

А. Е. Кочарян

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески Армянской ССР, как сырье для стекольной промышленности

Армянская ССР до последнего времени не располагала собственным кварцевым сырьем, пригодным для варки бесцветного стекла. Перед Институтом Геологических Наук АН Армянской ССР была поставлена важная задача—обеспечить развивающуюся стекольную промышленность Республики местным высококачественным кварцевым сырьем.

Отсутствие на территории Армянской ССР промышленных концентраций более или менее чистых кварцевых песков вынудило нас изыскать хотя бы такое кварцсодержащее сырье, которое после предварительной обработки и обогащения могло удовлетворить предъявляемым к нему кондиционным требованиям.

В 1946—47 г.г. в Алавердском, Кироваканском и Котайкском районах Армянской ССР нами был выявлен или пересмотрен и исследован ряд месторождений и проявлений весьма своеобразного сырья—кварцево-полевошпатово-пемзового песка, не известного, судя по литературным данным, в других частях Советского Союза. Предварительные исследования показали, что этот песок после соответствующей обработки и обогащения может служить реальным сырьем для варки бесцветного стекла.

Были подвергнуты поверхностному исследованию также кварциты различных месторождений Республики (Арагатское, Иджеванское, Ноемберянское и др.), которые, ввиду большой плотности, затрудняющей их дробление, а также значительному содержанию в них окислов железа, пока что не могут рассматриваться как реальное сырье для производства бесцветного стекла.

Степень изученности и освоения

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески с давних времен используются местным населением в строительном деле как добавка к известковому раствору.



Никаких работ по изучению этих песков, за исключением Эларского, предварительно разведанного в 1929 году, проведено не было и их промышленное значение выявляется только в настоящее время.

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески в естественном виде не могут служить сырьем для варки бесцветного стекла, т. к. они обладают большой неоднородностью зерен по величине, что оказывает сильное влияние на скорость и равномерность варки стекла. Кроме того, в этих песках содержание кремнезема, как главной составной части шихты, значительно меньше, чем требуется и, что очень важно, содержание окислов железа в них превышает кондиционные требования (0,05—0,1%) более чем в 10 раз. Из этих недостатков наиболее серьезным являлось высокое содержание в песках окислов железа, окрашивающих стекло в желто-коричневый цвет. С целью удаления окислов железа пески в естественном виде были подвергнуты электромагнитной сепарации, благодаря чему содержание их хотя и снизилось более чем в 3—4 раза, но все же оставалось высоким. Таким образом была доказана возможность удаления из песков железа, которое, очевидно, находится в них преимущественно в виде магнетита, как механическая смесь.

После этого кварцево-полевошпатово-пемзовые пески были подвергнуты предварительной обработке (измельчению) и обогащению в лаборатории Института Геологических Наук. Был получен кварцево-полевошпатовый концентрат, плавка которого в лабораторных условиях дала практически бесцветное стекло.

По мнению авторитетных специалистов, получаемый концентрат вполне пригоден для производства оконного стекла, сортовой посуды и даже хрусталя.

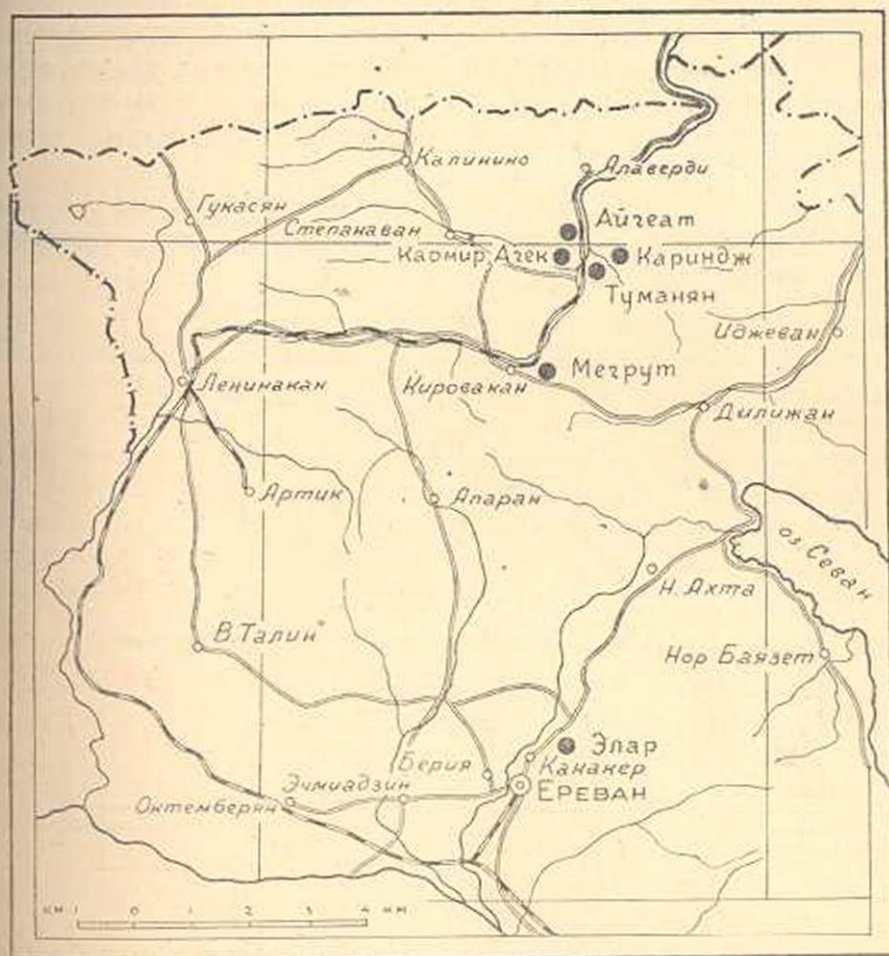
Таким образом, получение из местного сырья различных изделий бесцветного стекла дело ближайшего будущего.

Одновременно с лабораторными исследованиями в 1947 году были проведены геолого-разведочные работы на Мегрутском, Туманянском и Эларском месторождениях кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, показавшие, что пока только Эларское месторождение может служить сырьевой базой для стекольной промышленности Республики.

Географическое распределение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков

Месторождения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков на территории Армянской ССР распределяются чрезвычайно неравномерно. Значительная часть их сосредоточена в Алавердском районе и особенно—в пределах т. н. Лорийского плато (Кармир-Ахегинское, Туманянское, Каринджское, Айгеатское), затем в Кировакан-

ском районе (Мегрутское, Варданлинское) и, наконец, в Котайкском районе (Эларское) (фиг. 1).



Фиг. 1.—Карта географического распределения месторождений кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Армянской ССР.

Дальнейшими геолого-поисковыми работами, несомненно, будут выявлены новые месторождения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков не только в перечисленных выше районах, но и в других, особенно в Степанаванском и Карабахларском, где имеются геологические предпосылки для образования залежей этого своеобразного вулканического продукта. Следовательно надо ожидать изменения в ближайшем будущем картины распределения этого сырья на территории Республики.

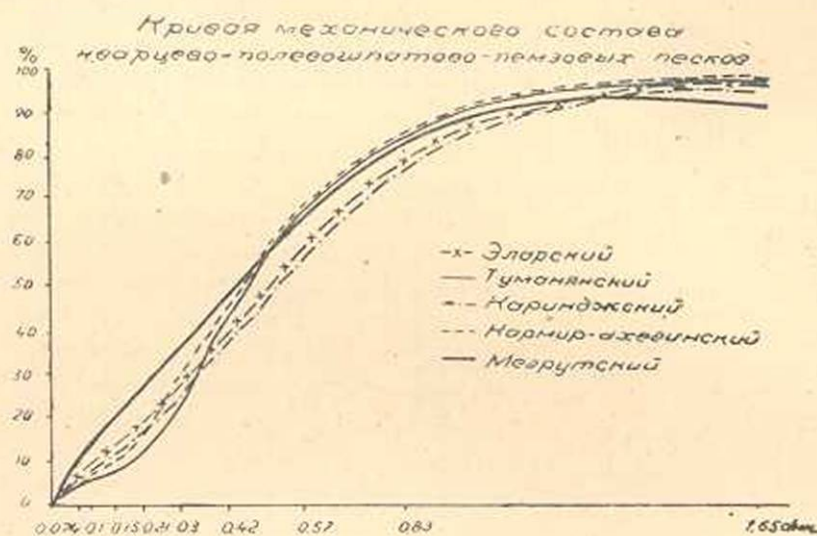
Характеристика, свойства и вещественный состав

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески представляют собой не сцементированную обломочную горную породу, состоящую из смеси пемзовой мелочи молочно-белого цвета, зерен прозрачных,

почти бесцветных полевых шпатов и кварца и темноцветных, а также рудных минералов.

а) Механический состав. Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески характеризуются чрезвычайно большой неоднородностью зерен по величине, что является одной из основных причин, заставляющих прибегать к помощи их измельчения с целью получения наиболее приемлемых размеров зерен (для стекольных песков 0,10—0,50 мм).

О механическом составе кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Армянской ССР дают некоторое представление нижеприведенные кривые (фиг. 2),



Фиг. 2.

показывающие крайнюю неоднородность кварцево-полевошпатово-пемзовых песков по величине зерен и совершенное сходство их механического состава для всех месторождений. Для подавляющей массы песков характерным размером является 0,21—0,83 мм.

Детальный осмотр всех фракций ситового анализа кварцево-полевошпатово-пемзовых песков показывает, что пемзовые частицы играют доминирующую роль в наиболее крупных и мелких фракциях, в то время как в средних фракциях преобладают зерна кварца и полевых шпатов.

Форма зерен кварцево-полевошпатово-пемзовых песков обычно остроугольная, однако пемзовые частицы обнаруживают признаки слабой, почти незаметной на глаз окатанности.

б) Минералогический состав. Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески имеют весьма своеобразный, несколько не напоминающий обычные кварцевые пески состав и вообще кварцсодержащие стекольные сырьевые материалы. В минералогический состав кварце-

во-полевошпатово-пемзовых песков входят: пемза, кварц, санидин, альбит—олигоклаз, слюда, роговая обманка, магнетит, лимонит и др. Количество пемзовых частиц в песках колеблется в пределах от 55 до 75% и более, полевых шпатов от 15 до 25%, кварца— от 10 до 15%. Остальные же минералы (слюда, роговая обманка, рудные и др.) в составе песков играют ничтожную роль.

Вопрос минералогического состава кварцево-полевошпатово-пемзовых песков и полученных из них концентратов является одним из наиболее важных, ибо он тесно переплетается с вопросами разработки наиболее эффективного технологического процесса варки стекла, а также определения видов изделий, могущих быть полученными из данного сырья. Поэтому вопрос этот требует дальнейшей детальной проработки.

в) Химический состав кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Армянской ССР, характеризующийся приводимой ниже таблицей, почти идентичен для песков всех месторождений и особенно для месторождений Лорийского плато. Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески Эларского месторождения отличаются от остальных сравнительно более низким содержанием кремнезема и более высоким содержанием глинозема и окислов железа.

Химический состав кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Армянской ССР*.

№ № п/п	Место взятия пробы	Хим. состав в %		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO
	Карьер с. Туманян			
1	Верхний слой	76,86	12,26	0,70
2	Средний "	75,38	14,75	0,87
3	Нижний "	74,77	14,65	0,67
	Карьер с. Кариндж			
4	Верхний слой	73,89	14,75	0,65
5	Нижний "	76,06	15,51	0,65
	Карьер с. Кармир-Ахеги			
6	Верхний слой	75,44	11,94	0,94
7	Средний "	75,00	15,07	0,95
8	Нижний "	75,12	13,50	0,78
	Эларское м-ние			
9	Шурф № 6	68,76	15,65	2,23
10	" № 9	71,20	16,91	1,92
11	" № 10	71,66	15,75	2,16

* Анализы произведены в лаборатории Института Геологических Наук АН Арм. ССР химиками-аналитиками А. Петросян и Э. Кюрегян.

Судя по данным химического анализа кварцево-полевошпатово-пемзовые пески по составу сильно напоминают кислые лавы типа липаритов и типично пемзовые образования Республики (Пемзашен, Ани и др.). Это обстоятельство дает нам основание предполагать существование тесной генетической связи между всеми этими вулканическими продуктами.

Краткое описание месторождений кварцево-полевошпатово-пемзовых песков

Несмотря на общее сходство вещественного состава и характера сырья, месторождения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Алавердского района в морфологическом и, до некоторой степени, в генетическом отношении отличаются от месторождений Кироваканского района, а последние, в свою очередь, от Эларского месторождения песков. Исходя из этого исследованные нами месторождения можно разбить на три группы: а) месторождения Алавердского района или Лорийского плато, б) месторождения Кироваканского района и в) Эларское месторождение.

а) Месторождения Алавердского района. К этой группе относятся месторождения, расположенные в пределах Лорийского плато—Туманянское, Кармир-Ахегинское, Каринджское и Айгеатское. Из них предварительно разведано лишь Туманянское; остальные подверглись только предварительному осмотру и опробованию.

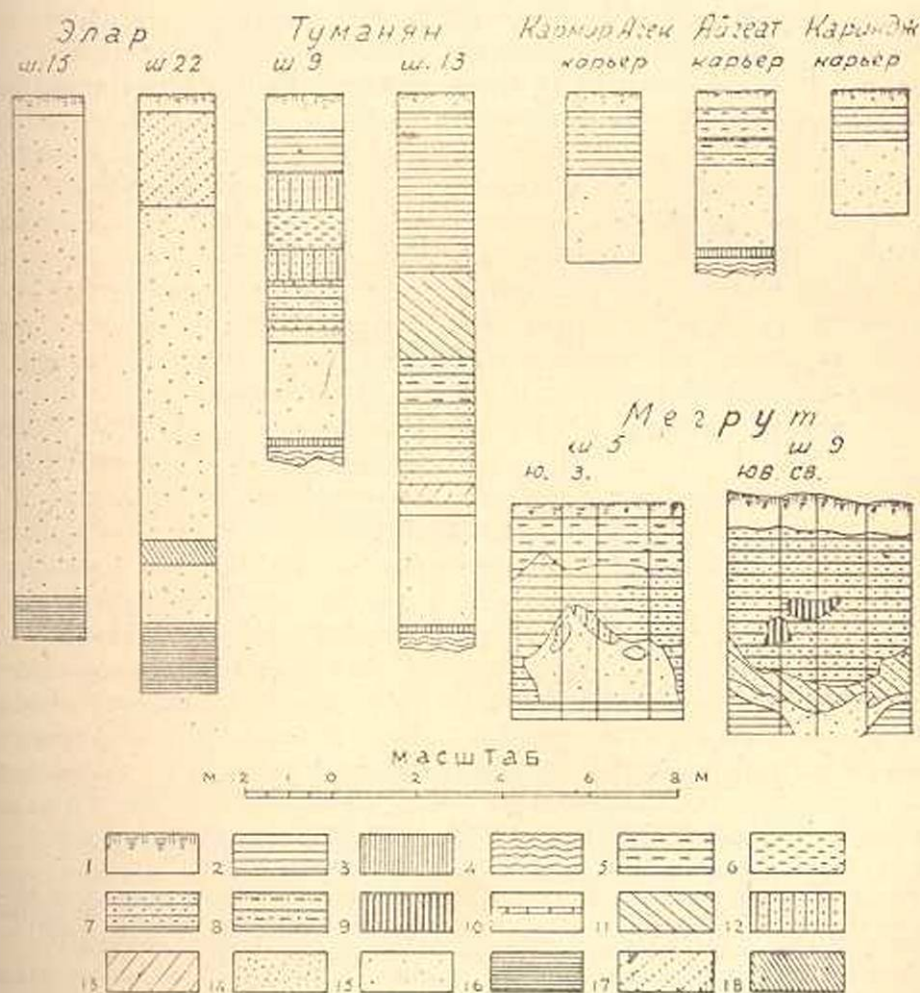
Туманянское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков расположено в 1,5—2,0 км к юго-юго-востоку от с. Туманян (быв. Дсех), в местности Спитак хогер („белые земли“), на правобережном ровном плато р. Дебед и связано с с. Туманян грунтовой дорогой протяжением до 2 км. От с. Туманян до жел. дор. станции Колагераи проходит шоссированная дорога протяжением 6 км.

Район месторождения сложен вулканогенно-осадочной толщей эоценового возраста (порфириды, туфы, туфопесчаники и др.), четвертичными андезито-базальтами и более поздними делювиальными отложениями, среди которых и залегают пески (фиг. 3).

Месторождение представляет собой две, почти горизонтальные залежи кварцево-полевошпатово-пемзового песка, вытнутые примерно в пиротном направлении с небольшим (до 5—6°) уклоном на запад-юго-запад (Фиг. 4).

Песок совершенно белого цвета и исключительной чистоты в центральных частях залежей. На периферии последние включают тончайшие прослойки желтоватой и коричнево-бурой, слегка ожелезненной разности того же песка (от 1 до 10 мм), придающие слою тонкую, почти горизонтальную полосчатость.

