаются. Средний отдел кишечника теряет свой желтый цвет, исчезает его продольная и поперечная складчатость, слизистая поверхность роговеет.

Сильно изменяется микроскопическая картина гемолимфы у больных гусениц. Форменные элементы гемолимфы увеличиваются по количеству, и среди них доминируют фагоцитарные клетки. Гемолимфа буреет и становится очень вязкой.

Болезнь у насекомых может протекать быстро, в острой форме, и медленно, что мы называем подострой формой течения болезни. Острая форма длится до 3—4 дней. При подострой форме болезнь длится до 16—18 дней; в этот период гусеницы не питаются, уменьшаются в размере, становятся почти неподвижными, не реагируют на внешние раздражения и высыхают. Гибель гусениц в том и другом случае составляет до 97%.

При обеих формах заболевания на МПА выделен возбудитель болезни, имеющий одинаковые морфологические признаки. Впервые микроб был выделен в 1956 г. из трупов гусениц сибирского шелкопряда, собранных в лесах Причумылья в Томской области, и в предыдущих наших работах ему было присвоено название «причумыльская культура».

В 1958 г. такая же культура была выделена из трупов вредителей, погибших в очагах сибирского шелкопряда в Тувинской автономной области.

Клетки возбудителя (рис. 1, а, б) от 1 до 2 мк в поперечнике и до 8 мк в длину. Концы палочек закругленные. Споры эксцентрично расположены, величиной 0,6—0,8 мк в длину и 0,2—0,4 мк в поперечнике.

В поле зрения взаимное расположение клеток одиночное или парное, иногда клетки составляют цепочку. Перитрихи подвижные. Капсулу не образуют. Аэроб. Хорошо растет на МПА, ПВ, МПЖ, шелкопрядной среде, картофельном агаре, на сусле (агаризованном и жидком). На МПБ рост также хороший, на дне пробирки образует обильный осадок, который при встряхивании поднимается в виде шнурка.

Рост колоний на МПА быстрый. Колонии по форме (рис. 1, а, б) сложные, в проходящем свете непрозрачные, строение краев волнистое, разорванное, кудрявое.

Поверхность колоний блестящая, жирная, профиль слабо выпуклый, строение мелкозернистое, МПЖ разжижает по форме мешочка. Молоко не свертывает, реакция мо-

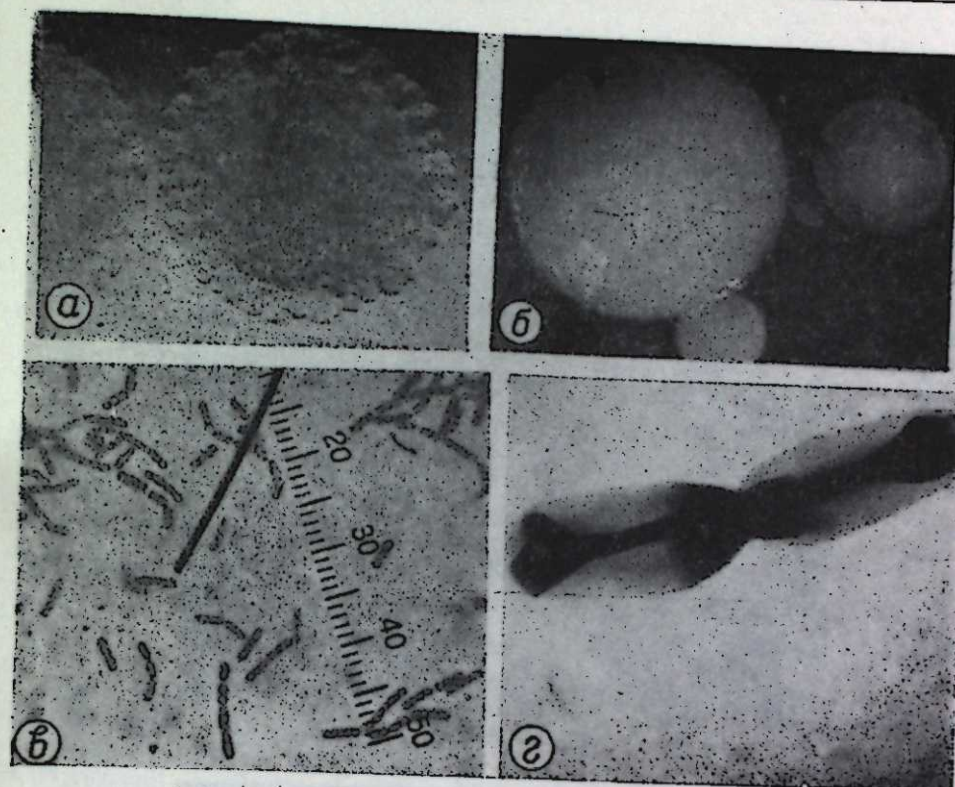


Рис. 1. Морфологическая характеристика *Bacillus dendrolimus* var. *sibiricus*. а — шероховатая форма колонии; б — гладкая форма колонии; в — форма клеток при $\times 1350$; г — то же, при $\times 10000$.

лока (лакмус) без изменения. На ломтиках картофеля растет медленно. Индол и сероводород образует. Возбудитель имеет R- и S-формы колоний.

В качестве углеродистого питания на минеральной среде Предгейма использует глюкозу, сахарозу, мальтозу, арабинозу, манозу, трегалозу, крахмал, ксилозу, левулозу, инулин и сорбит. Не использует рафинозу, галактозу, лактозу, рамнозу, инозит и инулин. Использует все формы азота органических соединений, кроме аденина. Нитраты и нитриты использует очень слабо. Антагонистичен к *Fusarium solani*, *Botrytis cinerea* и в слабой степени к *Saccharomyces cerevisiae*. Под воздействием актиномицетов — антагонистов из группы *Actinomyces globisporus*, *Act. violaceus*, *Act. celicolor* и *Act. aurantiaca* рост культуры задерживается (рис. 2, а, б).

Описываемая культура патогена для гусениц сибирского шелкопряда, непарного шелкопряда, дубоволистного шелкопряда, большой земляной совки, некоторых других видов совок, пилильщиков, медведиц, капустниц, пядениц и др. Для людей и теплокровных животных не патогенна. В инфицированных очагах было отмечено заражение вторичных вредителей — усачей и короедов.

Выделенный возбудитель септицемии просматривается по определителям Бердже [2] и Н. А. Красильникова [3] до рода *Bacillus*. Он близок к *Bacillus intrapallans* Forbes и к *Bacillus dendrolimus* Tal.