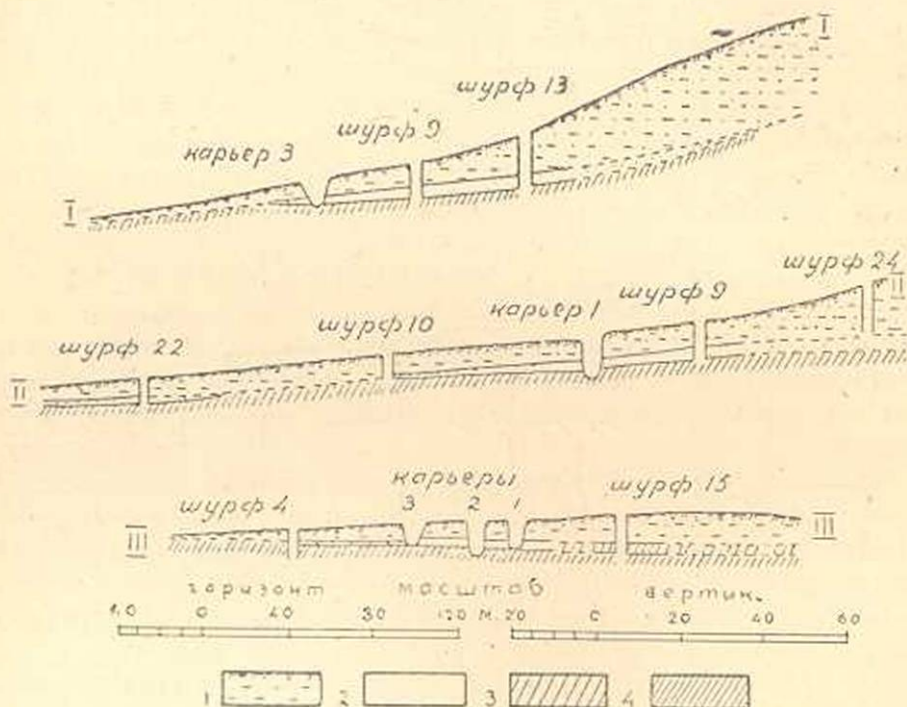
Мощность делювиальных отложений, представленных глинами, суглинками, щебнем порфиритов и др., покрывающих залежи кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров на западе, у бровки каньона р. Дебед, до 15—20 м и более на востоке. Однако, вместе с увеличением мощности наносов, в восточном направлении увеличивается и



Фиг. 3.—Характерные разрезы шурфов и карьеров месторождений кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Арм. ССР (разрезы шурфов Элара составлены А. И. Месропяном). 1. Почвенный слой, 2. глины желто-коричневые и серые, 3. глина темносерая, 4. глина красновато-коричневая, 5. глина желто-коричневая со щебнем, 6. суглинки желто-коричневые, 7. супесь различных цветов, 8. супесь со щебнем, 9. щебень с глинистым песком, 10. песок кварцево-полевошпатовый, 11. песок глинистый, 12. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый со щебнем, 13. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, сцементированный, 14. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, желтый, 15. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, белый, 16. глина светлосерая с обломками базальта, 17. песок серый и окрашенный, 18. пепел вулканический.

мощность залежей песков, особенно в северной части месторождения, варьируя в пределах от нескольких сантиметров на западе до 2,7 м и более на востоке.

Залежи песка обычно начинаются прослоем (0,25—0,30 м) желтоватой, слегка глинистой разности, постепенно переходящей в чистую и белую крупнозернистую массу. Крупнозернистый белый кварцево-полевошпатово-пемзовый песок через 10 см прослой желто-коричневой разности переходит в слой средне- и мелкозернистого белого песка такого же состава. Переход этот очень резкий, но нигде между указанными слоями песков нет даже признаков перерыва.



Фиг. 4.—Разрезы через Туманянское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков. 1. Наносы, 2. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, 3. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, глинистый со щебнем, 4. глины.

Увеличение размеров зерен песка к кровли залежей является несколько странным. Исходя из того, что после извержения пирокластического материала наиболее крупные и тяжелые частицы его должны были достичь поверхности земли раньше, чем более мелкие и легкие, надо было ожидать как раз обратной картины, т. е. увеличения размера зерен к подошве залежи песков. Такое распределение зерен увязалось бы также с возможностью сортировки материала, хотя незначительной в водной среде.

Явление это, на наш взгляд, можно объяснить тем, что по всей вероятности, извержение вулканического центра произошло двумя

импульсами; при этом во время первой вспышки его деятельности был выброшен более мелкий продукт, чем во время второй вспышки. При этом разница во времени между этими импульсами была настолько незначительной, что после осаждения первой порции песков сейчас же последовала вторая порция. Этим и объясняется отсутствие между слоями крупнозернистого и средне-и мелкозернистого песков—явных признаков перерыва—в виде прослоев песчано-глинистых делювиальных отложений.

Налегание крупнозернистой разности кварцево-полевошпатово-пемзовых песков на более мелкозернистую наблюдается не только на Туманянском, но и на всех месторождениях Лорийского плато (Кармир-Ахегинском, Каринджском и др.).

Региональный характер этого явления представляет собой убедительный факт, подкрепляющий отмеченное выше предположение о двух импульсах извержения вулканического центра.

В подошве залежей кварцево-полевошпатово-пемзового песка всюду залегает прослой буро-темно-коричневой, сильно уплотненной разности того же песка мощностью от 0,5 до 1,0 см, который вместе с подстилающим его тонким 10 см слоем светлосерой глины служит как бы маркирующим горизонтом и поискоразведочным признаком для месторождения.

Характерной особенностью залежей песка Туманянского, и вообще всех месторождений Лорийского плато, являются их резкие границы с вмещающими делювиальными отложениями, особенно с подстилающими отложениями.

Туманянское месторождение песков предварительно разведывалось шурфовыми работами. Были вскрыты две залежи кварцево-полевошпатово-пемзового песка с общей площадью в 32500 кв. м. Ориентировочный подсчет запасов, произведенный на основании шурфовых работ, дает цифру порядка 50000 м³, что при объемном весе 1,1 дает 55000 тонн песка.

Шурфами не околитуена восточная граница залежей песка, т. к. глубина их залегания здесь местами превышает 12—15 м от дневной поверхности.

Вопрос промышленно-экономического значения Туманянского месторождения всецело зависит от вопроса рентабельности добычи сырья подземным способом, т. к. при разработке месторождения открытыми карьерами пришлось бы удалить наносы мощностью от 5 до 15 м и более.

Кармир-Ахегинское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков расположено в 1 км к восток-юго-востоку от с. Кармир-Ахеги, выше грунтовой дороги и с. Качаган—с. Кармир-Ахеги, на левобережном лавовом плато р. Дзорает и связано с ж. д. ст. Колагеран дорогой протяжением 18 км, из коих 11 км грунтовой, а 7 км шоссейной (отрезок шоссейной дороги Степанаван—ст. Колагеран).

В геологическом строении района Кармир-Ахегинского месторождения принимают участие эоценовые туфогенно-осадочные породы, четвертичные андезито-базальтовые лавы, слагающие глубокий каньон р. Дзорзет, а также элювиально-делювиальные отложения.

Кармир-Ахегинское месторождение представляет собой действующий карьер, вытянутый в меридиональном направлении. Здесь, так же, как и на Тумаянском месторождении, кварцево-полевошпатово-пемзовый песок залегает в виде почти горизонтального слоя, мощностью от нескольких сантиметров до 2 м; при этом верхняя часть слоя сложена крупно-зернистым, а нижняя—средне-и мелко-зернистым песком (фиг. 3).

Слой песка месторождения перекрывается сильно известковистой пористой супесью и суглинками, мощностью от 0,2—0,5 до 2 м. Как супесь, так и суглинки включают небольшие линзовидные скопления угловатых обломков зеленовато-серых порфиритов. Кварцево-полевошпатово-пемзовый песок подстилается прослоем уплотненной коричневато-бурой разности того же песка толщиной в 1 см, ниже которого залегает светлосерая песчанистая глина, местами переходящая в глинистый песчаник.

Месторождение не лишено перспективы и заслуживает постановки поисково-разведочных работ.

Айгеатское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков расположено на южной окраине с. Айгеат, у грунтовой дороги с. Айгеат—с. Цатер, в 50—100 м от бровки каньона р. Дебед, против ж. д. разъезда Кобер и находится на расстоянии 6—7 км (по ровной грунтовой дороге) от предыдущего месторождения.

В геологическом строении участка месторождения принимают участие юрские порфириты, их туфы и туфобрекчии, четвертичные андезито-базальтовые лавы и делювиальные отложения, в которых и залегают кварцево-полевошпатово-пемзовые пески. Мощность залежи песков, представленной в виде слоя с еле заметным уклоном на восток, судя по действующему здесь карьеру, колеблется в пределах от нескольких десятков см до 1,9 м (фиг. 3). Мощность наносов составляет 1,6 м; однако, вследствие повышения рельефа местности в западном направлении, она постепенно увеличится.

В подошве залежи песков наблюдается характерный и для других месторождений Алавердского района маркирующий горизонт, описанный выше.

Месторождение также заслуживает постановки поисково-разведочных работ.

Каринджское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков расположено в 2 км к запад-северо-западу от с. Кариндж и связано со строящимся Тумаянским заводом огнеупоров очень крутой грунтовой дорогой протяжением в 4 км, а от завода до

ж. д. разъезда Кобер проходит улучшенная грунтовая дорога протяжением до 7 км, приспособленная для автотранспорта.

В геологическом строении района месторождения принимают участие туфогенная толща юрского возраста, четвертичные андезитобазальты и современные делювиальные отложения.

На Каринджском месторождении имеется ряд старых и новых ям—карьеров, откуда местным населением добывается песок для строительных целей.

Кварцево-полевошпатово-пемзовый песок залегает среди песчано-глинистых делювиальных отложений в виде слабо наклоненного на юг-юго-восток (до $12-20^\circ$) слоя, мощность которого, судя по имеющимся искусственным обнажениям, достигает 1,7 м; при этом верхняя часть слоя, мощностью в 1,2 м, сложена крупнозернистым песком белого цвета с еле заметным коричневым оттенком и тончайшими прослойками того же песка, окрашенного в бурый цвет. Нижняя часть слоя (0,5 м) представлена совершенно белым, без видимых на глаз посторонних примесей средне-и мелкозернистым песком (фиг. 3).

Залежь песков перекрывается песчано-глинистыми делювиальными отложениями мощностью 1,2—1,5 м. К западу от коренной залежи, на склоне, обращенном к р. Дебед, имеется выход того же песка, по всей вероятности переотложенного водными потоками и отчасти ветром.

Площадь развития, а также запасы кварцево-полевошпатово-пемзового песка Каринджского месторождения без производства шурфовых работ определить очень трудно. Месторождение вообще не лишено перспективы и требует постановки поисково-разведочных работ.

б) Месторождения Кироваканского района. В окрестностях с. Мегрут (быв. Ягубли), главным образом к востоку, западу и юго-западу от села, имеется целый ряд выходов кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, разрабатываемых здесь местным населением для строительных нужд.

Селение Мегрут связано с г. Кировакана грунтовой дорогой протяжением 4 км, а проявления песка расположены от 0,2 до 1,5 км от селения и связаны с ним проселочными дорогами.

Разведке был подвергнут, главным образом, участок действующего карьера песка, расположенный на восточной окраине с. Мегрут. Район месторождения сложен эоценовыми порфиритами, их туфами и туфобрекчиями и делювиальными песчано-глинистыми отложениями.

Шурфовые работы показали, что Мегрутское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзового песка представляет собой свыше десятка разбросанных, изолированных друг от друга линзовидных скоплений. Размер последних варьирует в пределах от 20 до 25 м в длину и от 10 до 12 м в ширину при мощности 0,5—1,5 м. Мощ-

ность делювиальных отложений, покрывающих залежи песка, колеблется от 1 до 3,5 м, реже 5—6 м. Кварцево-полевошпатово-пемзовый песок здесь залегает среди типично делювиальных образований. Контакты залежей песка с вмещающими породами, следовательно, и мощность самих залежей, в отличие от таковых на месторождениях Алавердского района, весьма изменчивы (фиг. 3). Наблюдаются случаи как прослаивания кварцево-полевошпатово-пемзового песка с глинами, так и их фациального взаимоперехода. В ряде случаев над песками залегает переотложенная орешковая пемза.

Судя по данным разведки, Мегрутское месторождение в настоящее время не может представлять промышленного интереса, так как отдельные залежи песка разбросаны на большой площади и, что очень важно, они обладают небольшими размерами, исключающими рентабельность их разработки.

В 1 км к востоку от с. Варданлу, над шоссеиной дорогой Кировакан—Дилижан имеется еще одно проявление кварцево-полевошпатово-пемзового песка такого же характера, как и песок Мегрутского месторождения. Варданлинское проявление представляет собой линзовидную залежь песка, прислоненную к правому склону р. Гарпи. Длина ее составляет 60 м, ширина 20—25 м, а мощность порядка 1,5 м.

Варданлинское проявление песка промышленного интереса не представляет и в большей своей части выработано местным населением.

в) Эларское месторождение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков. Эларское месторождение находится в 15 км к северо-востоку от г. Еревана, в 1,5 км к востоку от шоссеиной дороги Ереван—Севан, на южной и восточной частях территории, занятой с. Элар.

Участок Эларского месторождения сложен долеритовыми базальтами, пирокластическими туфами красновато-бурого и черного цветов, а также пресноводно-озерными песчано-глинистыми образованиями и современными наносами.

Участок этот в четвертичное время представлял собой пресноводный водоем запрудного характера, в котором происходила аккумуляция как песчано-глинистых образований, так и вулканического материала (белых кварцево-полевошпатово-пемзовых и серых строительных песков).

Эларское месторождение впервые было разведано по поручению ВСНХ Армении в 1929 г., однако, его промышленное значение было выявлено лишь разведочными работами, произведенными в 1947 году. Эти работы показали, что Эларское месторождение пока является наиболее крупным из всех известных до сего времени месторождений подобного типа и может служить сырьевой базой для расширяющейся промышленности Республики.

Шурфовыми работами были вскрыты и околонтурены три залежи кварцево-полевошпатово-пемзовых песков; оказалось, что наиболее большая и перспективная расположена в восточной части, средняя — в западной части селения, и наименьшая — за пределами селения, на проселочной дороге, ведущей к шоссейной магистрали Ереван—Севан (фиг. 5).

Мощность залежей кварцево-полевошпатово-пемзовых песков варьирует в широких пределах — от 0,5 до 11 м. Залежи песков перекрываются делювиальными песчанистыми глинами, местами — вулканическим пеплом, иногда залегающим в виде прослоев в самой залежи песков. По данным А. И. Месропяна*, на восточной окраине селения залежь кварцево-полевошпатово-пемзовых песков погружается под серые строительные мелкозернистые пески, ныне разрабатываемые в широком масштабе. Мощность наносов колеблется от 0,4 до 5,0 м; при этом она заметно увеличивается к северо-западу, по направлению к центральной части села.

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески подстилаются светлорусыми глинами с обломками безальтов. Местами книзу обогащаются глинистым материалом.

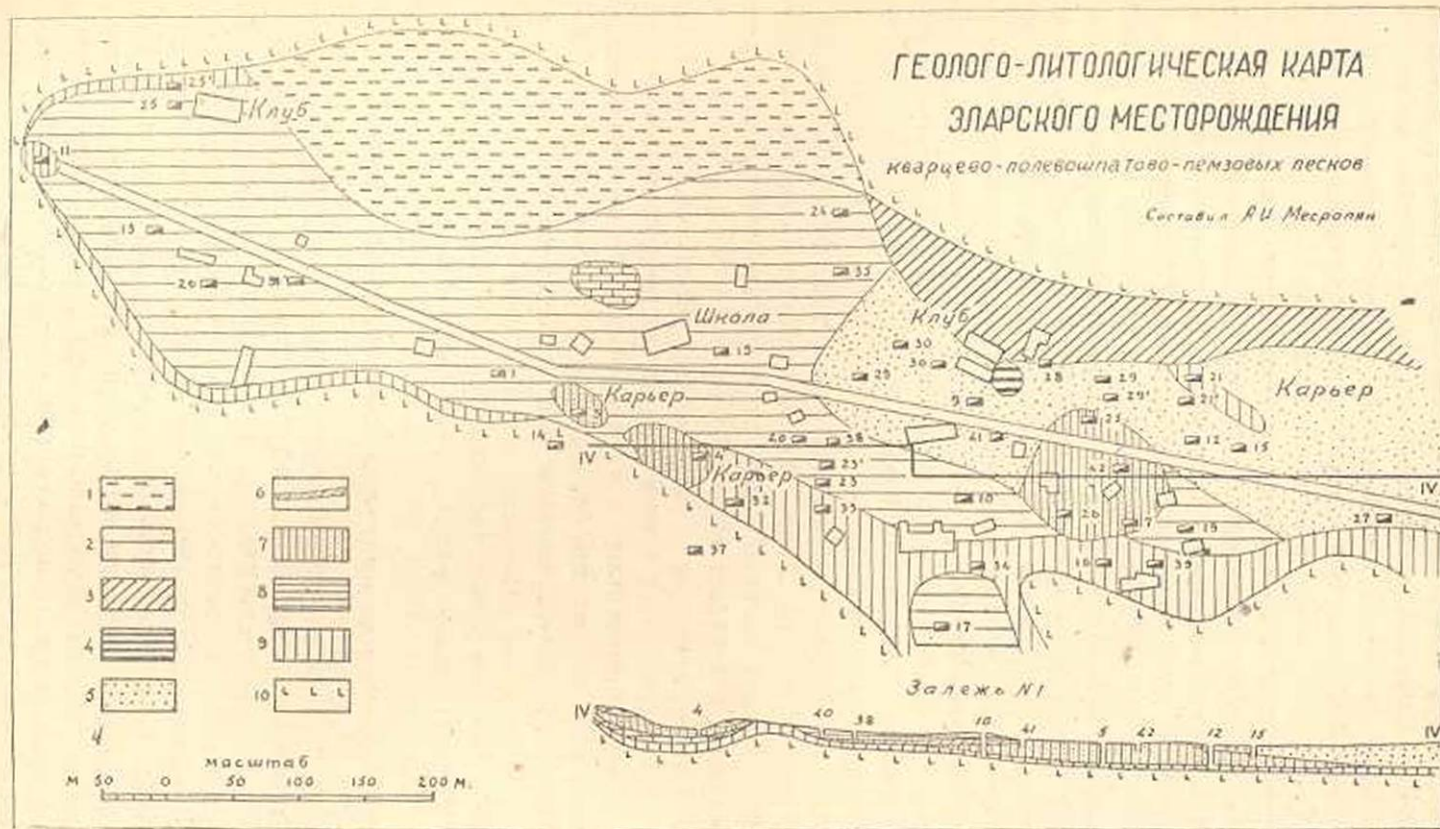
Пески Эларского месторождения отличаются от песков описанных выше месторождений лишь тем, что минералогический состав их менее постоянен и заметно меняется не только для разных залежей, но и для их различных частей.