При сравнении описываемой бациллы *Bac. dendrolimus* Tal. заметны существенные отличия по основным физиолого-биохимическим свойствам. Сравнительные характеристики обоих возбудителей приведены в таблице.

Изложенное дает нам повод считать причумыльскую культуру вариантом *Bacillus dendrolimus* Tal. Мы присваиваем причумыльской культуре название *Bacillus dendrolimus* var. *sibirica* Giukassian.

Летом 1960 г. в Туве, в очагах размножения шелкопряда, нами проводились испытания препарата, полученного из этой культуры, на площади 50 га с помощью самолета АН-2. Гибель шелкопряда в стадии гусениц и куколок достигала 95%.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
23/XI-1959

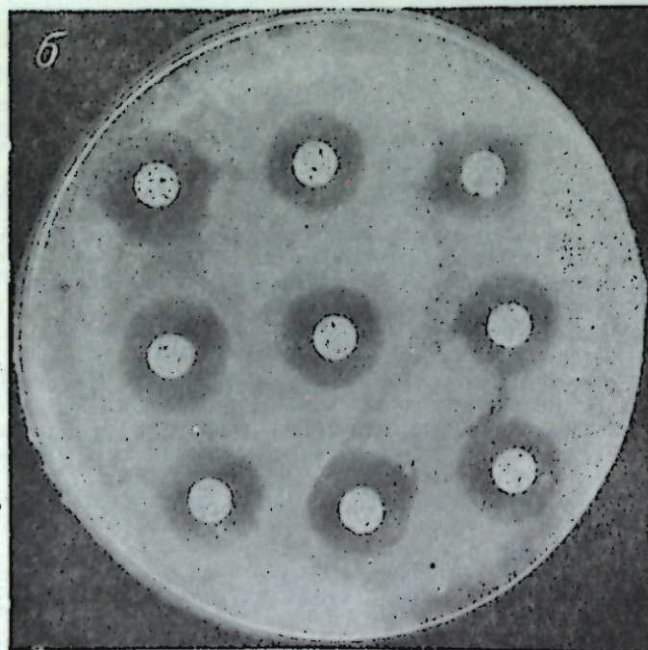
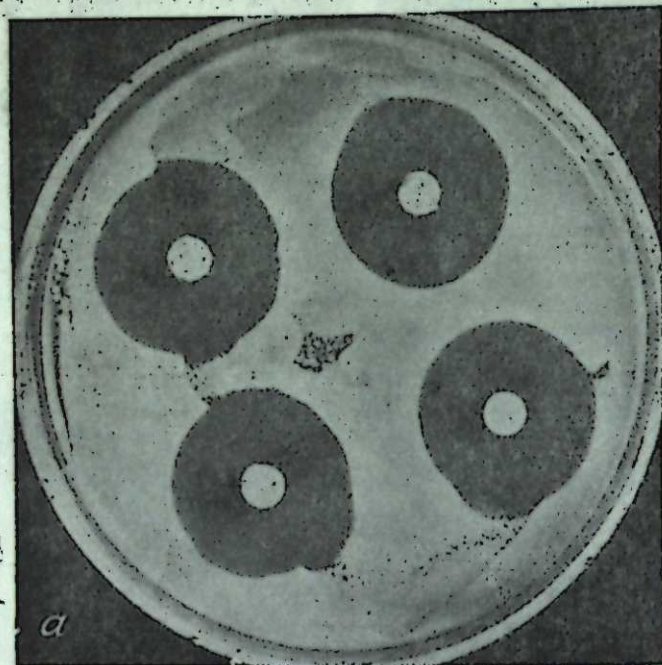


Рис. 2. Антагонистическое действие актиномицетов на *Bacillus dendrolimus* var. *Sibiricus*.

а — группа *Act. globisporus*; б — группа *Act. violaceus*.

Сравнительная характеристика микробных культур

Признак	<i>Bacillus dendrolimus</i> Tai.	Причудливая культура
Окраска по Граму	Грам-положительные	Грам-положительные
Спорообразование	Споры овальные	Споры овальные
Характеристика и цвет колоний	Плоские, блестящие, цвет серовато-кремовый, края бахромчатые, запах затхлый	Сложная, жирная, выпуклая мелкозернистая, края волнисто-кудрявые. Цвет дымчатый. Запах затхлый
Выделение пигмента в среду	Не выделяет	Не выделяет
Источники углеродного питания	При посеве на среде Предгейма и на МПБ с глицерином, крахмалом, лактозой, сахарозой, мальтозой рост хороший. Не использует арабинозу, слабо использует левулозу, инулин, рафинозу	При посеве на среде Предгейма и МПБ использует глюкозу, сахарозу, мальтозу, арабинозу, манозу, трегалозу, крахмал, ксилосу, левулозу, сорбит и инулин. Не использует галактозу, лактозу, рамнозу, инозит и рафинозу
Отношение к молоку и желатину	Молоко пептонизирует, свертывает медленно. Желатину разжижает	Молоко не свертывает. Желатину разжижает
Источник азотистого питания	Растет на МПА, МПЖ, МПБ. Нитраты не восстанавливает. Индол и сероводород не образует	Не использует аденин, но использует все формы азота органических соединений. Восстанавливает нитраты и нитриты. Сероводород и индол образует медленно
Антагонизм к тест-объектам	Не антагонистичен к <i>Fusarium solani</i> и <i>Botrytis cinerea</i>	Антагонистичен к <i>Fusarium solani</i> и <i>Botrytis cinerea</i> слабо
Место обитания и возраст насекомого	Большие гусеницы сибирского шелкопряда	Большие гусеницы сибирского, непарного, дубоволистного шелкопряда, медведицы, совок и соснового бражника, личинки пилильщиков, мухи рода <i>Parasarcophaga</i>
Патогенность	Сибирский шелкопряд, желтогузка, пяденицы, дубоволистный шелкопряд. Не патогенен к непарному шелкопряду, гусеницам медведицы, совкам, пилильщикам, монашенке, сосновому бражнику	Сибирский шелкопряд, дубоволистный, непарный шелкопряд, совки, пилильщики, медведицы, сосновый бражник, пяденицы, монашенки и совка большая земляная. <i>Parthesia (Euproctis) simibis</i> Fues.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Талалаев, Септицемия гусениц сибирского шелкопряда. Журн. Микробиол. т. XXV, в. I, 1956.
2. Берд же, Определитель бактерий. Перевод с английского, 1936.
3. Н. А. Красильников, Определитель бактерий и актиномицетов. Изд. АН СССР, 1949.