В результате детальных разведочных работ, проведенных на месторождении, удалось подсчитать запасы кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, достаточные для базирования на них производства оконного и других видов бесцветного стекла. Наряду с этим, незначительность мощности наносов, позволяющая организовать добычу песков открытыми карьерами, а также близость от г. Еревана при наличии хорошей шоссейной и железной дорог, разработку Эларского месторождения делают весьма рентабельной.

О генезисе кварцево-полевошпатово-пемзовых песков

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески Армянской ССР до последнего времени не служили объектом серьезных геологических исследований. Поэтому естественно, что вопрос их генезиса не нашел того освещения, которого он заслуживает. Вопрос этот весьма интересный не только с теоретической, но и с практической точек зрения; поэтому напрашивается необходимость всестороннего его изучения и освещения. Здесь мы высказываем некоторые соображения о генезисе кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, подкрепленные фактическими данными, полученными в результате проведенных геолого-разведочных работ или осмотра ряда песчаных карьеров.

* А. И. Месропян — Эларское месторождение кварцево-пемзовых песков. 1947 г., фонды Арм. Геол. Упр.



Фиг. 5. 1. Почвенно-растительный слой, 2. глины делювиальные, светлосерые, с обломками туфов и базальтов, 3. обломки базальтов, плотно цемент. белоземом, 4. туфы пирокластические, черные, 5. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, серый, 6. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, окрашенный в различные цвета, 7. песок кварцево-полевошпатово-пемзовый, белый, 8. диатомитовые глины и глинистые диатомиты, 9. глины делюв., светлосерые, с обломками, и валунами базальта, 10. долеритовые базальты.

Соображения эти не претендуют на окончательное разрешение вопроса, а являются как бы элементами рабочей гипотезы, требующей детальной переработки и дальнейшего подкрепления фактами.

Общее сходство этих своеобразных вулканических пирокластических продуктов, образовавшихся в отдаленных друг от друга районах Республики, дает основание полагать, что в четвертичное время на территории Армянской ССР имел место цикл примерно однотипных вулканических извержений. Месторождения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Лорийского плато (Туманянское, Кармир-Ахегинское, Каринджское и Айгеатское) образовались в одних и тех же условиях, что доказывается совершенным сходством их литологического разреза, формы залегания и минералогического, механического и химического составов песков. Вернее было бы полагать, что все эти месторождения вначале составляли одно целое, а впоследствии были изолированы друг от друга гидрографической сетью района и селевыми потоками.

Образование месторождений Лорийского плато мыслится следующим образом.

Излившиеся в четвертичное время андезито-базальтовые и другие основные лавы, стекая в долину р. Дебед и ее притоков, запрудили эти воды и обусловили образование на месте Лорийского плато мелководного бассейна. Затем последовала новая вспышка вулканической деятельности, в результате которой был выброшен, вернее пульверизирован, продукт липаритового состава—пепел с крупнозернистым кластическим материалом. Этот вулканический продукт, несомненно, подвергался сортировке еще в воздухе; при этом, надо полагать, что пепел и легкие частицы выброшенного материала уносились далеко, а более тяжелая фракция осаждалась в пределах уже существовавшего до этого мелководного бассейна и прилегающих к нему районов. Некоторая сортировка материала произошла также в воде, в процессе формирования залежи песка. Доказательством такой сортировки является обогащение пемзой тех частей залежи, которые расположены ниже по рельефу, в то время как количество ее в верхних частях несколько уменьшается за счет увеличения содержания кварца и полевых шпатов. И это понятно, потому что воды, отступая из плато в связи с пропиливанием р. Дебед покрова андезито-базальтовых лав, передвигали с собой по наклонному дну бассейна более легкие частицы песка, в роли которых оказывались пемзовая мелочь.

Такое же передвижение легкой фракции, даже в более интенсивной форме, могло бы иметь место также благодаря селевым потокам, стекавшим с ближайших склонов, которые нередко, очевидно, смывали всю залежь или же загрязняли ее различными пролювиальными образованиями (глинами, щебнем и т. д.).

Необходимо отметить, что в делювиальных износках, перекрывающих залежь кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Туманян-

ского месторождения имеются также прослой чистого кварц-полевошпатового мелкозернистого песка темносерого цвета. В ряде участков кварцево-полевошпатовые желтовато-коричневые тонкослоистые пески налегают непосредственно на слой белых кварцево-полевошпатово-пемзовых песков или же сменяют их в горизонтальном направлении, причем они перемешаны с некоторым количеством щебня порфиритового состава и глинистого материала делювиально-пролювиального происхождения.

Указанные кварцево-полевошпатовые пески, примешанные к песчано-обломочному материалу, несомненно образовались в результате размыва селевыми водами кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, осаждавшихся на западном склоне возвышенности Бердахнери-гаш, к востоку от месторождения за пределами водоема. При этом пемзовые частицы, как наиболее легкие, выносились за пределы района месторождения, а кварц и полевые шпаты в смеси с пролювием отложились тут же, преимущественно поверх залежи чистых кварцево-полевошпатово-пемзовых песков.

Образование кварцево-полевошпатово-пемзовых песков всех месторождений Лорийского плато в водной среде, при том в одном и том же мелководном бассейне, доказывается общностью состава песков, почти горизонтальным их залеганием и тонкой слоистостью, наличием единого для всех месторождений маркирующего горизонта (прослой уплотненного коричневатого-бурого песка в подошве залежей, мощностью 0,5—1,0 см, с подстилающей его светлосерой глиной).

Выброшенный вулканический кластический материал, по всей вероятности, занимал все Лорийское плато и прилегающие к нему районы. Впоследствии он подвергся усиленному размыву, в результате чего от него уцелели лишь отдельные небольшие участки и то благодаря наличию там сочетания благоприятных геоморфологических элементов.

Вопрос о центре извержения исходного продукта кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Лорийского плато и Кироваканского района пока еще остается открытым. Однако, исходя из многочисленных фактов излияния из одних и тех же вулканических очагов, как основных, так и более кислых лав, мы склонны считать что исходный продукт кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Алавердского и Кироваканского районов извергался из тех же очагов, которые до этого породили основные лавы (андезито-базальты, базальты и др.), залившие бассейны р. Дебед и ее притоков. После излияния основных лав в указанном очаге, по всей вероятности произошла гравитационная дифференциация, в результате которой кислая, наиболее легкая фракция магматического расплава, соответствующая по составу липаритам, заняла верхнюю часть очага, а основная, наиболее тяжелая — нижнюю часть.

Надо полагать, что извержение вулканического продукта произошло под большим давлением и, видимо, при почти полном закупоривании жерла вулкана, что вызвало раздробление выбрасываемого продукта.

Вулканический очаг, породивший кварцево-полевошпатово-пемзовые пески, по всей вероятности, находился в районе Мокрых гор, на расстоянии нескольких десятков километров к юго-западу от районов месторождений.

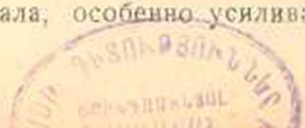
Кристаллическое состояние кварца и полевых шпатов, входящих в состав кварцево-полевошпатово-пемзовых песков, дает основание полагать, что к моменту извержения дифференциат липаритового состава успел до некоторой степени закристаллизоваться.

Залегание кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Алавердского района на почти ровных плато, сложенных четвертичными (рисс-вюрмскими?) андезито-базальтовыми и базальтовыми лавами является прямым указанием на их четвертичный возраст.

Исходя из предположения, что кварцево-полевошпатово-пемзовые пески Лорийского плато являются продуктом выброса вулканического очага, расположенного в районе Мокрых гор, можно допустить, что и пески Кироваканского района (мегрутские и варданлинские) образовались за счет того же выброса. Что касается резких различий в формах залегания скоплений песков, то это объясняется тем, что осаджение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Кироваканского района и формирование их скоплений происходили в условиях суши. Пески же Лорийского плато, как отмечено выше, отлагались в водной среде.

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески и собственно пемза Эларского месторождения также являются продуктом кислой лавы липаритового состава. По всей вероятности, как кварцево-полевошпатово-пемзовые пески и пемза, так и липариты и обсидианы окрестностей с. Элар, обязаны своим происхождением вулканическим выбросам, центром излияния которых, по всей вероятности, является гора Гадис, расположенная в 8 км к северо-востоку от с. Элар. Об этом отмечает также горный инженер Т. Джрбашян и как доказательство указывает на наличие мощных скоплений пемзово-обсидианового материала на склонах г. Гадис, в районе селений Елгован и Башгюх, по составу аналогичных эларскому кварцево-полевошпатово-пемзовому песку.

Кварцево-полевошпатово-пемзовый песок Эларского месторождения залегает в пределах чашеобразной равнины, в четвертичное время видимо представлявшей небольшой пресноводный бассейн запрудного характера. Помимо песка и пемзы, непосредственно попавших из воздуха в указанный бассейн, значительная масса их была смыта туда поверхностными водами и ветром с прилежащих склонов. Очевидно, в самом бассейне происходила некоторая сортировка и перемещение материала, особенно усиливавшиеся в пос-



ледней стадии жизни бассейна, т. е. в период пропиливания водой лавовой плотины. В связи с возобновлением стока воды из бассейна более легкая фракция песков (главным образом пемзовые частицы) должна была перемещаться вниз, на запад, вместе с вытекавшей водой и вновь осаждаться вдоль русла образовавшейся реки.

Основные выводы и направление дальнейших работ

а) Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески являются весьма своеобразным вулканическим продуктом, не имеющим аналогов в пределах, по крайней мере, Советского союза. По минералогическому и химическому составу они относятся к кислым лавам липаритового состава.

б) Пески преимущественно белого, реже желто-коричневого цветов, имеют крупно- и среднезернистое строение, отличаются исключительной чистотой и обычно обладают ясно выраженной слоистостью.

в) Из шести месторождений кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Республики разведаны лишь Мегрутское, Туманянское и Эларское. На данной стадии изученности наиболее крупным является Эларское, которое как по запасам сырья, так и по технико-экономическим условиям разработки может служить базой для развивающейся стекольной промышленности Республики. Мегрутское месторождение оказалось не промышленным.

г) На месторождениях Лорийского плато и в Эларе кварцево-полевошпатово-пемзовые пески образуют почти горизонтальные залежи и формировались в мелководных бассейнах запрудного характера; пески же Мегрутского месторождения представлены небольшими линзообразными телами и отдельными карманами и формировались в условиях суши, преимущественно в пониженных частях рельефа.

д) Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески являются кластическим продуктом извержения четвертичных вулканов, причем пески Алавердского и Кироваканского районов, по всей вероятности, генетически связаны с центром, расположенным в районе Мокрых гор, а пески Эларского месторождения — с районом г. Гадис.

е) С целью выявления всех ресурсов кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Арм. ССР необходимо продолжить поисковые, а в зависимости от их результатов — разведочные работы с охватом, в первую очередь, месторождений Лорийского плато.

ж) Необходимо провести работы по выявлению промышленных залежей чистых кварцитов, одновременно выяснить вопросы рентабельности их дробления и удаления из них окислов железа в случае если не удастся найти такие разновидности, в которых железо не превышает кондиционных требований.

3) Из всех кварцсодержащих сырьевых ресурсов Армянской ССР пока что наиболее приемлемыми являются кварцево-полевошпатово-пемзовые пески, выдвинутые нами как исходное сырье для варки оконного и других видов практически бесцветного стекла.

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески Армянской ССР вполне могут заменить дальнепривозные кварцевые пески Донбасса и Дагестанской АССР. Выявление всех их ресурсов позволит подвести надежную сырьевую базу под расширяющуюся из года в год стекольную промышленность Республики (и не только Республики), особенно под производство оконного и других видов бесцветного стекла.

Институт Геологических Наук
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 5 XI 1948.

Ա. Ե. Քաջարյան

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԲՎԱՐՑ-ԴԱՇՏԱՇՊԱԹԱՅԻՆ-ՊԵՄՉԱՅԻՆ ԱՎԱԶ- ՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ԱՊԱԿՈՒ ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՀՈՒՄԲ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հայկական ՍՍՌԻ Գիտությունների Ակադեմիայի Գեոլոգիական Գիտությունների Ինստիտուտի առաջ զբաղված էր մի կարևոր խնդիր՝ ապահովել Ռեսպուբլիկայի տարեց տարի զարգացող ապակու արդյունաբերությունը տեղական բարձրորակ քվարցային հումքով:

Այդ ուղղությամբ կատարված ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ Հայկական ՍՍՌԻ քվարց պարունակող բոլոր ապարներից ամենաշահավետն այսպես կոչված քվարց դաշտաշաթային-պեմզային ավազներն են, որոնք և մեր կողմից առաջադրվել են որպես գործնականորեն թափանցիկ ապակու արտադրության բնական հումք:

1. Քվարց-դաշտաշաթային-պեմզային ավազներն իրենցից ներկայացնում են վերին ստորհանի ինքնատիպ հրաբխային նյութ, որոնք իրենց միներալոգիական և քիմիական կազմությամբ համապատասխանում են լիպարիտներին:

Այդ ավազներն ստավիլապես սպիտակ են, մասամբ զեղնավուն-շագանակադույն և մոխրագույն, ունեն խոշորահատիկ և միջակ ու մանրահատիկ կառուցվածք, աչքի են ընկնում բացառիկ մաքրությամբ և սովորաբար լավ արտահայտված չերտայնությամբ: Նրանց կազմի մեջ մասնակցում են՝ պեմզա (55—75%), դաշտային չաթներ (15—25%), քվարց (10—15%) և աննշան չափով փայլար, հանքային միներալներ և այլն:

2. Ռեսպուբլիկայի տերիտորիայում հայտնաբերված 6 հանքավայրերից հետախուզվել են միայն Մեղրուտի, Թումանյանի և Էլարի հանքավայրերը, բայց որում զբանցից ամենախոշորը վերջինն է, որն ինչպես հումքի պաշարներով, այնպես էլ շահագործման տեխնիկական-տնտեսական պայման-

ներով կարող է հուսալի հումքային բազա հանդիսանալ բարձրորակ ապահու արտադրութեան համար:

Մեղրուտի հանքավայրը, ըստ հետախուզութեան ավյալների, արդյունաբերական նշանակութիւնն չունի. ինչ վերաբերում է Թուսմանյանի հանքավայրին, ապա նրա հետախուզումը ավազները ծածկող բերվածքների մեծ հաստութեան պատճառով դադարեցված է:

3. Լոռու սարահարթի և Էլարի քվարց-դաշտաշագթային-պեմզային ավազներն առաջացրել են համարյա հորիզոնական կուտակումներ և ձևավորվել են արգելակային բնույթի ծանծաղջրյա ավազներում, իսկ Մեղրուտի հանքավայրում նրանք ներկայացված են քանկանոն ձևի փոքր ոսպնյականման մարմիններով ու առանձին բներով և ձևավորվել են ցամաքի պայմաններում, առավելագույն ուլեյների ցածրագիր մասերում:

4. Բվարց-դաշտաշագթային-պեմզային ավազները հանդիսանում են չորրորդական հրաբուխների ժայթքման բեկորային նյութը, ըստ որում Ալավերդու և Կիրովականի շրջանների ավազները հավանաբար առաջացել են Մթին կամ Սոնավ լեռների շրջանում գտնվող որևէ հրաբխային կենտրոնից, իսկ Էլարի ավազները—Հադիսից:

5. Հայկական ՍՍՌ քվարց-դաշտաշագթային-պեմզային ավազների բոլոր ուսուրաները հայտնաբերելու նպատակով անհրաժեշտ է շարունակել որոնման և հետախուզական աշխատանքները, ընդգրկելով առաջին հերթին Լոռու սարահարթի հանքավայրերը:

6. Անհրաժեշտ է շարունակել աշխատանքները մաքուր քվարցիտների արդյունաբերական հանքավայրեր հայտնաբերելու համար, միաժամանակ պարզել քվարցիտների մանրացման հնարավորութիւնն ու նրանցից թափանցիկ ապակի ստանալու շահավետութիւնը և վերջապես մշակել քվարցիտներից երկաթի օքսիդները հեռացնելու տեխնոլոգիական սխեմա:

Հայկական ՍՍՌ քվարց-դաշտաշագթային-պեմզային ավազներն անշուշտ կարող են փոխաբերել Դոնբասից և Դադստանի ԱՍՄՌ-ից ստացվող քվարցային ավազներին: Այդ ավազների բոլոր ուսուրանների հայտնաբերումը հնարավորութիւն կտա Ռեսպուբլիկայի (և ոչ միայն Ռեսպուբլիկայի) բուռն կերպով դարգացող ապակու արդյունաբերութեան, մասնավորապէս թափանցիկ ապակու, մասամբ բյուրեղապակու, արտադրութեան համար ստեղծել տեղական հումքային բազա:

МЕХ. ОБОГАЩ. ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

М. С. Саакян

Обогащение кварцево-полевошпатово-пемзовых
песков Армянской ССР

Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески, выявленные и исследованные в 1946—47 г. Институтом Геологических Наук АН Армянской ССР, в естественном виде не могут быть использованы для варки бесцветного стекла: обладают чрезвычайно большой разнородностью по величине зерен, что вызывает необходимость размельчения сырья и получения приемлемых размеров, содержание в них окислов железа превышает кондиционные нормы (0.05—0.10%) от 5 до 20 раз и более, содержат несколько раз больше окислов алюминия, чем обычное стекольное сырье, хотя в последнее время стали применять значительно больше окислов алюминия.

В связи с вышеизложенным, перед научно-исследовательской обогатительной лабораторией Института Геологических Наук был поставлен вопрос о возможности обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков и их использования в качестве исходного сырья для стекольной промышленности Республики.

В работе принимали участие сотрудники лаборатории Р. Б. Никогосян и С. Г. Нуразян.

При проведении предварительного исследования по обогащению кварцево-полевошпатово-пемзовых песков (удаления окислов железа) были получены достаточно высокие проценты выхода кварцево-полевошпатовых зерен. В дальнейшем проводились сравнительно детальные исследования технологии обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Эларского и Туманянского месторождений, описание которых приведено в предыдущей статье (А. Е. Кочаряна) настоящего номера „Известий“.

Исследования эти дали вполне положительные результаты, о которых вкратце сообщается в предлагаемой статье.

Подготовка проб для исследования

Технологические пробы кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Эларского и Туманянского месторождений были взяты из от-

дельных шурфов и карьеров. По пробам определялся выход кварцево-полевошпатового концентрата по отдельным шурфам для подсчета запасов месторождений, после чего пробы, взятые из отдельных шурфов, были объединены в одну общую пробу для отдельных месторождений и подверглись обогащению.

Так как наиболее крупные частицы этих песков едва достигают 2—3 мм, то вопрос их дробления в процессе обогащения отпадает.

Проба подверглась перемешиванию методом кольца и конуса и далее сокращению путем квартования для взятия из нее средней пробы для полного химического, ситового и минералогического анализов.

В таблицах 1 и 2 приводятся результаты ситовых, а в таблицах 3 и 4 результаты полных химических анализов песков Эларского и Туманянского месторождений.

Таблица 1

Характеристика механического состава кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Эларского месторождения

№ № п п	Крупность по классам в мешах	В ы х о д		Комулят. выход в %
		в гр	в %	
1	Выше + 28 меш.	22,40	44,80	44,80
2	— 28 + 35 "	12,05	24,10	68,90
3	— 35 + 48 "	5,25	10,50	79,40
4	— 48 + 65 "	3,40	6,80	86,20
5	— 65 + 100 "	1,70	3,40	89,60
6	— 100 + 150 "	1,10	2,20	91,80
7	— 150 + 200 "	0,85	1,70	93,50
8	— 200 "	3,25	6,50	100,00

Таблица 2

Характеристика механического состава кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Туманянского месторождения

№ № п п	Крупность по классам в мешах	В ы х о д		Комулят. выход в %
		в гр	в %	
1	+ 28 меш.	26,27	26,27	26,27
2	— 28 + 35 "	18,60	18,60	45,07
3	— 35 + 48 "	18,20	18,20	63,27
4	— 48 + 65 "	13,46	13,46	77,33
5	— 65 + 100 "	6,65	6,65	83,98
6	— 100 + 150 "	3,57	3,57	87,55
7	— 150 + 200 "	2,95	2,95	90,50
8	— 200 "	9,50	9,50	100,00

Ниже приводится схема сокращения (схема 1).

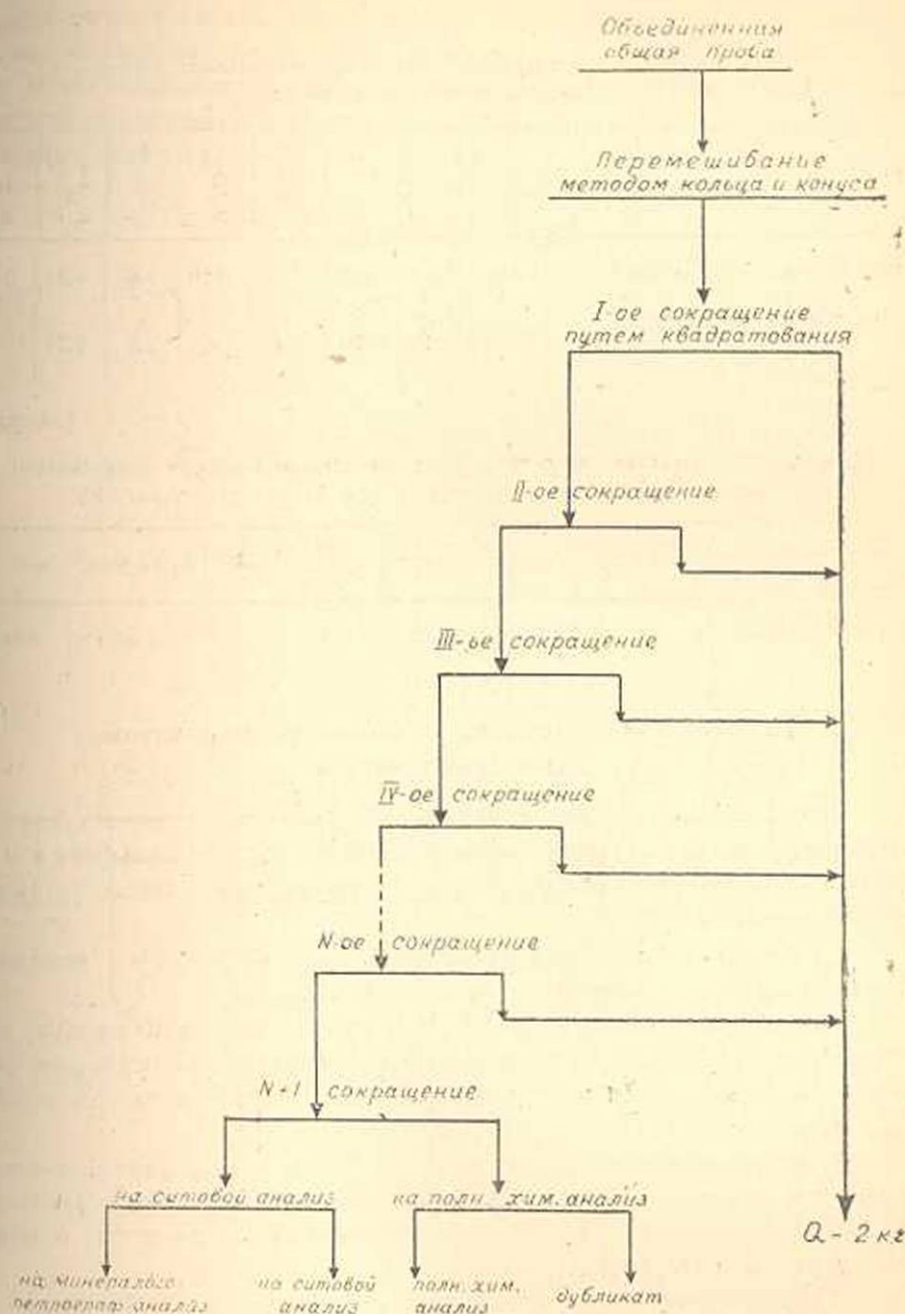


Схема 1.

Так как исходные продукты Эларского, Туманянско-го и других месторождений имеют совершенно одинаковый минералогический и гранулометрический характер, за исключением выходов тяжелой фракции (полевого шпата и кварца), то схема сокращения, подготовка проб и методика и технологические схемы обогащения для всех кварцево-полевошпатово-пемзовых песков являются общими.

Таблица 3

Химический состав кварцево-полевошпатово-пемзовых песков
Эларского месторождения

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	MgO	CaO	K ₂ O + Na ₂ O	п. п. п.
По данным Джрбашяна *	70.96	0.16	14.08	1.28	0.16	1.32	6.21	5.08
По данным хим. лабор. Арм. ГУ	70.60	0.13	16.54	2.43	сл.	1.5	5.70	2.79

Таблица 4

Химический состав кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Туманянского
месторождения (анализ произведен в хим. лаборатории Арм. ГУ)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	CaO	K ₂ O + Na ₂ O	п. п. п.
72.8	15.27	1.19	0.2	следи	следи	1.7	5.27	3.68

Методика исследования кварцево-полевошпатово- пемзовых песков

Лабораторное исследование на обогатимость велось в основном комбинированным методом: концентрацией на столе Вильфлея и магнитной сепарацией с последующей промывкой в слабом растворе серной кислоты.

Сущность данного метода заключается в том, что исходный продукт проходит несколько этапов обогащения.

После измельчения в шаровой мельнице исходный продукт поступает на концентрационный стол, на котором, на основании разности удельных весов различных минералов, делится на три отдельные фракции:

1. легкая фракция или чистая пемза-хвосты; 2. средняя фракция—смесь кварца, полевого шпата и пемзы (промежуточный продукт); 3. тяжелая фракция—кварцево-полевошпатовый концентрат и железосодержащие минералы.

Только третий продукт—концентрат подвергался магнитной и электромагнитной сепарациям с целью удаления из него железосодержащих минералов. Для максимального удаления железа концентрат, после магнитной сепарации, подвергался промывке в 2% растворе серной кислоты при г:ж = 1:2 и температуре раствора 70—75°C. Продолжительность операции около 40 минут. Затем кислотный раствор декантировался и материал промывался слегка теплой водой

* Т. Джрбашян—Эларское месторождение пемзы, 1929 г.

для удаления остатков подкисленного раствора, после чего полученный концентрат поступал на сушку.

Ниже приводится схема лабораторного испытания кварцево-полевошпатово-пемзовых песков на обогатимость комбинированным методом (схема 2).

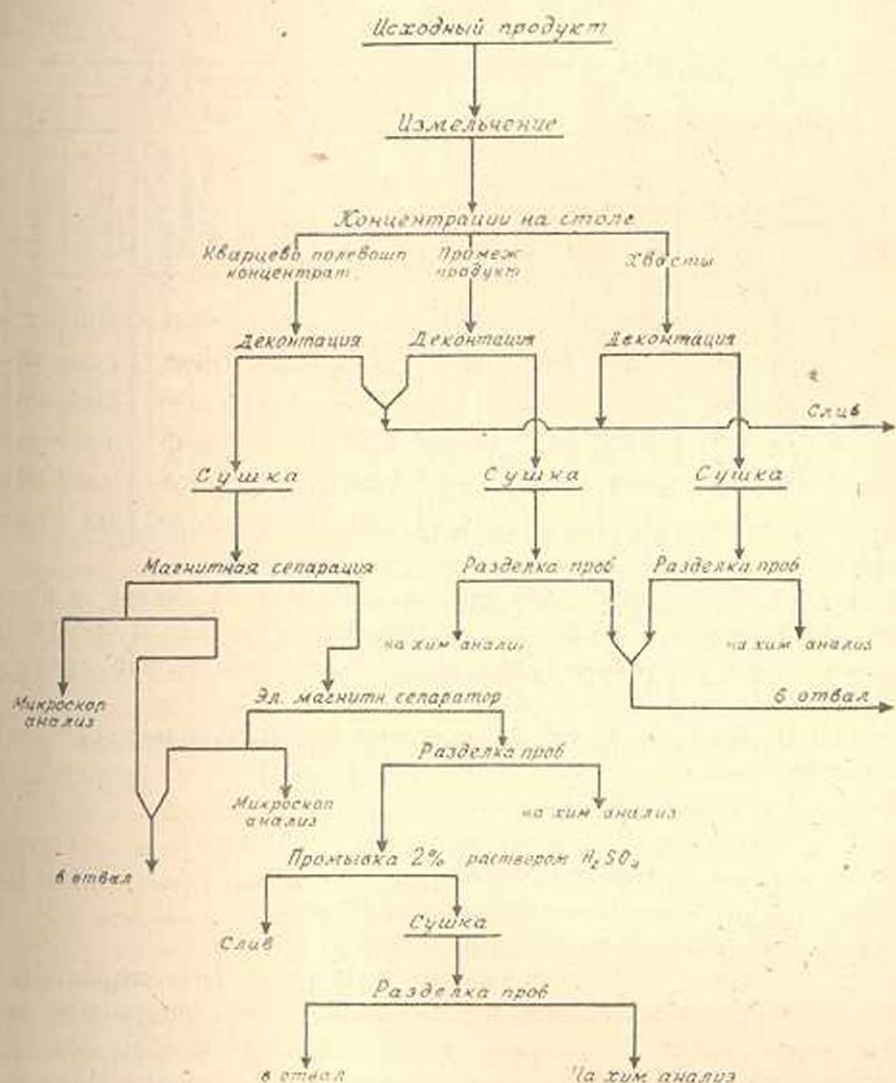


Схема 2.

Исследование на обогатимость кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Эларского месторождения

Опыты по комбинированному методу обогащения имели целью установить оптимальные условия обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков для получения из них кварцево-полевошпатового продукта, пригодного для варки бесцветного стекла.

А. Опыты по измельчению кварцево-полевошпатово-пемзовых песков. Опыты проводились в лабораторной шаровой мельнице „Браунса“ размером 30×30 см.

Навеска для всех опытов бралась весом в 4 кг.

В таблице 5 приведены результаты опытов по определению измельчаемости песков.

Таблица 5

№ п/п	Крупность в мешах (классы)	Измельчение в минутах							
		20		30		40		50	
		Выход в %	Коммутивный выход в %	Выход в %	Коммутивный выход в %	Выход в %	Коммутивный выход в %	Выход в %	Коммутивный выход в %
1	+ 48	30.20	30.20	27.70	27.70	25.40	25.40	22.64	22.64
2	— 48+ 65	17.93	48.13	16.65	44.35	15.20	40.60	13.20	35.84
3	— 65+100	15.20	68.33	13.00	57.55	11.80	52.40	10.90	46.74
4	—100+150	12.87	76.10	10.42	67.77	9.00	61.40	9.04	55.78
5	—150+200	10.40	86.50	8.10	75.87	6.40	67.80	6.50	62.20
6	—200	14.5	100.00	24.10	99.97	32.2	100.00	37.8	100.00

Опыты по определению влияния измельчения песков на результаты отделения кварцевых и полевошпатовых зерен от пемзы проводились при постоянных условиях; изменялось только время измельчения.

Приводим постоянные условия опытов, являющиеся ориентировочно оптимальными:

Навеска пробы—4 кг

Отношение т:ж = 1:6.5

Наклон деки стола 2.5°

Продолжительность опытов 40 минут

Результаты опытов приведены в табл. 6.

На основе результатов опытов по измельчению кварцево-полевошпатово-пемзовых песков и обогащения комбинированным методом можно сделать следующие выводы: тонина помола оказывает достаточное влияние на концентрацию кварцевых зерен, количество которых увеличивается за счет удаления сравнительно большого количества пемзы и полевых шпатов. Очевидно, это происходит за счет разницы твердости пемзы и полевого шпата, с одной стороны, и кварца, с другой.