А. Ф. ХЛОНОВА

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРАВИЛ БОТАНИЧЕСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ПРИ ОПИСАНИИ ИСКОПАЕМЫХ ВИДОВ СПОР И ПЫЛЬЦЫ

Использование палинологического анализа с целью расчленения и корреляции отложений за последние годы необычайно возросло. Очень быстрое распространение спорово-пыльцевого анализа привело к некоторой несогласованности действий различных палинологов. Несогласованность выражается в применении разных систем искусственной классификации, комбинации искусственных систем с естественными, а также в определении ископаемых спор и пыльцы до различных рангов систематических единиц. Это, в свою очередь, приводит к тому, что результаты анализа отдельных аналитиков зачастую не могут сопоставляться, если к ним не прилагаются изображения определяемых форм. Точно так же отложения, датированные по данным различных палинологов, очень трудно сопоставить, когда определения спор и пыльцы производятся только до рода или семейства. Кроме того, для дальнейшей детализации стратиграфических подразделений по пыльце и спорам уже не достаточно определения в пределах до рода — нужны определения до вида, а они пока невозможны без использования искусственных систем. Поэтому при описании ископаемых видов спор и пыльцы неизменно встает вопрос, каким методом, какой классификацией следует воспользоваться, в каком виде можно увязать искусственную классификацию с естественной при описании спор и пыльцы, извлеченных из отложений до третичного возраста.

Наш интерес к вопросам классификации и номенклатуры ископаемых пыльцы и спор, рассеянных в породе, вызван необходимостью дать описания большому количеству пыльцы покрытосемянных растений и спор папоротникообразных и мхов, выделенных из отложений верхней половины верхнего мела в восточной части Западно-Сибирской низменности. В каком виде давать описания, с какой степенью детальности, какой системой классификации пользоваться, как сопоставлять наши данные с результатами анализов других аналитиков — такие вопросы немедленно возникают в работах подобного рода.

В трудах советских палинологов используются либо комбинации естественных наименований с искусственными (как, например, в работах Н. А. Болховитиной [1, 2]), либо искусственные системы С. Н. Наумовой [3], А. А. Любер и И. Э. Вальц [4], реже система В. С. Малявкиной [5]. В отчетах палинологов-производственников очень часто можно наблюдать смешение различных систем. За последнее время в палинологических работах все чаще используются вместо принятых ранее названий новые наименования по искусственным классификациям, применяющимся за рубежом. (например, *Extratropipollenites*, *Forameoid* и др.).

Продолжительность существования отдельного вида исчисляется в 1—2 десятка миллионов лет [6], и, следовательно, трудно надеяться, чтобы нижнетретичные и особенно до третичные виды сохранились до настоящего времени. Скорее можно думать, что если какие-либо растения и сопоставляются с теми или иными ныне живущими, то они являются близко родственными, но не тождественными. Таким образом, большинство ископаемых видов спор и пыльцы новые, в известной мере искусственные. Такое положение, казалось бы, дает возможность использовать искусственные классификации, предложенные советскими и зарубежными учеными. Нужно было бы решить, какой из них отдать предпочтение. К имеющимся уже упомянутым искусственным системам классификации добавляются с каждым годом все новые и новые. Каждая из них имеет свои преимущества, и каждый автор новой системы на свой лад переименовывает уже описанные виды. Всякие переименования названий спор и пыльцы, как бы они ни казались автору удобными и правильными, совершенно нежелательны, поскольку усугубляют путаницу, увеличивая и без того большое количество различных синонимов. Можно предполагать, что и в дальнейшем будет увеличиваться число подобных искусственных классификаций, все более детальных и совершенных, основанных на различных морфологических признаках спор и пыльцы. При таком положении будет невозможно избежать дальнейших переименований. Становится крайне необходимым остановиться на какой-либо одной системе или методике классификации, которая может охватить все ископаемые виды пыльцы и спор, в том числе и вновь описываемые, и которая могла бы содействовать стабилизации названий.

Мы не будем касаться детального разбора применявшихся способов обозначения ископаемых спор и пыльцы (символы, система споротипа-спороморфа, различные морфологические системы). Такую задачу посвящен ряд работ иностранных авторов, в частности Купера [7]. Мы также не ставим себе целью обсудить все положения Международного кодекса ботанической номенклатуры применительно к спорам и пыльце [8]. Они обсуждены достаточно детально в ряде работ иностранных палинологов [9, 10]. В настоящей заметке мы рассматриваем вопрос о пригодности морфологических клас-

сификаций спор и пыльцы в связи с требованиями Международного кодекса ботанической номенклатуры.

Пыльцу и споры, рассеянные в породе, многие палинологи склонны считать равноценными другим растительным остаткам [11, 12 и др.] В таком случае при описании ископаемых и полускопаемых зерен спор и пыльцы можно использовать положения Международного кодекса ботанической номенклатуры. Нужны такие искусственные классификации спор и пыльцы, которые отвечали бы требованиям кодекса, а при необходимости легко могли быть переведены в естественную классификацию. Следовательно, пыльца и споры с бинарными наименованиями должны быть описаны по методу типа и с соблюдением прочих необходимых процедур, требуемых при описании других ископаемых растительных остатков. Поскольку такие описания и наименования будут находиться под защитой Международного кодекса, они, и это очень важно, окажутся стабильными. Переименования их допускаются только при замене искусственного названия на естественное, т. е. в случае объединения таксонов ископаемых и современных растений.

Разработанные советскими палинологами искусственные системы классификации ископаемых спор и пыльцы не вполне удовлетворяют требованиям Международного кодекса ботанической номенклатуры. В статье Е. Д. Заклинской [11] приводится краткое изложение основных положений многих распространенных за рубежом систем классификации. После анализа морфологических систем классификации становится очевидным, что классификации по какому-либо одному морфологическому признаку не будут способствовать успешной работе.

Система классификации, точнее методика классификации, предложенная Раузом [13], по нашему мнению, отвечает требованиям, предъявляемым Международным кодексом ботанической номенклатуры [8]. Суть этой методики заключается в том, что для спор и пыльцы, несомненно отождествляющейся с естественным родом, берется наименование этого рода, а видовой эпитет составляется из морфологически показательного корня и суффиксов *«pollenites»*, или *«sporites»*, например, *Sapindus circulpollenites* Rouse. Если для спор и пыльцы удается указать родственные связи с естественным родом или семейством, то название составляется сочетанием названия рода и суффиксов *«pollenites»*, или *«sporites»*, например, *Hymenophyllumsporites deltoidea* Rouse. Если же родственные связи для вновь описываемых спор и пыльцы не известны и не указываются, то родовые наименования образуются путем комбинации основы, отражающей морфологические особенности рода, с теми же суффиксами *«pollenites»*, *«sporites»*, например, *Aquilapollenites trialatus* Rouse. Пыльца и споры, правильно названные другими авторами и описанные по методу типа, сохраняют первоначальные названия.

В методике классификации Рауза [13], учтены правила и советы Международного кодекса ботанической номенклатуры, рекомендованные для образования родовых и видовых наименований ископаемых растений. Она удобна тем, что позволяет правильно и единообразно называть все описываемые формы спор и пыльцы, выделенные из отложений любого возраста, и не прибегать к изменению уже существующих правильных названий. Так как предложенная номенклатура не основана на каком-либо одном морфологическом признаке, она более гибка, чем все прежние системы. Практически она может охватывать бесконечное разнообразие морфологических особенностей, не ограничиваясь одним или комбинацией нескольких морфологических признаков. В то же время отпадает затруднение, которое видит некоторые палинологи [14] в будущем при переводе искусственных систем в естественные.

Для пыльцы и спор, выделенных из сравнительно молодых отложений, пригодны комбинации известных родовых естественных наименований с искусственным видовым эпитетом в случае полной уверенности в тождестве сравниваемых родов. Нельзя отрицать возможность видового отождествления ископаемых и рецентных зерен пыльцы и спор. Но в настоящее время такие определения не всегда достаточно убедительны по следующим причинам: 1) морфологические особенности отдельных видов одного и того же рода пока еще не всегда позволяют четко разграничивать их между собою; 2) не всегда удается изучить пыльцу или споры всех видов, входящих в данный род, чтобы не сомневаться, что они относятся именно к этому виду, но не к другому; 3) продолжительность существования отдельных видов растений относительно невелика, и потому нет полной уверенности в том, что ископаемый вид точно соответствует современному.

Для более древних отложений — нижнетретичных, третичных и отчасти верхнемеловых — вполне применима комбинация названия, имеющего в основе естественное наименование (от рода или семейства) с суффиксами *«pollenites»*, или *«sporites»*, когда нельзя показать более определенно естественное родство.

В отложениях любого возраста встречаются трудно определяемые формы, и чем древнее отложения, тем больше в них форм, родственные связи которых сомнительны или совсем неизвестны. В этом случае образуются искусственные формальные родовые наименования. Формальные и полустественные названия родов в дальнейшем могут

быть отождествлены с естественными родами, тогда они примут правильные наименования последних, сохранив свои видовые эпитеты.

Все аналогичные приемы существуют для обозначений ископаемых остатков растений. Если мы соглашаемся считать пыльцу и споры равноценными прочим растительным остаткам, то к ним должны быть применимы все приемы для наименования и описания ископаемых остатков растений.

С этой точки зрения, вероятно, излишне писать в скобках слово «pollen» после названия ископаемой пыльцы, как предлагает Е. Д. Заклинская [11], так как, во-первых, это не принято при описании других растительных остатков; во-вторых, самое название уже указывает, что орган-род или формальный род основан на описании этих ископаемых остатков. По той же причине латинский диагноз при описании ископаемых видов спор и пыльцы, предлагаемый Л. А. Куприяновой [15], не стоит включать как обязательное условие действительного обнаружения названия. В Международном кодексе ботанической номенклатуры, вышедшем в 1954 г., для законного, правильного названия ископаемых остатков растений не требуются такие процедуры. Если позднейший ботанический конгресс примет подобное решение, тогда оно будет обязательным и для ископаемых спор и пыльцы.

Весьма желательно для согласованной работы всех специалистов, занимающихся спорно-пыльцевым анализом, чтобы в самое ближайшее время состоялось обсуждение вопросов классификации и номенклатуры ископаемых спор и пыльцы, предлагаемых ведущими советскими палинологами.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
5/1 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Болховитина, Спорно-пыльцевая характеристика меловых отложений центральных областей СССР. Тр. ин-та геол. наук, вып. 145, геол. сер., № 61. Изд-во АН СССР, М., 1953.
2. Н. А. Болховитина, Атлас спор и пыльцы из юрских и нижнемеловых отложений Вилуйской впадины. Тр. Геол. ин-та, вып. 2. Изд-во АН СССР, М., 1956.
3. С. Н. Наумова, Споры и пыльца углей СССР. Тр. XVII Межд. геол. конгр., т. 1, М.—Л., 1939, стр. 335—356.
4. А. А. Любер, И. Э. Вальц, Классификация и стратиграфическое значение спор некоторых каменноугольных месторождений СССР. Тр. ЦНИГРИ, вып. 405, М.—Л., 1938, стр. 1—46.
5. В. С. Малайкина, Определитель спор и пыльцы. Юра — мел. Тр. ВНИГРИ, нов. сер., вып. 33. Гостоптехиздат, М.—Л., 1949.
6. А. Н. Криштофович, Эволюция растений по данным палеоботаники. Проблемы ботаники, т. 1, М.—Л., 1950, стр. 5—27.
7. R. A. Couper, Nomenclature of fossil spores and pollen grains. Huitieme Congress Intern. de Botanique, Paris, 1954, sect. 2, 4, 5 et 6.
8. Международный кодекс ботанической номенклатуры, принятый восьмым Международным ботаническим конгрессом, Париж, июль 1954 г. Изд. АН СССР, М.—Л., 1959.
9. R. Potonie, Die Behandlung der *Sporae dispersae* und der fossilen Pflanzen überhaupt nach dem Internationalen Code der Botanischen Nomenklatur. Paleontologische Zeitschrift, 30, № 1/2, Stuttgart, 1956, s. 88—94.
10. A. Travers, The nomenclatural problem of plant microfossil species belonging to extant genera. Micropaleontology, v. 3, № 3, 1957, p. 255—258.
11. Е. Д. Заклинская, Вопросы таксономии и номенклатуры ископаемых пыльцы и спор. Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1959, стр. 66—74.
12. Н. А. Болховитина, Наименование ископаемых пыльцы и спор в соответствии с Международными правилами ботанической номенклатуры. Палеонтологич. журн., № 1, 1960.
13. G. E. Rouse, The application of a new nomenclature approach to Upper Cretaceous plant microfossils from Western Canada. Canad. Journ. of Botany., v. 38, № 3, May, 1957, p. 349—375.
14. W. Krutzsch, Bemerkungen sur Benennung und Klassifikation fossiler (insbesondere tertiärer) Pollen und Sporen. Z. Geologie, 3, Heft 3, Berlin, 1954, s. 258—311.
15. Л. А. Куприянова, О видовых определениях пыльцы из третичных отложений. Проблемы ботаники, т. IV, М.—Л., 1959, стр. 129—140.