Хотя уд. вес кварца и различных полевых шпатов почти одинаковый, но, как известно, по твердости они достаточно расходятся (расхождение в твердости между этими минералами по шкале Мооса в среднем определяется единицей). На основании вышесказанного

Таблица 6

Результаты опытов по определению оптимальной тонины помола

№ № опытов	Время измельч. готов. продукта — 200 меш.	№ № п/п	Наименование продуктов	Выход в %	Содержание в %			Извлечение в %		
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
2	20 мин. 14,5% — 200 меш.	1	Кв.-полевошпат. концентрат	85,00	74,90	15,00	0,12	87,13	31,74	1,73
		2	Магнит. и эл.- магн. фракция 1+2	4,40 39,40	22,50 69,04	22,21 15,80	52,10 5,92	1,40 38,53	5,91 37,35	94,30 96,03
		3	Промеж. продукт	22,00	72,50	16,20	0,14	22,59	21,55	1,27
		4	Хвосты	38,60	71,10	17,48	0,17	38,87	40,80	2,70
		5	Исход. продукт	100,00	70,60	16,54	2,43	100,00	100,00	100,00
5	50 мин. 87,8% — 200 меш.	1	Кв. полевошпат. концентрат	80,78	78,10	12,60	0,12	84,08	21,93	1,61
		2	Магнит. и электр. магн. фракция 1+2	4,97 35,75	20,00 70,70	19,50 12,83	44,87 6,34	1,41 35,49	5,80 27,13	91,87 93,88
		3	Промеж. продукт	21,70	70,80	18,58	0,17	22,37	24,38	1,52
		4	Хвосты	42,55	69,88	18,54	0,29	42,18	47,89	5,10
		5	Исход. продукт	100,00	70,60	16,54	2,43	100,00	100,00	100,00

можно предполагать, что при измельчении исходного продукта пемза и полевые шпаты измельчаются лучше, чем кварц. Отсюда вытекает, что так как полевые шпаты подвергаются сравнительно более тонкому помолу, чем кварц, то в процессе обогащения на концентрированных столах тонко измельченные частицы полевых шпатов уносятся водой сравнительно легче, чем оставшиеся относительно более крупные кварцевые частицы, что и подтверждается результатами опытов.

Таким образом, при сравнительно тонком помоле кварцево-полевошпатово-пемзовых песков получается концентрат с более высокими качественными показателями, чем при грубом помоле.

На основании этих данных оптимальную тонину помола можно считать — 48 меш. 100% такого измельчения достигается при измельчении от 60 до 70 минут.

Б. Опыты по определению отношения твердого к жидкому (т:ж) при обогащении кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Элара проводились при постоянстве тонины помола исходного продукта, веса пробы, времени проведения опытов, наклона деки стола; изменялся только расход воды, т. е. отношение твердого к жидкому.

Результаты опытов приводятся в таблице 7. Как видно из табл., опыты № 7 и № 10 проводились в совершенно одинаковых условиях, за исключением расхода воды, разность которого составляет 3,5 м³/тн исходного продукта.

Из сравнения результатов этих опытов ясно видно, что каче-

Таблица 7

Результаты опытов
по определению расхода воды, т. е. отношение твердого к жидкому

№ опыта	Отношение т:ж	№ п/п	Наименование продуктов	Выход в %	Содержание в %			Извлечение в %		
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂
7	1:4,5	1	Кварц.-полево-шпат. концентр.	33,20	75,70	14,90	0,13	36,03	29,91	1,78
		2	Магнит. и электро- магнит. фракция 1 + 2	5,40	23,10	24,00	42,00	1,77	7,85	93,32
		3	Промеж. продукт	38,60	68,00	15,00	6,00	37,83	37,76	95,10
		4	Хвосты	21,80	72,20	17,21	0,19	92,29	22,67	1,70
		5	Исход. продукт	39,60	71,10	17,16	0,20	39,88	39,67	3,20
10	1:8	1	Исход. продукт	100,00	70,00	16,54	2,43	100,00	100,00	100,00
		2	Кварц.-полевошпат. концентрат	30,05	78,93	12,10	0,09	33,53	21,98	1,11
		3	Магнит. и электро- магнит. фракция 1 + 2	5,28	19,70	23,00	43,80	1,47	7,34	95,10
		4	Промеж. продукт	35,33	70,07	13,72	6,61	25,05	29,32	96,21
		5	Хвосты	22,22	73,20	15,45	0,11	23,05	20,76	1,01
		6	Исход. продукт	42,45	69,68	19,45	0,16	41,90	49,92	2,78
		7	Исход. продукт	100,00	70,60	16,54	2,43	100,00	100,00	100,00

ственные показатели опыта № 10 намного лучше показателей опыта № 7; однако выход и извлечение при опыте № 10 ниже, чем при опыте № 7.

Кроме сравнения этих опытов небезынтересно также сравнить результаты опыта № 5 (табл. 6) с опытом № 10 (табл. 7). Как это наглядно видно из данных сравнения, результаты опыта № 10, по сравнению с результатами опыта № 5, являются лучшими. Такое сравнительно небольшое улучшение качественных показателей опыта № 10, очевидно, нужно отнести за счет сравнительно тонкого измельчения исходной пробы опыта № 10. Разница в условиях проведения этих опытов состоит только в расходе воды.

Отсюда приходим к выводу, что для обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков мокрым процессом (на концентрационных столах) необходимо, чтобы измельчение исходного продукта проводилось в пределах — 48 меш. 100% при оптимальном расходе воды от 7,5 до 8 м³/тн исходного продукта.

Приведенный расход воды является общим средним расходом на тонну твердого материала.

В. Опыты по определению поперечного наклона деки стола. Опыты проводились при постоянных условиях: весе пробы, крупности исходного материала и количестве воды (суммарном). Изменялся только поперечный наклон стола. В таблице 8 приводятся результаты опытов по определению фактора поперечного наклона стола. На основании анализа результатов данных опытов по

Таблица 8

Результаты опытов
по определению оптимального наклона деки стола

№ опыта	Угол поперечного наклона стола	№ № п/п	Наименование продуктов	Выход в %	Содержание в %			Извлечение в %		
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
11	1,5°	1	Кварцево-полевошпатовый концентр.	39,25	76,70	14,90	0,16	42,64	35,36	2,58
		2	Магнит. и электромагнит. фракция	4,90	20,40	19,07	42,71	1,42	5,65	85,10
		1 + 2		44,15	70,15	15,36	5,00	44,01	41,01	87,68
		3	Промеж. продукт	22,00	73,00	17,60	0,66	25,73	24,47	5,40
		4	Хвосты	32,85	69,11	17,33	0,52	32,16	34,52	7,02
13	3,5°	5	Исход. продукт	100,00	70,60	15,54	2,43	100,00	100,00	100,00
		1	Кварцево-полевошпатовый концентр.	28,30	81,56	11,48	0,10	32,69	19,64	1,16
		2	Магнит. и электромагнит. фракция	5,35	19,40	21,00	36,57	1,47	6,80	80,52
		1 + 2		33,65	72,03	13,00	6,00	34,16	21,44	31,68
		3	Промеж. продукт	17,80	72,40	17,00	0,51	18,25	16,73	3,73
		4	Хвосты	48,56	69,19	19,34	0,72	47,58	56,78	4,59
		5	Исход. продукт	100,00	70,60	16,54	2,43	100,00	100,00	100,00

установлению наивыгодного поперечного наклона стола можно прийти к следующим выводам:

1. При малом поперечном наклоне (1,5°), как это видно из результата опыта № 11, выход кварцево-полевошпатового концентрата достаточно высокий и качественные показатели, по сравнению с другими опытами, ниже, т. е. содержание SiO₂ низкое, содержание же вредных примесей — Al₂O₃ и Fe₂O₃ — значительно выше, чем при опыте № 13. Это положение достаточно ясно показывает, что при малом наклоне стола частицы пемзы (особенно сравнительно крупные) идут с зернами кварца; этим и объясняется высокий выход концентрата и недостаточно хорошие показатели опыта.

Анализируя результаты проведенных опытов, надо отметить, что сравнительно высокие технологические показатели получены по опыту № 13, проведенному при сравнительно большом наклоне стола, т. е. при 3,5°. Следовательно, для обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков поперечный наклон стола можно принять от 2,5° до 3,5°; в этих пределах разделение кварца и полевых шпатов от пемзы происходит сравнительно лучше.

Суммируя результаты проведенных опытов по Элларскому месторождению, приходим к нижеследующим выводам:

1. Полученные данные одной серии опытов подтверждаются результатами других опытов.

2. Кварцево-полевошпатово-пемзовые пески легко подвергаются обогащению в основном гравитационным методом, т. е. на концентративном столе (см. табл. 6 и 8).

3. Вопрос удаления железа разрешается весьма благополучно.

4. Отделение окиси алюминия по данному методу обогащения вызывает некоторые затруднения. Мы предполагаем, что, по всей вероятности, концентрат содержит в себе значительное количество полевых шпатов, с которыми и связана окись алюминия.

Испытание на обогатимость кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Туманянского месторождения

Обогащение кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Туманянского месторождения, так же, как и испытания Эларских песков, проводилось гравитационным методом обогащения, т. е. концентрацией на столе Вильфлея. Цель и методика обогащения, схема испытания и условия опытов по обогащению туманянских песков те же, что и для эларских, за исключением навески проб, что видно из таблиц 9 и 10.

Опытов по установлению тонины помола по этим пескам не было проведено, так как этот вопрос разрешен попутно, путем ситового анализа. Оптимальной тониной помола можно считать 35—40%—200 меш.

В таблице 9 приводятся результаты двух опытов по установлению оптимального расхода воды.

В проведенных опытах над песками Туманянского месторождения все факторы—навеска проб, время и угол поперечного наклона деки стола—являются постоянными. Переменным фактором является расход воды, установление которого и являлось целью опытов.

Результаты опытов
по определению оптимального расхода воды

Таблица 9

№ опыта	Расход воды на т/прод.	№ № п/п	Наименование продуктов	Выход в %	Содержание в %			Извлечение в %		
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
15	6,5 м ³ /т	1	Кварцево-полевошпат. концентрат	30,00	80,20	12,74	0,11	39,66	30,03	3,33
		2	Магнит. и электромагн. фракция 1 + 2	9,40	21,00	23,00	30,84	0,98	5,12	88,05
		3	Промеж. продукт	39,40	75,00	13,62	2,76	40,64	35,15	91,38
		4	Хвосты	21,00	73,60	16,78	0,15	21,23	23,08	2,64
		5	Исход. продукт	39,60	70,10	15,11	0,18	38,13	41,77	5,98
18	10 м ³ /т	1	Кварцево-полевошпат. концентрат	100,00	72,80	15,27	1,19	100,00	100,00	100,00
		2	Магнит. и электромагнит. фракция 1 + 2	30,00	82,40	12,30	0,10	33,95	24,17	2,52
		3	Промеж. продукт	2,80	17,60	16,50	35,45	0,67	3,01	83,42
		4	Хвосты	32,80	76,50	12,66	3,11	34,62	27,18	85,94
		5	Исход. продукт	23,00	74,00	17,10	0,17	23,38	25,76	3,29
		1	Кварцево-полевошпат. концентрат	44,20	69,15	16,25	0,29	41,99	47,06	10,77
		2	Магнит. и электромагнит. фракция 1 + 2	00,00	72,80	15,27	1,19	100,00	100,00	100,00
		3	Промеж. продукт	23,00	74,00	17,10	0,17	23,38	25,76	3,29
		4	Хвосты	44,20	69,15	16,25	0,29	41,99	47,06	10,77
		5	Исход. продукт	00,00	72,80	15,27	1,19	100,00	100,00	100,00

Примечание: цифры по расходам воды являются суммарными, т. е. сюда входит оmyающая вода.

Как видно из результатов данных опытов (табл. 9): 1. с уменьшением количества воды сравнительно увеличивается выход тяжелой фракции (концентрата); 2. увеличение выхода концентрата вызывает ухудшение его качеств.

Если по опыту № 15 при расходе воды $5,5 \text{ м}^3/\text{тн}$ материала выход концентрата составляет 36% , а содержание SiO_2 $80,2\%$, Al_2O_3 $12,74\%$ и Fe_2O_3 $0,110\%$, то по опыту № 18 при расходе воды $10 \text{ м}^3/\text{тн}$ материала выход концентрата равен 30% , т. е. на $6,0\%$ меньше; зато качественные показатели здесь сравнительно высокие: содержание SiO_2 $82,4\%$, Al_2O_3 $12,3\%$ и Fe_2O_3 $0,1\%$. Следовательно оптимальным расходом воды для данных песков можно считать $9,5-10 \text{ м}^3$ на тонну исходного продукта, измельченного до 35% —200 меш.

Опыты по определению поперечного наклона деки стола для песков Туманянского месторождения. За исключением поперечного наклона деки стола, остальные факторы являлись постоянными. Из серии проведенных опытов здесь приводим результаты одного опыта (таблица 10).

Сравнивая результаты этого опыта с результатами опытов с эларскими песками, мы должны констатировать аналогичность выводов, полученных в обоих случаях. Однако, необходимо отметить, что пески Туманянского месторождения дают сравнительно более высокий процент выхода концентрата, чем эларские пески, что объясняется большим содержанием в них зерен кварца и полевых шпатов.

Таблица 10

Результат опыта по определению
оптимального поперечного наклона деки стола

№ опыта	Угол поперечного наклона деки стола	№ п/п	Наименование продуктов	Выход в %	Содержание в %			Извлечение в %		
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
24	3,5	1	Кварцево-полевошпатовый конц.	34,48	83,10	10,70	0,065	89,36	24,17	1,92
		2	Магнитная и электромагнит. фракция	2,60	16,40	17,10	40,59	0,59	2,91	88,69
		1 + 2		37,08	77,58	11,03	2,88	39,95	27,08	90,61
		3	Промежут. продукт	19,07	74,30	18,30	0,15	19,46	23,24	2,40
		4	Хвосты	43,85	67,40	17,30	0,19	40,59	49,68	6,99
		5	Исходный продукт	100,00	72,80	15,27	1,19	100,00	100,00	100,00

На основании полученных результатов для тумаянских песков так же, как и для эларских, наивыгодным поперечным наклоном стола можно считать угол 3.5° .

Промывка концентратов

Согласно схеме № 2 полученные концентраты из отдельных опытов подвергались промывке в 1.5–2.0% растворе различных кислот. Сущность опытов заключалась в обработке обогащенного песка смесями реактивов с отношением т:ж = 2:1, при различных жидких смесях на протяжении от 10 до 90 минут.

Наилучшие результаты были получены при обработке щавелевой кислотой. Однако, из-за отсутствия в нашем распоряжении достаточного количества этой кислоты, условия обработки ею концентрата не были уточнены. Кроме щавелевой кислоты для обработки применялась и серная кислота, для которой уточнены условия обработки, т. е. влияния концентрата, времени и температуры раствора. С применением серной кислоты наилучшие результаты получаются при условии т:ж = 2:1, времени промывки в среднем = 70–80 минут, при температуре раствора от 75 до 80°C . При этих условиях тщательно проведенные опыты по обезжелезиванию дали следующие результаты (табл. 11).

Таблица 11

№	Наименование продукта	Химический состав						
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO
1	Кварцево-полевошпатовый концентрат песков Эларского месторождения	79.79	—	12.49	0.08	—	1.25	—
2	Кварцево-полевошпатовый концентрат песков Тумаянского месторождения	80.00	—	11.35	0.054	не обн.	1.22	не обн.
3	—	79.85	—	11.88	0.05	не обн.	1.16	не обн.
								0.53

Кроме описанных методов обогащения проводилось также несколько опытов по флотации песков; однако, эти опыты не дали положительных результатов и данные по ним не приводятся.

Сравнивая полученные результаты по Эларскому и Тумаянскому месторождениям, можно отметить, что лучшие результаты дали кварцево-полевошпатово-пемзовые пески Тумаянского месторождения. Для большей наглядности в табл. 12 приводятся данные лучших опытов по обогащению песков Эларского и Тумаянского месторождений, проведенных в совершенно одинаковых условиях.

Таблица 12

Наименование продукта	Выход		Содержание в %			Произведение выхода на содер- жание в %			Извлечение в %		
	в гр	в %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Кварцево-поле- вошпатовый концентрат Эларского месторожде- ния. Опыт 13. Условия опы- та 3,5°	1182.0	23.80	81.56	11.48	0.10	923.26	129.95	1.13	82.69	19.64	1.15
Кварцево-поле- вошпатовый концентрат Туманянского месторожде- ния. Опыт 24. Условия опы- та 3,5°	172.4	84.48	83.10	10.70	0.086	143.26	18.45	0.114	63.36	24.17	1.92

Как видно из приведенных в табл. 12 результатов, хотя абсолютное содержание окислов алюминия и железа в концентрате из туманянских песков значительно ниже, чем в эларском концентрате, однако извлечение Al_2O_3 и Fe_2O_3 из концентрата туманянских песков выше, чем из концентрата эларских песков. Повидимому, это нужно объяснить более низким содержанием окислов алюминия и железа в исходном продукте Туманянского месторождения. Кроме того, небезынтересно будет привести, некоторые сравнительные данные.

1. Сравнивая результаты отдельных опытов по определению тонины помола нетрудно заметить, что опыты с большим временем измельчения дают лучшие результаты. Для этого достаточно взять результаты опытов № 4 и № 5, где разница во времени измельчения составляет всего 10 минут, а разница по продукту 200 меш—5.6%.

Если при опыте № 2 концентрат составляет 31.749%, то содержание $SiO_2=74.9\%$, $Al_2O_3=15.0\%$ и $Fe_2O_3=0.12\%$, при опыте же № 5 выход концентрата 30.78%, содержание $SiO_2=78.18\%$, $Al_2O_3=12.6\%$ и $Fe_2O_3=0.12\%$.

Приведенные цифры достаточно ясно подтверждают, что лучшие результаты получаются при сравнительно тонком помоле исходного продукта.

На основании полученных результатов автор приходит к заключению, что при тонком помоле исходного сырья получается концентрат с лучшими показателями (схема 3).

2. Из анализа результатов опытов по определению расхода воды можно прийти к следующим выводам:

а) расход воды для данных песков определяется в среднем 8—10 м³/тн исходного сырья и

б) чем тоньше (мельче) материал, тем больше увеличивается расход воды, а производительность стола падает.

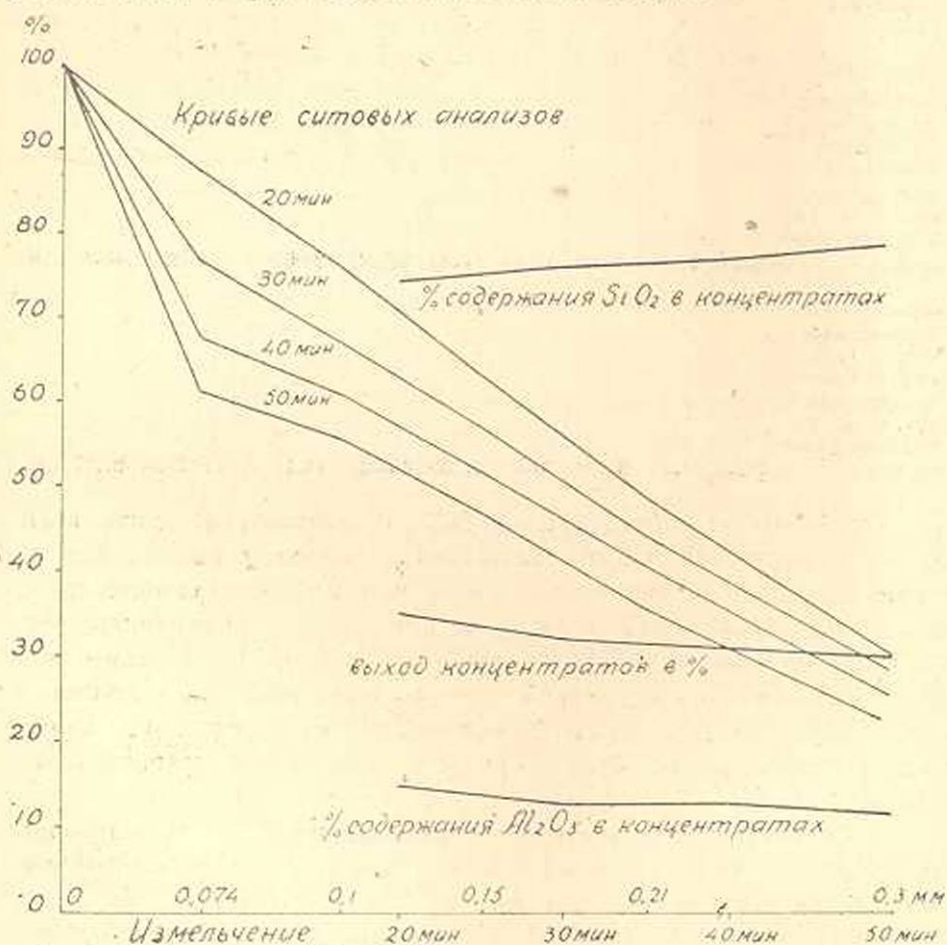


Схема 3. Содержания SiO_2 и Al_2O_3 в кварцево-полевошпатовых концентратах, их выходы и извлечение в зависимости от времени измельчения.

На основании проведенных опытов и анализа полученных результатов в основном можно прийти к выводам, что кварцево-полевошпатово-пемзовые пески подвергаются обогащению легко. Наилучших результатов можно достигнуть при тонине помола исходного продукта до 35—40%—200 меш, расходе воды (общем) 8—10 м³/тн исходного продукта и при поперечном наклоне деки стола от 2,5—3,5°. При этих условиях разделение исходного продукта по фракциям происходит достаточно хорошо. Дальнейшая обработка на электромагнитном сепараторе продуктов обогащения протекает достаточно успешно. Например, если по Элару содержание окислов железа в исходном продукте составляет 2,43%, то в продуктах обогащения оно достигает в легкой фракции (хвостах) максимум 0,3%.

в средней фракции (промежуточном продукте) максимум 0.2—0.23% и в тяжелой фракции (концентрате) от 0.07 до 0.15%.

Таким образом все три фракции обогащения песков с успехом могут применяться для стекольной промышленности с целью получения различных сортов изделий. Для большей ясности изложенного необходимо уяснить, что эти продукты минералогически представляют собой:

а) Хвосты или так называемая легкая фракция — представлена в основном (95—98%) тонко измельченной пемзой мелочью. В процессе обогащения продукт, как указывалось выше, в достаточной мере очищается от железа и при варке из него можно получить достаточно бесцветное стекло (стекло—тара).

б) Промежуточный продукт или так называемая средняя фракция — представляет собой смесь 3-х основных компонентов: пемзовых частиц (около 60—70%), полевых шпатов (около 15—20%) и кварца (10—15%)*. По сравнению с исходным продуктом содержит, как и первый продукт, значительное количество железа и может служить хорошим сырьем для стеклотарных заводов. При лучшей же организации технологии обогащения можно получить более лучшего качества продукт, могущий идти и для других видов стеклянных изделий.

в) Тяжелая фракция — кварцево-полевошпатовый концентрат. Состав фракции: кварца 30—40%, полевого шпата 50—60% и различных железосодержащих минералов около 5%.

Железосодержащие минералы исходного продукта в основном (90—95%) концентрируются в последней (тяжелой) фракции и удаляются из него электромагнитной сепарацией. Цель обогащения песков заключается именно в получении последней фракции, т. е. кварцево-полевошпатового концентрата с высоким содержанием SiO_2 и меньшим содержанием Fe_2O_3 , а также в обезжелезнении первых (легкой и средней фракций). На наш взгляд данная задача в основном разрешена положительно, как это доказывают приведенные в таблицах данные.

Что касается содержания алюминия, то оно связано с наличием в этом продукте достаточно большого количества (50—60%) полевых шпатов. В случае, если окись алюминия будет препятствовать при технологическом процессе варки стекла, ее можно обезвредить двумя способами: во-первых, при варке стекла из этого материала можно будет составить соответствующую шихту с учетом внесения в него сравнительно большего количества щелочей (сода) и, во-вторых, возможно в технологию обогащения включить еще флотацию.

* Эти соотношения минералов легко могут быть изменены в процессе обработки при обогащении на концентрационном столе. Достаточно изменить один из действующих факторов обогащения — соответственно изменятся приведенные процентные соотношения этих минералов.

С целью увеличения в кварцево-полевошпатовых концентратах содержания кремнезема и снижения глинозема можно было бы произвести опыты по отделению полевых шпатов от кварца. Однако, для этого необходимо прибегать к помощи флотационного и электростатического методов.

Включение в технологическую схему промышленной обогатительной фабрики процесса флотации вполне возможно, ибо он на стоимости обогащения почти не отразится, т. к. количество продукта, подлежащего флотации, весьма незначительно и может быть обеспечено одной небольшой, механического типа, флотомашинной „MS“ или Фаренвальда. При этом исходным продуктом флотации будет служить кварцево-полевошпатовый концентрат, полученный путем обогащения на концентрационном столе с достаточно высоким (50—60%) содержанием полевого шпата. Для разделения такого продукта процесс флотации можно вести двумя путями: путем депрессии кварца соответствующими депрессорами (силикатом натрия и др.), при этом можно воспрепятствовать флотации кварца и флотировать полевой шпат или, наоборот, активировать кварц при помощи целого ряда солей, содержащих, главным образом, ионы железа, меди, свинца, бария, кальция и др. В этом случае необходимо воспрепятствовать флотации полевых шпатов путем их депрессии соответствующими депрессорами.

На основании проведенных исследований разработана технологическая схема обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Эларского месторождения (схема 4).

З а к л ю ч е н и е

Исследование кварцево-полевошпатово-пемзовых песков на обогатимость проведено в основном одним комбинированным методом (концентрация на столе, магнитная сепарация и промывка подкисленным раствором).*

Цель настоящего исследования—выяснение вопросов методики и возможности обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков Эларского и Туманянского месторождений (в основном выделение железа)—как видно из статьи, в основном получило свое положительное разрешение.

* Из-за отсутствия в лаборатории соответствующей установки по воздушному обогащению, а также другого оборудования по мокрому процессу (отсадочная машина, мокрая классификация и другие), лаборатория не имела возможности проводить опыты для получения сравнительных данных и выяснения возможности обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков по этим методам. Однако, принятый метод, по мнению автора, имеет большое преимущество перед воздушной и мокрой классификациями.

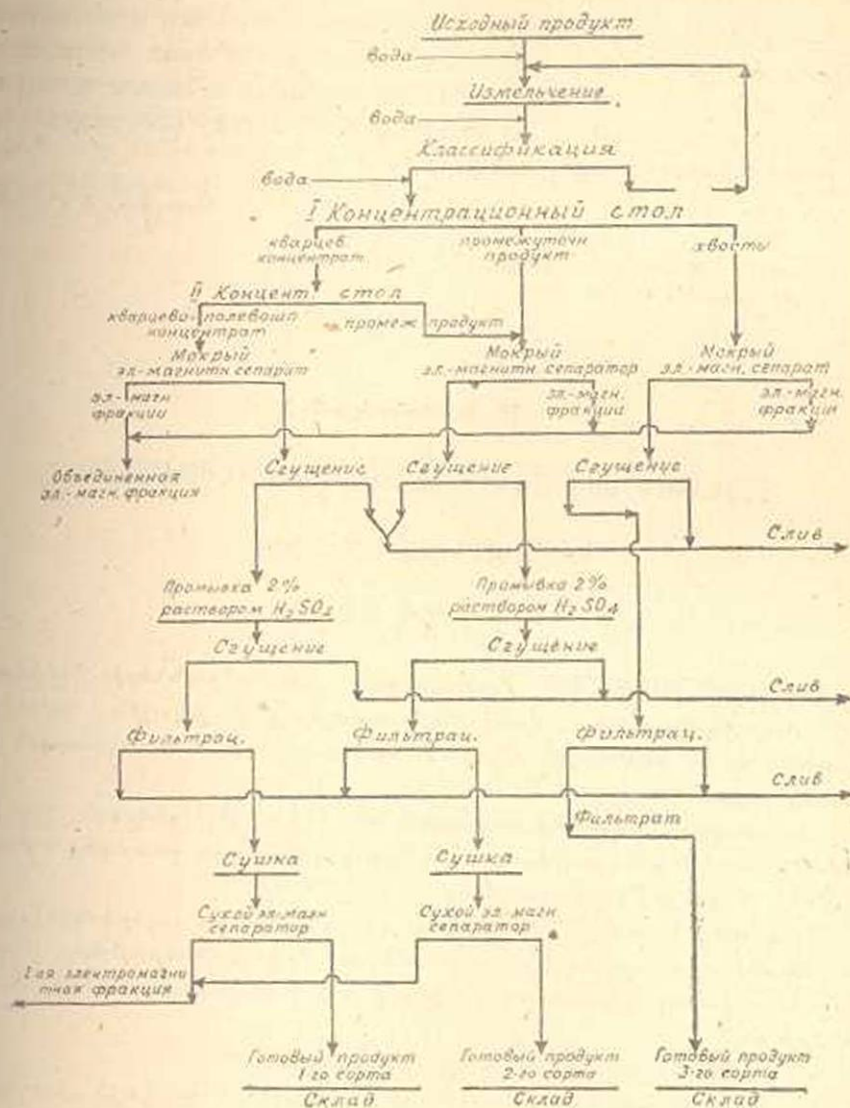


Схема 4. Качественная схема обогащения кварцево-полевошпатово-пемзовых песков.

На основании полученных результатов можно сказать, что кварцево-полевошпатово-пемзовые пески после обогащения по предлагаемой схеме автора с успехом могут служить достаточно доброкачественным сырьем для стекольных заводов. Выводы автора базируются не только на результатах, приведенных в статье, но также и на проведенных двух опытных лабораторных варках стекла из продуктов обогащения, давших хорошие результаты.

Для расширения сырьевой базы и более детального изучения

технологии обогащения необходимо в ближайшее время, параллельно с постройкой обогатительной фабрики, проводить поисково-разведочные и разведочные работы с целью увеличения промышленных запасов кварцево-полевошпатово-пемзовых песков и поставить несколько серий опытов по воздушному методу обогащения для получения сравнительных данных.

Поступило 5 XI 1948.

Институт Геологических Наук
Академии Наук Арм. ССР.

Մ. Ս. Սահակյան

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԲՎԱՐՑ-ԴԱՇՏԱՇՊԱԹԱՅԻՆ-ՊԵՄՁԱՅԻՆ

ԱՎԱՋՆԵՐԻ ՀԱՐՍՏԱՑՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հայկական ՍՍՌԻ ԳԱ Գեոլոգիական Գիտությունների Ինստիտուտում ուսումնասիրված քվարց-դաշտաշաթային-պեմզային ավազները հարստացման են ենթարկվել նույն Ինստիտուտի գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

Հարստացման փորձերը կատարվել են երեք մեթոդներով՝ Դիլֆելյի սեղանի վրա կոնցենտրացմամբ, էլեկտրադինաական դաշտում և թթվային թուլ լուծույթներով լվանալով:

Ավազները նախապես մանրացվել են, ապա փոխադրվել կոնցենտրացման սեղանի վրա, որտեղ նրանց կազմի մեջ մտնող միներալները, շնորհիվ իրենց տեսակարար կշիռների տարբերություն, համախմբվել են երեք ֆրակցիաների մեջ՝

- ա) թեթև ֆրակցիա կամ մաքուր պեմզա,
- բ) միջին ֆրակցիա — քվարցի, դաշտաշաթի և պեմզայի խառնուրդ (միջանկյալ պրոդուկտ),
- գ) ծանր ֆրակցիա — քվարց-դաշտաշաթային կոնցենտրատ երկաթ պարունակող միներալներով:

Միայն ծանր ֆրակցիան է ենթարկվում էլեկտրադինաական դաշտում, որի հետևանքով առավելագույն չափով նրանից հեռացվում են երկաթի օքսիդները: Այդ կոնցենտրատը երկաթի օքսիդներից էլ ավելի մաքրելու համար լվացվում է նոսր (2 %) ծծմբական թթվով և ապա ենթարկվում չորացման:

Մի շարք փորձերով հաստատված է ավազների հատիկների օպտիմալ մեծությունը (մանրացնելուց հետո), կոնցենտրացման սեղանի դեկի ընդլայնական թեքությունը, ջրի ծախսը, կարժրի և հեղուկի հարաբերությունը (T:Ж) և այլն:

Մի ամբողջ շարք փորձերի հիման վրա հեղինակը մշակել է քվարց-դաշտաշավաթային-պեմզային ավազների հարստացման տեխնոլոգիական սխեման: Այդ սխեմայով կատարվող հարստացման հետևանքով ստացվող քվարց-դաշտաշավաթային կոնցենտրատը հաջողութեամբ կարող է օգտագործվել որպես հումք թափանցիկ ապակի ստանալու համար: Այս եղրակացութեանը հիմնավորվում է կոնցենտրատի լաբորատոր ուսումնասիրում կատարված երկու փորձնական հալման վրա, որոնք տվել են լավ արդյունք:

ЭКОНОМИКА

К. Х. Вермишев

**Развитие стекольной промышленности
 в Армянской ССР**

В Армении стекло было известно за много веков до нашего времени, о чем свидетельствуют исторические памятники старины. Так, например, при раскопках Урартского города-крепости Кармир-Блур, построенного еще в VII веке до нашей эры, встречается привозное стекло. В последующие века в литературных источниках упоминается производство стеклянных изделий в начале IV века нашей эры в Вагаршапате. Стекло было обнаружено также при раскопках Двина (VI—VII века) и Анбердского замка-дворца IX века, где обнаружены туалетные флаконы из расписного египетского стекла. Раскопки дворца в Ани (X век) обнаружили здесь стеклянные люстры. Установлено, что в лавках этого древнего города торговали флаконами для духов и для хранения ртути. В описании Гегартского монастыря, построенного в середине XIII века, упоминается украшение его сводов зеркалами и т. д.

По более поздним сведениям Шопена, в первой половине XIX века в Армянской области имелось производство стекла: ...«Стекланный завод, бывший в Эривани, ныне уничтожен. Об этом заведении, как и о всех прочих, существующих в Азии, должно иметь особое мнение, устраняя всякое понятие об обширности и благоустройстве, сопровождающих подобные заведения в Европе. Стекланный завод, открытый в Эривани по образцу персидских, отличался особенным устройством: печка имела вид корыта, покрытого сводом из трубочной глины; смешанная с пережженными в порошок костями, преимущественно лошадиных копыт, масса сплавлялась не в горшках, а просто в этом корыте; огонь проходил сверху, между массой и сводом. Каждая варка, продолжавшаяся обыкновенно четыре дня, заключала в себе до 25 пудов [стекла и требовала 2,5 куб. сажени дров. Работа начиналась в пятый день; проворный мастер легко возделывал в день по 100, 150 и до 200 штук стекланный посуды. Персидское стекло не чисто и наполнено пузырями; формы изделия показывают в одно время и младенчество и неопытность производителя: неумение сушить стекло делает его чрезвычайно хрупким. Масса для стекла изготовлялась посредством смеси, по равной части кварцевого песка и соды, с прибавлением некоторой части марганца.