ХРОНИКА

НОВОЕ ПОПОЛНЕНИЕ ЧЛЕНОВ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

С 6 по 10 июня 1960 г. в Академии наук СССР в Москве проходили Общие собрания Отделений по отраслям наук Сибирского отделения и Общее собрание Академии. На собраниях были проведены выборы новых академиков и членов-корреспондентов.

На общем собрании Академии наук СССР 10 июня 1960 г. членами-корреспондентами Академии наук СССР избраны восемь крупных ученых Сибирского отделения.

По физике. Лауреат Ленинской премии, д-р физ.-мат. наук, проф. Дмитрий Васильевич Ширков — один из выдающихся физиков-теоретиков Советского Союза. Его работы в области квантовой теории поля и теории элементарных частиц получили широкое признание. Д. В. Ширков внес существенный вклад в науку своими исследованиями в области дисперсионных соотношений и так называемой ренормализационной группы.

Лауреат Сталинской премии, д-р физ.-мат. наук, проф. Петр Георгиевич Стрелков — крупный физик-экспериментатор в области низких температур. Глубокие и оригинальные исследования П. Г. Стрелкова, имеющие принципиальное теоретическое и практическое значение, привели к открытию и изучению ряда новых свойств материалов, имеющих важное значение для науки и развития современной техники.

По энергетике. Председатель Президиума Восточно-Сибирского филиала СО АН СССР, д-р экон. наук, проф. Лев Александрович Мелентьев — выдающийся энергетик, автор свыше 60 научных трудов по теплофикации, промышленной теплоэнергетике, экономике энергетики СССР. Под руководством Л. А. Мелентьева в Советском Союзе разрабатываются крупнейшие энергетические проблемы, посвященные особенностям развития тепловых электростанций и, в частности, ТЭЦ как элемента сложных энергетических систем, а также ведется исследование по научным проблемам единого топливно-энергетического баланса.

По геологии. Председатель Президиума Якутского филиала СО АН СССР, лауреат Сталинской премии, д-р геол.-мин. наук, проф. Иван Сергеевич Рожков — известный специалист в области геологии золота и платины, его работы сыграли большую роль в обосновании сырьевой базы золотопромышленности Урала и Забайкалья. И. С. Рожкову принадлежит также решение ряда проблемных вопросов по россыпным месторождениям алмазов Якутии.

Заведующий сектором региональной геологии Восточно-Сибирского геологического института СО АН СССР, д-р геол.-мин. наук, проф. Николай Александрович Флоренсов. Он более 30 лет посвятил изучению геологического строения Сибирской платформы и ее обрамления. Является автором 50 научных трудов, в которых освещаются вопросы прогнозирования месторождений многих полезных ископаемых — редких и драгоценных металлов, нефти, углей и других.

Лауреат Сталинской премии, д-р геол.-мин. наук, проф. Александр Степанович Хоментовский — выдающийся ученый в области теоретической геологии. Им открыты, разведаны и пущены в эксплуатацию крупные буроугольные месторождения Канского и Чулымско-Енисейского угольных бассейнов, на Южном Урале под его руководством в короткий срок был изучен и разведен Башкирский буроугольный бассейн.

По химии. Заместитель директора Института неорганической химии СО АН СССР, д-р хим. наук, проф. Борис Владимирович Птицын — крупный ученый в области неорганической химии, химии комплексных соединений, а также физической и аналитической химии. Им выполнен цикл капитальных работ, посвященных главным образом окислительно-восстановительным равновесиям с участием металлов платиновой группы. Вместе с тем Б. В. Птицын широко известен как автор ряда сложных аналитических работ, имеющих важное значение в производстве платиновых металлов. Большое место в его исследованиях занимают принципиальные вопросы теории комплексных соединений.

Директор Иркутского института органической химии СО АН СССР, Лауреат Сталинской премии, д-р хим. наук, проф. Михаил Федорович Шостаковский — созда-

тель новой области органической химии — химии простых виниловых эфиров. Им введены в практику новые эффективные лечебные средства. В медицине широко известен «бальзам Шостаковского», применяемый для лечения ран, язвенных болезней желудка и некоторых других заболеваний. Крупные исследования выполнены М. Ф. Шостаковским по новым кремнийорганическим соединениям.

Теперь в Сибирском отделении Академии наук СССР работают 11 академиков и 35 членов-корреспондентов АН СССР.

ЯКУТСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ОХРАНЕ ПРИРОДЫ

5—6 мая в Якутске проходило первое совещание по охране природы Якутии, созданное по инициативе недавно созданной при Якутском филиале СО АН СССР Комиссии по охране природы. В совещании приняло участие свыше 100 ученых и производственников, представителей партийных и советских организаций Якутской республики.

С докладом об основных задачах охраны природы Якутии выступил и. о. председателя Якутской региональной комиссии по охране природы А. С. Каширцев.

Обширная территория (около 3 млн. кв. км) Якутской АССР характеризуется разнообразием природных ресурсов (лес, пушнина, рыба, полезные ископаемые). Дальнейшее бурное развитие производительных сил республики, отметил докладчик, связано с еще более интенсивным использованием ее природных богатств. В этих условиях важное значение приобретает забота о правильном экономном использовании природных ресурсов. Научные учреждения должны значительно расширить исследования в этой области, принять участие в разработке и проведении в жизнь системы эффективных мероприятий по охране природы. Больше внимания должно уделяться выявлению на территории Якутии и научному описанию памятников природы (участки первобытных долин, уникальные геологические обнажения, результаты выветривания, местонахождения палеонтологических остатков и т. п.), имеющих научное, учебное, либо культурно-эстетическое значение, в целях сохранения их для народа.

Необходимо усилить пропаганду идей охраны природы среди широких слоев населения республики. Крайне важно, чтобы этой пропагандой занимались ведомства, эксплуатирующие природные ресурсы.