Персидские мастера умеют придавать стеклу до семи цветов: малиновый, красный, розовый, синий, голубой, зеленый и оранжевый. Совершенно белое стекло получается при употреблении поташа. Песок добывался из кварцевых валунов, собираемых в реках и измельченных в ручных ступах.

Нельзя не сожалеть о том, что в целом Закавказском крае до сего времени нет еще стекольного завода: подобное заведение поощряло-бы виноделие.*

Были попытки организовать производство стекла в Армении также и в более близкие времена. Так, например, до первой мировой войны недалеко от с. Калинина (б. Воронцовка), на базе Шахназарских кварцитов, по некоторым утверждениям, кустарно производились стеклянные изделия. „Завод“ этот вскоре прекратил свою деятельность и был заброшен.

Известно также, что в 1918 году одним из Бакинских рыбопромышленников предполагалось построить в Караглисе (ныне Кировакан) стекольный завод.

Все эти начинания в области стекольного производства остались без результатов и лишь после установления Советской власти в Армянской ССР эта отрасль получила свое развитие.

Отсутствие изученного сырья и крайняя ограниченность топливных ресурсов в первые годы тормозили организацию в Армянской ССР стекольной промышленности, отражаясь на связанных с ней развивающихся отраслях народного хозяйства.

В поисках местного сырья ВСНХ Армянской ССР еще в 1927—28 г. г. была установлена возможность получения стекла из пемзы, недостатком которой являлось высокое содержание в ней не отделимых окислов железа, что позволяло производить лишь темное стекло.

Опытные варки стекла из пемзы были вначале произведены в Германии Л. Спригером, который пришел к заключению, что пемза в Армении, вследствие своей высокой тугоплавкости, является мало подходящим материалом по сравнению с Рейнской пемзой.

Это утверждение было опровергнуто в 1928—29 г. г. работами проф. И. И. Китайгородского и С. В. Родина, получивших положительный результат варки стекла из более „жестких“ составов, со значительно большим содержанием пемзы и меньшим содержанием щелочей на хрустальном заводе им. М. И. Калинина, на заводе „Изолятор“, „ГЭТ“а и на Минераловодском стекольном заводе при ручном производстве; вопрос же использования сырья в машинном производстве составлял задачу дальнейших исследований.

Выводы по этой работе, опубликованные в трудах Института Силикатов* показали, что пемзы и обсидиан Армении вполне могут

* И. И. Китайгородский и С. В. Родина—Пемзы и обсидиан Армении, как сырье для стеклоделия. Изд. НТУ ВСНХ, Москва, 1929 г.

быть использованы для стекловарения при ручном производстве в количестве от 71 до 77% от веса шихты и что изготовленные образцы бутылок, подвергнутые испытанию на термическую прочность, выдержали условия более жесткие, чем предусматриваемые нормами технического испытания темной бутылки (выдержали разность температур $+13 \div +93^\circ$).

Отличные результаты дало также испытание на сопротивляемость механическим воздействиям: на удар (до $0,0707 \text{ кгс/м}$) и разрыв (до 19.1 атм. внутр. давления).

Положительные результаты испытаний показали, что стекло из пемзы и обсидиана по своим качествам превосходит обычное бутылочное стекло.

Несмотря на вывод, что пемзы и обсидиан Армении вполне могут быть применены для стекловарения при ручном производстве, вопрос топлива задерживал практическое использование этого сырья в Армянской ССР, и техническая мысль упорно искала способа применения для плавки стекла достаточной в Республике электроэнергии.

Многолетняя работа в этой области увенчалась крупным успехом — впервые в СССР был найден и практически внедрен в производство электролитический метод варки стекла, разработанный М. А. Бабаджанян, В. С. Минасяном и Ф. С. Энтелисом, удостоенных в 1948 году Сталинской премии.

На базе этого технического усовершенствования в Ереване впервые возникли в сравнительно небольшом масштабе производства оконного стекла, консервной тары и хозяйственной посуды, причем для получения светлого стекла кварцевые пески завозились из Авдеевки (Донбасс) и Ачинска (Дагестанская АССР).

Необходимость дальнего завоза песков лимитировала масштабы и характер стекольного производства, все еще недостаточно обеспечивающего потребность народного хозяйства Армянской ССР в изделиях этой отрасли промышленности.

Изложенное, а также частые перебои в завозе кварцевых песков, высокая стоимость их перевозки, излишняя загруженность железнодорожного транспорта и ряд других причин побудили научных работников Республики усиленно продолжать под руководством директора Института Геологических наук Академии Наук Арм. ССР тов. Демехина А. П. поиски и исследования местного сырья, пригодного для производства светлого стекла.

В 1947 году работа Института Геологических Наук увенчалась первыми успехами: опытами, произведенными зав. обогатительной лабораторией Института т. Саакяном М. С. было установлено, что некоторые из имеющихся в Республике пемзовых песков поддаются обогащению с отделением кремнезема и удалением окислов железа.

Ввиду значительного выхода из них кварцевых зерен, эта раз-

новидность пемзы была названа кварцево-пелешовитово-пемзой, или сокращенно кварцево-пемзой.

В целях определения возможной сырьевой базы геологом А. Е. Кочаряном были предварительно обследованы Кармир-Ахегинское, Мегрутское, Каринджское, Айгехатское и Тумаинское месторождения кварцево-пемзовых песков, а горным инженером М. С. Саакяном были подвергнуты обогащению эти, а также Эларские пески.

Из обследованных месторождений было признано необходимым в первую очередь детально изучить как располагающее наибольшими запасами и как находящееся ближе остальных к местам потребления — Эларское месторождение.

По данным Саакяна (см. предыдущую статью в настоящем номере), в результате обогащения Эларских песков на концентрационном столе Вильфлея, исходное сырье разделилось на три основные фракции. Каждая фракция затем прошла мокрую электромагнитную сепарацию, частичное сгущение, промывку раствором серной кислоты, фильтрацию, сушку и сухую электромагнитную сепарацию, после чего были получены продукты, пригодные для производства различных сортов и видов стеклянных изделий.

Характеристика продуктов обогащения следующая:

Наименование фракций	Выход в %/о	Содержание в %/о ² /а		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Тяжелая (концентрат)	28,30	81,56	11,48	0,10
Средняя (промеж. продукт)	17,83	72,40	17,00	0,51
Легкая (хвосты)	48,55	69,19	19,34	0,72
Магнитная	5,85	19,40	21,00	36,57
Исходный продукт	100,00	70,60	16,54	2,43

В отдельных пробах содержание окислов железа в концентрате доходило до 0,05 %/о.

Для сравнения укажем, что пески, завозимые в Ереван, по данным Ереванского Муллитового завода, имеют следующее содержание окислов железа: Авдеевские (Донбасс) от 0,11 до 0,22 %/о, Ачинские (Дагестанская АССР) от 0,15 до 0,31 %/о.

Содержание глинозема в этих песках составило в среднем 1,5 %/о.

Положительным фактором кварцево-пемзовых песков Армянской ССР является также содержание в них 6—7 %/о соды и поташа, почти отсутствующих в обычных кварцевых песках. Это дает значительную экономию в расходовании щелочей, применяемых при стекловарении, придавая серьезное преимущество настоящему сырью. Так, например в опытных варках пемзы, произведенных Ки-

тайгородским, в шихту вводилось лишь от 7 до 11 % сульфата и соды.

Полученные результаты обогащения позволили технологам утверждать, что кварцево-пемзовые пески хорошо обогащаются, окислы железа удаляются без особых затруднений; при необходимости во всех трех фракциях можно снизить содержание окиси алюминия и дополнительно уменьшить содержание окислов железа.

Из полученного в результате обогащения концентрата Ф. С. Энтелисом и М. С. Саакяном в лабораторных условиях в Ереване была проведена в 1947 г. опытная варка нового сырья, которая по Энтелису является отличным материалом для производства практически бесцветного стекла с „игрой“ граней близкой к хрусталу, без применения каких-либо обесцвечивателей или свинца.

Одобрив успешно проведенную Академией Наук Республики первую стадию работ по изысканию местного сырья и по исследованию возможности получения из него путем обогащения высококачественного кварцевого песка для стекловарения, Совет Министров Армянской ССР обязал Армянское Геологическое Управление произвести топографическую съемку и разведку Мегрутского, Туманянского и Эларского кварцево-пемзовых месторождений, а Институт Геологических Наук Академии Наук Армянской ССР произвести углубленное исследование технологии обогащения и составить проектное задание обогатительной фабрики.

Решение это было выполнено полностью: в частности в 1948 году, после магнитной сепарации Механобром посланного в Ленинград Эларского кварцево-пемзового песка, инж. Энтелисом в полув заводских условиях на Ленинградской Деминской зеркальной фабрике была произведена варка представленного Институтом Геологических Наук сырья. Шахты при указанной варке применялись следующие (считая на 100 кг стекломассы).

	I	II
Песок	79,0	79,0
Мел	13,4	16,0
Сода 100%	19,5	19,5
Поташ 100%	3,3	2,6
Сульфат 80%	1,0	1,0
Селитра	0,8	0,8

Составы стекол, вычисленные по шихтам, были следующие:

	I	II
SiO ₂ . .	60,0	60,0
Al ₂ O ₃ . .	12,05	12,05
CaO . .	8,52	9,0
Na ₂ O . .	12,0	12,0
K ₂ O . .	7,54	7,0
	<u>100,11</u>	<u>100,05</u>

Шихта № 1 оказалась более подходящей для варки стекла (достаточно хорошо варилась и очищалась и дала стекло удобное к выработке).

Для обесцвечивания применялись селен и окись кобальта.

Несмотря на то, что послезиное в Ленинград сырье было неудовлетворительно обогащено (содержание Al_2O_3 —15,20% и Fe_2O_3 —0,14%), произведенные Энтелисом испытания, позволили ему вновь подтвердить свои первоначальные выводы, указав в отчете от 31 августа 1948 года что „Обогащенные кварцево-пемзовые пески по своему основному химическому составу, а также по гранулометрическому составу, вполне пригодны для производства сортовой стеклянной посуды, колб для электроламп, оконного стекла, стекляннной тары и т. д.

Будучи обогащенным до содержания окислов железа—0,07%, песок может оказаться ценным сырьем для варки хрусталя.

Высокое содержание глинозема в сырье не является препятствием для его применения в стекольном производстве—ручном или механизированном. Наличие глинозема в стекле придает ему ряд ценных свойств, а в тех случаях, когда эти свойства (напр. повышенная вязкость) оказываются для какого-нибудь данного технологического процесса нежелательными, можно путем соответствующего подбора и расчета шихты уменьшить или даже полностью ликвидировать влияние глинозема на характер стекла.

Сырье вполне пригодно также и для производства любых цветных сортов стекол.“

Из изученных к изстоящему времени месторождений кварцево-пемзовых песков наиболее крупным является Эларское, которое предложено для первоочередной эксплуатации. Оно находится в 15 км к северо-востоку от Еревана и в 1,5 км к востоку от шоссе Ереван—Севан, у трассы строящейся железной дороги.

По данным геолога А. И. Месропяна, производившего разведку месторождения, шурфовыми работами здесь были вскрыты и описаны три залежи белых кварцево-пемзовых песков. Наиболее крупная и перспективная залежь расположена в восточной части, средняя—в западной части, а третья—за пределами селения Элар, на проселочной дороге, ведущей к шоссе Ереван—Севан.

Мощность залежи месторождения составляет в среднем около 8 м, колеблясь в пределах от 0,5 до 11 м.

Мощность наносов (от 0,4 до до 3,5 м) заметно увеличивается по направлению к центральной части села. Незначительная мощность наносов позволяет организовать здесь открытую добычу. В восточной части села залежь кварцево-пемзового песка ныне разрабатывается в широком масштабе для нужд строительства.

Территориальная комиссия запасов Армянского Геологического Управления в мае 1948 года (протокол № 6) утвердила запасы этого

месторождения в размере 518,2 тыс. тонн в том числе по категориям:

1. Белые полевошпатово-кварцевые пески:

A_2 —195,2 тыс. тн, B —139,3 тыс. тн. Всего 334,5 тыс. тн.

2. Окрашенные кварцево-пемзовые пески:

B —73,7 тыс. тн, C_1 —110,0 тыс. тн. Всего 183,7 тыс. тн.

Необходимо напомнить, что, как утверждают геологи, ресурсы кварцево-пемзовых песков в Армянской ССР не исчерпываются Элларским месторождением и для дальнейшего расширения сырьевой базы стекольной промышленности необходимо форсированно продолжать научно-исследовательские работы по остальным известным месторождениям, а также провести в широком масштабе поисковые работы на содержание кварца в других многочисленных скоплениях пемзовых песков Армянской ССР. В частности, помимо перспективных, упомянутых ранее пяти месторождений, где содержание Al_2O_3 колеблется от 11,94 до 15,07% и Fe_2O_3 от 0,65 до 0,94%, необходимо проверить также такие месторождения пемзы, как Чирахлинское, Капанакское, Фонтанское и др.

Естественно, что для окончательных выводов требуется проверка этих песков на обогатимость, определение количества и однородности их запасов, условия залегания, транспортных и технико-экономических условий.

Из приведенных данных усматривается что пемзовое сырье Армянской ССР многим лучше применяемой в Германии для стекловарения рейнской пемзы, содержащей в высушенном виде: Al_2O_3 —20,1% и Fe_2O_3 —3,5%.

На основании полученных результатов разведки и обогащения, а также варки стекла, автор настоящего сообщения, при консультации инж. Энтелиса представил руководству доклад о возможном развитии стекольной промышленности в Республике, примерная схема которого представляется в следующем виде (см. схему на след. стр.).

Вопрос этот был обсужден в соответствующих общесоюзных органах и уже в 1947 году Министерством Промышленности Средств Связи СССР была направлена в Ереван бригада специалистов для определения возможности строительства в Армянской ССР завода осветительных электрических ламп (а также завода радиоприемников). Кроме того, от министерств Промышленности Строительных Материалов и Легкой Промышленности СССР поступили запросы с просьбой выслать им технико-экономические показатели для решения вопроса возможности строительства в Армянской ССР фабрики обогащения кварцево-пемзовых песков, сортовой посуды и хрусталя.

Разработанное в дальнейшем бригадой Института Геологических Наук под руководством Энтелиса и в составе Кочарина, Саакяна, Вермишева и Китбальяна проектное задание обогатительной фабрики подробно осветило также перспективу возможного потребления и



необходимого производства стекольных изделий в Республике, определило потребность в сырье намеченных к строительству стеклозаводов, а отсюда и мощность обогатительной фабрики.

Уточненная потребность действующих, строящихся и проектируемых в IV пятилетке стекольных заводов Республики в кварцевом-пемзовом песке к 1950—51 г. г. по предварительным подсчетам может составить 23 тыс. тонны сырья, в том числе: тяжелой фракции (концентрата) — 6,8 тыс. т. или 29,5%, средней фракции (промежуточный продукт) 4,3 тыс. т. или 18,7% и легкой фракции (хвосты) — 11,9 тыс. т., или 51,8%, что соответствует соотношению выхода продукции после обогащения.

Из этой продукции обогатительная фабрика должна будет обеспечить сырьем существующий цех оконного стекла Муллитового завода, два цеха хозяйственной посуды: Ереванского Химического завода Министерства Местной Промышленности и Ленместпрома и завод Консервной тары Главконсерва, которые в совокупности потребляют до 4 тыс. тонн сырья. Остальные 19 тыс. тонн пойдут на удовлетворение потребности строящихся заводов осветительных электроламп и завода бутылочной тары в Арзни, а также новых проектируемых к строительству заводов сортовой посуды, консервной и бутылочной тары в Ереване (для виноделия) и, очевидно, действующего фаянсового завода.

Остающиеся в отдельные годы излишки хвостов (сообразно срокам ввода в эксплуатацию стекольных заводов) смогут передаваться заводам Главстройстекло как высоко-глиноземистое сырье для производства оконного стекла, экономя тем самым порошкообразный алюминий.

Место под строительство обогатительной фабрики намечено проектным заданием в Ереване. Предпосылки к этому выбору были следующие: продукция фабрики будет использоваться полностью без отходов, т. е. отдаленность ее от месторождения не вызовет излишних перевозок: переброска однородного сырья более проста, нежели перевозка разнородных продуктов обогащения: чтобы избежать обратного грузового потока, поставка сырья для Арзнийского завода бутылочной тары сможет производиться, минуя обогатительную фабрику, непосредственно с месторождения, что, правда, сократит выход концентрата примерно на 800—900 тонн; исключается необходимость перевозки из Еревана до Элара 575 тонн нетранспортабельных вспомогательных материалов, необходимых для обогащения. (Для мощности 1-ой очереди потребуется примерно 160 тонн мазута, 415 тонн серной кислоты); строительство обогатительной фабрики в Ереване сможет быть без значительных капиталовложений обеспечено водой (184 тыс. м³ в год) и электроэнергией (1.150 тыс. квтч в год).