На совещании было прочитано и обсуждено 16 докладов, из которых особый интерес представили:

1. Лесные ресурсы Якутии и их использование (И. П. Щербаков, Якутское отделение Всесоюзного ботанического общества);

2. Об охране почв Олекминского района (А. К. Коноровский, Якутский филиал СО АН СССР);

3. Некоторые вопросы охраны промысловых зверей Якутии (В. А. Тавровский, Якутский филиал СО АН СССР);

4. Редкие виды наземных позвоночных животных в фауне Якутии (В. Г. Кривошеев, Якутский филиал СО АН СССР);

5. Состояние и задачи охраны водоемов Якутии (А. Г. Немчинов, Комиссия по охране природы Якутского филиала СО АН СССР);

6. Охрана рыбных запасов — общенародное дело (В. С. Рыбников, Якутский филиал СО АН СССР, отдел экономики).

Как докладчики, так и выступившие в обсуждении участники совещания отметили ряд грубых нарушений в охране природных ресурсов Якутии. В республике не принимается достаточно эффективных мер в борьбе с лесными пожарами, наносящими большой ущерб якутским лесам. Очень часто заготовка леса проводится без учета его водоохранного и почвозащитного значения (реки Лена, Алдан, Яна). Алдан, вследствие уничтожения на больших пространствах леса, сильно обмелел, здесь проходимость судов затруднена даже на тех участках русла, которые еще совсем недавно были вполне судоходными.

Докладчик В. С. Рыбников и выступающие — Ф. Ф. Иовлев (Якутское отделение ВНИОРХ) и др. — подняли актуальный не только для Якутии вопрос о рациональном использовании рыбных водоемов. Преобладающая часть рыбохозяйственного фонда республики совершенно не осваивается рыбной промышленностью, в то же время перерезать длительного интенсивного промысла в низовьях Лены в последние годы наблюдается значительное снижение запасов таких ценных видов рыб, как нельма, муксу, омуль. Улов муксуна в 1958 г. был в 3,5 раза меньше улова 1940 г. Между тем рекомендации ученых и работников промышленности о запрещении промышленного лова рыбы в низовьях Лены с целью восстановления ее запасов не нашли поддержки со стороны Совета Министров Якутской АССР.

Горячее одобрение получило выступление заведующего Лабораторией леса и растительных ресурсов Якутского филиала СО АН СССР Щербакова И. П., обосновавшего необходимость организации в Якутской АССР трех заповедников: 1. Токкинского (на площ. 810 тыс. га), 2. Верхоянского, 3. Усть-Ленского (на площ. около 2 тыс. га) с островом Тит-Ары — самым северным лесным островом на всем северо-востоке Азии.

Задача этих заповедников будет состоять в сохранении в первобытном состоянии характерных ландшафтов, природных комплексов растительности и животных сообществ, в содействии увеличению численности полезной фауны в окружающих районах.

В итоге совещания была принята резолюция, в которой подчеркивается, что необходима организация комплексного изучения изменений в природе Якутии, происходящих под влиянием деятельности человека, с целью разработки путей сохранения и рационального использования природных ресурсов республики. В связи с этим совещание просит Президиум Якутского филиала СО АН СССР включить вопросы охраны природы в число актуальных научных исследований.

Совещание приветствовало создание при Якутском филиале Комиссии по охране природы и считает, что она должна стать направляющим звеном в научном разрешении проблемы «Охрана природы в Якутской республике».

В резолюции был также сформулирован ряд ценных практических рекомендаций Совету Министров и Министерству сельского хозяйства Якутской АССР по улучшению использования природных ресурсов республики.

А. И. Беляков

О ПУТЯХ ЛУЧШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

В конце мая 1960 г. в Красноярске состоялось научное совещание по вопросам районного баланса и использования трудовых ресурсов Сибири и Дальнего Востока, подготовленное Институтом экономики и организации промышленного производства СО АН СССР при участии Госплана РСФСР.

В работе совещания приняло участие более 130 представителей Госплана СССР, Госплана РСФСР, краевых и областных плановых органов Сибири, научных экономических учреждений и вузов Москвы, Урала, Сибири и Дальнего Востока. С докладами и сообщениями на совещании выступило около 30 человек.

Открывая совещание, директор Института экономики и организации промышленного производства СО АН СССР чл.-корр. АН СССР Г. А. Пруденский подчеркнул, что в советской экономической науке проблема труда и улучшения условий жизни человека является главной проблемой. Вот почему в формирующемся в Сибири Институте экономики и организации промышленного производства исследование вопросов экономики труда и, в частности, изучение проблемы резервов роста его производительности, проблемы улучшения использования трудовых ресурсов и вопросы жизненных условий трудящихся приняты в качестве основного направления научной деятельности института. В исследовании этих вопросов принимают участие также все экономические отделы филиалов и комплексных институтов СО АН СССР, экономические кафедры 30 вузов Дальнего Востока, Сибири и Урала. За изучение проблемы лучшего использования трудовых ресурсов активно взялись многие областные плановые органы и совнархозы Сибири при участии профсоюзов.

В результате всех этих исследований должна определиться единая позиция по многим вопросам, связанным с численностью населения и трудовыми ресурсами в перспективе, с необходимостью улучшения жизненных условий в Сибири и на Дальнем Востоке, более тесной увязки баланса трудовых ресурсов с производительностью труда и т. д.

С большим и содержательным докладом на тему «Перспективы воспроизводства трудовых ресурсов восточных районов страны» выступил начальник отдела труда Госплана РСФСР В. П. Мачихин.

Бурное развитие производительных сил восточных районов тесно связано с воспроизводством трудовых ресурсов и ростом населения в этих районах.

Увеличение потребности в рабочей силе в перспективе на 1980 г. по своим темпам будет значительно выше, чем естественный прирост трудоспособного населения. Поэтому потребность в трудовых ресурсах районов Сибири и Дальнего Востока будет обеспечиваться в основном за счет перемещения в эти районы трудоспособного населения из центральных районов страны, а также за счет более рационального использования уже имеющихся трудовых ресурсов.

«Освоение» природных богатств восточных районов нашей республики должно пойти не столько за счет больших затрат человеческого труда, сколько за счет повышения уровня механизации, автоматизации и применения новой техники в организации промышленного производства; транспорта и сельского хозяйства.

В последние годы в районах Сибири и Дальнего Востока наблюдается значительная текучесть рабочей силы. Важнейшим условием улучшения использования трудовых ресурсов Сибири и Дальнего Востока является закрепление кадров.

Институт экономики и организации промышленного производства СО АН СССР внес для рассмотрения в Госплан РСФСР записку о закреплении рабочих кадров в Сибири и на Дальнем Востоке. В настоящее время аппарат Госплана РСФСР изучает поставленные в записке вопросы и подготавливает соответствующие предложения для рассмотрения на Плановой комиссии.

Необходимо составлять сводные балансы трудовых ресурсов не только по области, краю, республике, но и в территориальном разрезе — по городам и районам — с тем, чтобы вскрыть свободные местные трудовые ресурсы. Кроме того, нужно усилить аналитическую работу по изучению движения рабочей силы, тщательно изучать причины текучести рабочей силы и миграцию населения.

Институту экономики СО АН СССР следует подготовить методические материалы по вопросу составления балансов трудовых ресурсов по городам и сельским районам; это будет большой помощью в обосновании перспектив развития восточных районов страны, в улучшении использования трудовых ресурсов на местах.

В докладе канд. экон. наук зам. директора Института экономики СО АН СССР Н. М. Кокосова на тему «Трудовые ресурсы Сибири и Дальнего Востока и вопросы их лучшего использования» были подведены некоторые итоги работы Института по данной проблеме после научно-координационного совещания, проведенного в ноябре 1959 г. в Новосибирске.

Докладчик указал, что каждому району страны присущи свои особенности формирования трудовых ресурсов и своеобразие факторов, определяющих величину, уровень и направление их использования. Эти факторы определяются, с одной стороны, суммой хозяйственно-политических задач, которые выдвигаются для каждого определенного этапа коммунистического строительства, с другой — объективными особенностями каждого конкретного района.

Исследования проблемы трудовых ресурсов для таких районов, как Сибирь и Дальний Восток, на ближайший период должны охватывать целый комплекс вопросов, важнейшими из которых являются:

1. Жизненные условия населения, обеспечивающие наибольшую приживаемость населения и исключающие текучесть кадров.
2. Вовлечение в сферу общественного производства наибольшего количества местного трудоспособного населения.
3. Резервы роста производительности труда, пути совершенствования производства, организации труда и рационального использования новой техники.
4. Совершенствование системы подготовки кадров, комплектования и завоза в Сибирь и на Дальний Восток трудовых ресурсов из других экономических районов страны.

Только такой подход к изучению проблемы трудовых ресурсов может обеспечить ее правильное и планомерное решение и обеспечить в кратчайшие сроки создание на Востоке страны нового мощного индустриального комплекса.

Канд. экон. наук Л. В. Стародубский (Институт экономики СО АН СССР) рассказал о методике построения и анализа территориальных балансов трудовых ресурсов. Он отметил, что нельзя ограничиваться разработкой сводных балансов трудовых ресурсов областей, краев и республик, так как они усредняют существенные различия в обеспечении трудовыми ресурсами городов и районов. Необходимо также разрабатывать балансы трудовых ресурсов по каждому городу, по каждому сельскому административному району, с обязательным выделением во всех балансах женщин.

Научными работниками Института накоплен опыт балансовых разработок экспериментального характера, составлен отчетный баланс трудовых ресурсов г. Барабинска и Барабинского сельского района, г. Искитима и Искитимского сельского района; Красноярской лабораторией Института закончена разработка отчетного и перспективного (на 1965 г.) баланса трудовых ресурсов Абакано-Минусинского узла. Кроме того, при балансовых работах по Абакано-Минусинскому узлу сделана попытка определить потребность в трудовых ресурсах на более отдаленную перспективу (1980 г.). В работе по Ачинско-Назаровскому узлу Красноярского края Институт пытается увязать вопросы районного баланса трудовых ресурсов с вопросами мобилизации всех местных трудовых и сырьевых резервов для создания новых и расширения действующих предприятий. Начата разработка баланса трудовых ресурсов г. Новосибирска.

Институт поставил перед собой задачу обеспечить методическую увязку вопросов производства на плановый период с намечаемым развитием техники и организации производства, с исследованиями внутрипроизводственных резервов предприятий.

Интересное сообщение о вопросах баланса трудовых ресурсов Кемеровской области сделал председатель облплана М. И. Тумин. Отметив своевременность созыва настоящего научного совещания, он рассказал о сложившемся в области положении с использованием женских трудовых ресурсов и о создании необходимых условий для использования резервов женского труда.

Председатель Красноярского крайплана Н. С. Корчагин в своем сообщении «Трудовые проблемы Красноярского края» рассказал о больших перспективах развития народного хозяйства, о состоянии и мерах улучшения использования трудовых ресурсов Красноярского края.

В. И. Переведенцев (Институт экономики СО АН СССР) сообщил о разрабатываемой Институтом методике изучения механического движения населения и доложил некоторые результаты изучения этого движения на территории Сибири. В своем выступлении он подчеркнул, что проблема территориального перераспределения рабочей силы в значительной своей части сводится к проблеме территориальной дифференциации условий жизни населения.

С. С. Зыков (Институт экономики СО АН СССР) рассказал о разработке баланса трудовых ресурсов г. Новосибирска, имеющей целью подготовить методику составления отчетного и перспективного баланса крупного города. Он отметил, что расчет численности трудовых ресурсов на перспективу проводится с учетом естественного и механического движения населения, с учетом развития народного хозяйства и использования резервов повышения производительности труда.

О женских трудовых ресурсах Кемеровской области, не занятых в народном хозяйстве, и о путях вовлечения их в общественное производство сообщил преподаватель Кемеровского пединститута Б. Г. Рубин.

Канд. геогр. наук И. М. Ефимов (ЯФ СО АН СССР) доложил о результатах изучения миграции населения и текучести кадров в Якутской АССР.

О некоторых вопросах размещения населения крупных городов и баланса трудовых ресурсов, возникших в результате изучения направлений пассажиропотоков и времени, затрачиваемого на передвижение в г. Новосибирске, рассказала преподаватель Новосибирского электротехнического института связи М. А. Рогачевская.

Ж. А. Зайончковская (МГУ) сообщила о методике и результатах изучения механического движения населения горнопромышленного поселка Красноярского края по материалам первичного учета населения.

Большой интерес участников совещания вызвало сообщение канд. экон. наук И. А. Розенберга (Уральский политехнический институт) об опыте разработки баланса трудовых ресурсов Свердловского экономического района, особенно об учете при разработке балансов существующего уровня и дальнейшего развития механизации труда.

Э. В. Дудина (Читинская комплексная лаборатория СО АН СССР) доложила о состоянии использования трудовых ресурсов Читинской области. Она показала, что при обеспечении рационального использования трудовых ресурсов области выполнение семилетнего плана не потребует привлечения рабочей силы из других областей.

Об опыте разработки баланса трудовых ресурсов Абакано-Минусинского района Красноярска и об ориентировочном расчете потребности в рабочей силе на 1980 г. рассказала канд. геогр. наук Д. М. Захарина (Институт экономики и организации промышленного производства).

Вопросам использования трудовых ресурсов Дальнего Востока было посвящено выступление канд. экон. наук А. Д. Нестеренко (ДВФ СО АН СССР).

В. Д. Патрушев и Г. Н. Сушилов (Институт экономики СО АН СССР) сообщили о результатах изучения текучести кадров на предприятиях Красноярского совнархоза.

Опытом по разработке методики анализа использования трудовых ресурсов сельского хозяйства (на примере районов Новосибирской области и Красноярского края) поделился в своем сообщении научный сотрудник В. Я. Чураков (Институт экономики СО АН СССР).

О некоторых вопросах распределения и использования рабочей силы в промышленности Сахалинской области рассказал научный сотрудник СХНИИ СО АН СССР Л. Л. Рыбаковский.

**

Совещание обобщило результаты работ, проведенных Институтом экономики и филиалами СО АН СССР, другими научными учреждениями и вузами, а также плановыми органами Сибири, Дальнего Востока и Урала по проблеме трудовых ресурсов.

Совещание отметило как очень положительный момент усиление связи Института и работающих по координационному плану института других научных учреждений с местными плановыми органами и Госпланом РСФСР, что значительно расширило круг работ и повысило их практическое значение.

Участники совещания одобрили принятое Институтом экономики и организации промышленного производства СО АН СССР направление научных исследований по ис-

пользованию трудовых ресурсов в Сибири и на Дальнем Востоке в тесной связи с изучением условий жизни трудящихся этих районов:

Совещание приняло ряд научных рекомендаций по вопросам улучшения использования трудовых ресурсов в районах Сибири и Дальнего Востока, которые будут переданы в соответствующие директивные органы.

В. А. Гаврилов

В ОБЪЕДИНЕННОМ УЧЕНОМ СОВЕТЕ ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ И ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

16 и 17 июня 1960 г. состоялись очередные заседания Объединенного Ученого совета по физико-математическим и техническим наукам Сибирского отделения АН СССР.

Ученый совет заслушал доклад акад. Ю. Н. Работнова о развитии в Сибирском отделении работ по проблеме хладнотойкости сталей, имеющей большое народнохозяйственное значение для районов Сибири и Дальнего Востока.

Решено сосредоточить исследования по этой проблеме в лаборатории металлостроения Восточно-Сибирского филиала АН СССР (зав. к. т. н. К. В. Попов).

Одобрено предложение о создании при Сибирском отделении Научного координационного совета по проблеме хладнотойкости сталей, в который войдут представители Отдела прочности Института гидродинамики Восточно-Сибирского филиала, работники Норильского горнометаллургического комбината, Сибирского металлургического института, представители ГНТК Совета Министров СССР и РСФСР, ряда совнархозов Сибири и Дальнего Востока.

Руководителем проблемы по Сибирскому отделению утвержден акад. Ю. Н. Работнов.

На утреннем заседании Ученого совета 16 июня были проведены защиты диссертаций.

Канд. физ.-мат. наук Ю. Г. Решетняк защитил диссертацию на тему: «Изотермические координаты в многообразиях ограниченной кривизны», представленную им на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Официальными оппонентами выступили: акад. Ю. Н. Работнов, чл.-корр. АН СССР А. В. Погорелов и д-р физ.-мат. наук Н. В. Ефимов.

В. Н. Логунов защитил диссертацию на тему «О наибольшем шаре, вложенном в замкнутую поверхность», представленную им на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Официальными оппонентами выступили: чл.-корр. АН СССР А. В. Погорелов и канд. физ.-мат. наук Ю. Г. Решетняк.

17 июня продолжались защиты диссертаций.

Канд. техн. наук О. Ф. Васильев защитил диссертацию на тему «Вопросы гидродинамики судоводных сооружений», представленную им на соискание ученой степени доктора технических наук. Официальными оппонентами были академики Л. И. Седов и И. Н. Векуа, д-р техн. наук А. И. Патрашев и д-р физ.-мат. наук Л. К. Кудряшов.

О. С. Рыжову присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук за диссертацию на тему «Особенности газовых течений в соплах Лавалья». На защите выступили: научный руководитель акад. С. А. Христианович, официальные оппоненты доктора физ.-мат. наук А. А. Никольский и С. В. Фалькович, канд. техн. наук Л. В. Овсянников.

Ученый совет рассмотрел также ряд дел по присуждению ученого звания старшего научного сотрудника и другие вопросы.

А. К. Черненко

Художественный редактор А. А. Фединаметса.
Технический редактор О. А. Локишина.
Корректоры: В. А. Князева, Л. В. Саломова.

МН 02407. Подписано к печати 21 сентября 1960 г. Бумага 70×108/16—5 бум. л., 10 печ. л., 13,70 усл.-печ. л. 43,28 уч.-изд. л. Тираж 1700. Заказ № 334.

Издательство Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, Советская, 20. Типография № 1
Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать еще 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. Копректурa дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректурa не высылается.

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

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

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

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

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

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

Схема перечня библиографических данных:

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

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

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

Статьи направлять по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 428 — редакция журнала.

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 — 84 руб.

на 6 месяцев — 42 руб.

на 3 месяца — 21 руб.

Цена отдельного номера 7 руб.

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 428).

Цена 7 руб.

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал
Сибирского отделения АН СССР

ГЕОЛОГИЯ и ГЕОФИЗИКА

В журнале публикуются общие теоретические и методические статьи по всем вопросам геологии и геофизики; результаты региональных исследований геологического и геофизического строения территории Сибири, Дальнего Востока и сопредельных стран Азии, работы по закономерностям распространения полезных ископаемых вообще и на названных территориях в особенности, исследования в области разработки и применения геологических, геофизических, геохимических и других методов познания и выявления полезных ископаемых. Журнал печатает также материалы критико-библиографического характера.

В журнале имеется отдел хроники, в котором освещаются наиболее важные события в жизни геологических учреждений Сибирского отделения АН СССР.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 84 руб.

на 6 месяцев — 42 руб.

на 3 месяца — 21 руб.

Цена отдельного номера 7 руб.

Подписка принимается всеми городскими и районными отделами Союзпечати, отделениями и агентствами связи. Журнал можно приобрести также в магазинах «Академкнига».

Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комн. 428).