При строительстве фабрики в Ереване сократятся затраты на культурно-бытовое и, отчасти, жилищное строительство. Наконец, Известия 1, 5—28

что является главным—в перспективе по исчерпанию Эларского месторождения, сырье должно поступать на фабрику с других месторождений Республики (очевидно, из северных районов Армянской ССР). Построив фабрику в Эларе сырье совершит излишний пробег через Ереван в Элар, вернувшись затем обратно в Ереван, где будет сосредоточено примерно 86% всего потребления продуктов обогащения. Если же исключить, по указанным выше соображениям, Арзнийский тарный завод, почти 100% продукции фабрики будет использовано в Ереване.

Необходимо точно установить в какой мере разработка выбранного для первоочередной эксплуатации месторождения затронет село Элар. В целях нанесения ему минимального ущерба, нужно организовать его эксплуатацию, по возможности не затрагивая жилых строений села, перейдя затем к другим месторождениям, которые будут признаны оптимальными для разработки. Непосредственное же соприкосновение с селом следует увязать с трудовым устройством колхозников на производстве, связанном с эксплуатацией месторождения.

Намечаемая мощность и потребность действующих, строящихся и проектируемых в IV-пятилетке стекольных заводов в кварцевом сырье к 1950—51 году, с примерным расположением по видам продуктов обогащения, может представиться ориентировочно в следующем виде:

Перечень производства	Годовая мощность в натуре	Потребность в сырье (т. тн.)			
		Концен- трат	Промеж. продукт	Хвосты	Итого
а) Действующие цеха					
1. Оконного-стекла	300 т. м²	1,3	1,0	—	2,3
2 и 3. Хоз. посуды в Ереване и Ленинакане	1,5 мл. ед.	—	0,5	0,2	0,7
4. Консервной тары	1,5 "	—	0,3	0,7	1,0
Итого	—	1,3	1,8	0,9	4,0
б) Новые заводы					
5. Электроламп (полная мощн.)	5,3 мл. ед.	3,0	—	—	3,0
6. Бутылочной тары (Арзни)	8 "	—	—	3,0	3,0
7. Сортовой посуды	8,5 "	2,5	—	—	2,5
8. Консервной тары	15 мл. у. б.	—	2,5	5,0	7,5
9. Бутылочной (Ереван)	8 мл. ед.	—	—	3,0	3,0
Итого	—	5,5	2,5	11,0	19,0
Всего	—	6,8	4,3	11,9	23,0
То же в %/о	—	29,5	18,7	51,8	100,0

Естественно, что приведенное распределение по видам продуктов обогащения является предварительным путем подбора оптимальных шихт и увязано с ассортиментным планом и выбранным оборудованием для производства. Оно должно быть уточнено, а выпуск продуктов обогащения произведен в соответствии с требованием производства, путем регулирования в нем содержания глинозема и окислов железа.

Эту исследовательскую работу, в частности по выявлению всей гаммы обогащения, следует произвести безотлагательно, увязав такую с требованиями промышленности и новейшими достижениями технологии производства (в частности по работе на сырье с повышенным содержанием глинозема).

Обогатителям следует учесть следующие пожелания по вопросу содержания глинозема и окислов железа в сырье, высказанные производителями на совещании, созванном 22 сентября 1948 г. Пром. отделом Совета Министров Армянской ССР.

Виды продуктов	содержание	
	Al_2O_3	Fe_2O_3
Сортовая посуда	3—4%	0,03 %
Хрусталь	3—4%	0,01 %
Колбы для электроламп	1—5%	0,14 %
Оконное стекло	8—10%	0,2—0,3 %
Тарное стекло при фидерной машине	3—4%	В зависимости от цвета тары от
При вакуумной машине	14%	0,3 до 1,5 %

т. е. в отношении содержания окислов железа даже наиболее жесткие требования производителей весьма незначительно отличаются от уровня, достигнутого в концентрате.

При этих условиях из всей потребности в 23,0 т. тн. 17,5 т. тн. или 76% соответствуют указанным выше требованиям.

Все действующие предприятия уже на данной стадии результатов обогащения будут удовлетворены сырьем приемлемой для них кондиции. В отношении хрусталя необходимо будет произвести опыты по дальнейшему сокращению содержания в концентрате окислов железа и глинозема, в частности путем флотации и электростатической сепарации, а по сортовой посуде и колбам для электроламп решить вопрос возможности применения для их производства вакуумных машин и отпуска производству сортовой посуды концентрата высшего качества с требуемым содержанием окислов железа. При этом следует помнить, что полученное, в результате

первых опытов обогащения эларских кварцево-пемзовых песков, содержание окислов железа в размере 0,05—0,1% и глинозема в размере 11,5%, как об этом было сообщено обогатителями и на указанном выше совещании в Пром. отделе Совета Министров, не является пределом и путем дальнейшего обогащения может быть снижено, в частности путем флотации за счет удаления полевых шпатов, содержащих в себе примеси глинозема и отчасти окислов железа.

Данные приведенных выше кондиций несколько расходятся с экспертной оценкой инж. Энтелиса, допускающего более высокие нормы содержания окислов железа и глинозема, однако, новые требования не должны препятствовать организации указанных производств, и обогатителям следует продолжить свои экспериментальные работы, обеспечив производству концентрат с более жесткими нормами.

Наряду с этим и производителям следует более приспособить свои требования к качеству сырья, в частности, путем подбора соответствующего оборудования и применения новейшей технологии производства (например, производство оконного стекла до последнего времени требовало песка с содержанием глинозема не более 3—4%, а в настоящее время переходит на высокоглиноземистое сырье с содержанием 8—10%, как обеспечивающее более высокое качество стекла и повышение производительности оборудования).

При указанном выше годовом потреблении полное использование Эларского месторождения обеспечит обогатительную фабрику запасом сырья примерно на 15 лет, почему необходимо форсировать разведку других месторождений кварцево-пемзовых песков в Армянской ССР, тем более, — что полное использование этого месторождения, как возможно затрагивающее село Элар,* нежелательно.

В перспективе, по мере выявления новых запасов кварцевого сырья и согласно потребности народного хозяйства Республики, стекольная промышленность в Армянской ССР сможет получить еще большее развитие, в частности путем расширения производства оконного стекла примерно в 3 раза, т. е. до объема, полностью удовлетворяющего потребности всех отраслей народного хозяйства Республики: консервной тары, согласно росту консервной промышленности, в частности в Октемберяне, и увеличения удельного ве-

* Село Элар, по данным 1940 года, имеет 209 хозяйств с населением в 1024 чел. По данным геолога Кочаряна 50% залежи Элара находится под жилищными строениями села (5—30 колхозных дворов) и, частично, под кладбищем.

са стеклянной тары за счет сокращения жестяной и деревянной тары; не исключена возможность возникновения таких новых производств, как технических и декоративных тканей, необходимых действующим в Ереване электромашиностроительному, моторо-ремонтному, кабельному и шинному заводам, для армирования пластмассы и для бытовых нужд; пропускающего ультрафиолетовые и задерживающего тепловые лучи—увиолевого стекла—для курортов; спецстекла—термолюкса.

Увязанно с энергобалансом целесообразно будет организовать производство абразивов (карборунда, сплитовых стержней, специального теплопроводного огнеупора); при наличии излишних отходов и свободной электроэнергии не исключена возможность организации производства архитектурно-строительных деталей, стеклянных пустотелых блоков и т. п. Необходимо также обеспечить коммунальное хозяйство и существующий завод электроосветительной арматуры стеклянными абажурами и плафонами местного производства.

В Армянской ССР имеется не менее 200 зарегистрированных минеральных источников. Важнейшие из них: Арзнийский—типа Нарзан и Кассиягена, Джермук—типа Нарзан и Карлсбада, Блдан—близкий аналог Боржомской воды и Кенсали—аналог воды Зельтерс (Насау), и Роя (Франция).

Использование этих источников должно быть осуществлено в самых широких масштабах и если мощность Арзнийского завода окажется недостаточной—необходимо будет учесть в перспективе ее расширение.

Все изложенное учтено как перспектива в проектном задании обогатительной фабрики, строительство которой можно осуществить очередями увязанно с научно-исследовательскими и геолого-разведочными работами, которые следует продолжать также в направлении получения новых видов изделий, согласно росту запасов сырья, обогатимости их и с учетом потребности народного хозяйства.

Примерно, в перспективе для расчетного года, при условии осуществления строительства всех перечисленных объектов и организации новых производств, потребность в кварцево-пемзовом сырье дойдет до 50—55 тыс. тонн в год.

Техническое совещание Главстройстекло Министерства Промышленности Строительных Материалов СССР в июле 1948 г. подтвердило значение этих песков для стекольной промышленности, особо отметив, что обогащенное кварцево-пемзовое сырье, благодаря высокому содержанию в нем Al_2O_3 , при весьма низком содержании окислов железа, представляет значительный интерес в смысле его применения как глиноземной добавки для ускорения процесса производства способом Фурко и повышения качества листового стекла.

Для практического испытания этого сырья Главк обязал Институт Стекла и Ереванский Муллитовый Завод провести совместные опыты по доведению содержания глинозема на производственной установке цеха оконного стекла до 8—10% против практикуемых в настоящее время 3—4%.

Учитывая предстоящее широкое развитие стекольной промышленности Республики, возникает вопрос изучения возможности использования армянских доломитов, месторождения которых известны в Ахтинском, Иджеванском и Красносельском районах, для введения в шихту с глиноземом окиси магния, тем более, что добыча доломита потребует и для других отраслей промышленности, в частности, для производства ксилолита, как заменителя леса при кладке полов.

Положительные результаты по скоростной вытяжке вязкого высокоглиноземистого сырья могут не только повысить продуктивность цеха оконного стекла Ереванского завода, но также сделать кварцево-пемзовые пески имеющими значение и для других заводов оконного стекла братских республик, освободив их от расхода порошкообразного глинозема. Это обяжет еще более форсировать расширение сырьевой базы кварцево-пемзовых песков в Армянской ССР. Следует также учесть, что для этой цели смогут быть использованы полевые шпаты при отделении их для получения малоглиноземистого продукта.

Указанным Главком признано необходимым включить строительство обогатительной фабрики в проект плана работ Министерства Промышленности Строительных Материалов СССР на 1949 г. и уделить внимание опытам по новому электростатистическому методу обогащения песков.

Метод электросепарации, над которым работают научные работники Горного Института Министерства Высшего Образования СССР т. т. Рывкин П. М. и Олофинский Н. П. чрезвычайно оригинален, экономичен, эффективен и прост.

Такую установку должен организовать у себя Институт Геологических Наук Академии Наук Армянской ССР. Наличие этой установки, очевидно, позволит Институту повысить продуктивность его работы по обогащению и других видов минерального сырья.

В случае положительных результатов опытов электросепарации этим методом кварцево-пемзового сырья, будет еще более упрощена и удешевлена стоимость обогащения, хотя и в настоящее время намеченные проектным зданием отпускные цены для продукции обогатительной фабрики, как это усматривается из уточненных в августе 1948 года данных Ереванского Муллитового завода, ниже стоимости в Ереване песков, завозимых ими из Донбасса и из Дагестанской АССР, а именно:

Наименование песков	Отпускная цена поста- щика	Фрахт	Итого себе- стоим. 1 тн. в Ереване
Авдеевский	10 руб.	54 руб.	64 руб.
Ачинский	55 "	31 "	86 "
Эларский по проекту: концентрат	60	—	60 "
промежуточные продукты	39	—	39 "
хвосты	12	—	12 "

т. е. более качественный по содержанию окислов железа концентрат фабрики обогащения кварцево-пемзовых песков будет стоить на 30 % дешевле завозимого из Ачинска и на 7 % ниже Авдеевского песков. Следует учесть, что завоз в Армянскую ССР Авдеевских песков, из-за их большей отдаленности, почти прекращен и на производство поступает в основном Ачинский песок.

Сравнивая стоимость Эларского и завозимых песков, необходимо также учесть, что высокое содержание в первом щелочей (6—7 %) по подсчету директора Ереванского Завода Консервной Тары т. Бабаджанян дает дополнительную экономию на тонну продукции примерно в 20 руб.

Эффективность строительства в Армянской ССР обогатительной фабрики определяется не только рентабельностью ее эксплуатации, но также значительным сокращением железнодорожных перевозок, и перехода на местное сырье. По общесоюзным нормам перевозка кварцевых песков не может превышать 100—150 км. Между тем, расстояние от Еревана до Ачинска через Джульфу составляет 953 км и до Авдеевки—2,249 км, а до Авдеевки через Черноморскую ж. д.—1,778 км, т. е. использование песков Эларского месторождения сократит пробег вагонов из Ачинска в 64 раза, из Авдеевки через Джульфу в 150 раз, а через Сухуми в 118 раз.

Только от использования 6,8 тыс. тонн местного концентрата, предусмотренных первой очередью обогатительной фабрики, будет сэкономлено от 6,5 (Ачинск) до 15,3 млн (Авдеевка) тонно-километров железнодорожных перевозок, и в то же время стекольная промышленность Армянской ССР получит более качественное и более дешевое по сравнению с завозимым в настоящее время сырье.

Решая вопрос использования кварцево-пемзовых песков Армянской ССР следует учесть, что, как усматривается из опубликованных данных*, на юге СССР в настоящее время нет разведанных месторождений кварцевых песков с более низким содержанием Fe_2O_3 , чем в Эларском концентрате, а расположенные севернее, в сравнитель-

* Справочник для геологов "Требования промышленности к качеству минерального сырья", вып. 2, кварцевый песок, Геолог. изд. 1946.

но небольшом числе месторождения либо уступают, либо немногим превосходят полученный Институтом Геологических Наук концентрат. Лучшие в Союзе пески по этим данным представляют собой очень неоднородный материал и имеют следующее содержание Fe_2O_3 :

Саблинские (Ленинградская область)	от 0,02 до 0,38
с. Захожье, ст. Поповка Окт. ж. д.	„ 0,02 „ 0,38
Будские (Западная обл.)	„ 0,04 „ 0,36
Люберецкие (Москов. обл.)	„ 0,02 „ 0,73
Часоварские, карьер „Круглое“, УССР.	„ 0,06
Гусь—Хрустальный (Иванов. обл.)	„ 0,11 „ 0,15
Великодворье (Иванов. обл.)	„ 0,11 „ 0,55
Баталинские (Ленинград. обл.)	0,27
Ст. Спирово (З-д „Красное знамя“)	
Октябрьск. ж. д. (Московск. обл.)	0,76

т. е. все месторождения лучших кварцевых песков расположены в центральных, северных и северо-западных районах Европейской части Союза ССР более чем в 3,000 км от Армянской ССР и если ориентироваться только на естественных качествах сырья (без его обогащения), южные районы должны для обеспечения себя качественными изделиями из стекла либо прибегнуть к дальнему дорогостоящему завозу песков, либо к еще более нетранспортабельному завозу готовых стеклянных изделий.

Согласно существующему проекту технических условий на кварцевые стеклопромышленные пески, принятых в 1937 году, содержание Fe_2O_3 не должно превышать при производстве бесцветного хрусталя и посудного стекла—0,025%, оконного обыкновенного стекла 0,1%, консервной тары и ламповых изделий 0,2%, полубелой бутылочной хозяйственной тары и для ламп накаливания—0,3%, т. е., в вопросе содержания Fe_2O_3 , полученный концентрат, как содержащий от 0,05 до 0,1%, не отвечает требованиям лишь производства хрусталя и посудного стекла (0,025%). Однако, этим требованиям, в своем пределе, не соответствуют также и все перечисленные выше лучшие пески Союза. Так, технические условия для поставки люберецких песков предусматривают содержание Fe_2O_3 0,1—0,2%. Очевидно, для приведения их в соответствие с указанными выше условиями, таковые обогащаются. (По данным указанного выше справочника за границей лучшие сорта стекольного песка готовят промывкой и сортировкой).

Небезынтересно отметить, что британская промышленность производства колб для электрических ламп, столового и декоративного бесцветного стекла применяет песок с содержанием Fe_2O_3 0,05%, а американские заводы по производству белой посуды—до 0,04%, т. е. почти на уровне, достигнутом в отдельных пробах концентрата Эларского песка.

Необходимость промывки песков для получения низкого содер-

жания Fe_2O_3 , видна из примера подготовки лучших германских песков; так, песок Хоэнбока для доведения в нем Fe_2O_3 до 0,014% промывается 6 раз, песок Линн (Англия), промытый 2 раза, дает 0,06%.

Характерно, что во всех перечисленных нами песках крайне низко содержание Al_2O_3 ; однако, если учесть последние требования техники производства листового стекла, переходящего на работу с высокоглиноземистым сырьем, то это является не положительным, а скорее отрицательным фактором. Если же по условиям конструкции машины необходима минимальная «вязкость», то ее можно, как было сказано ранее, обеспечить путем дополнительного удаления полевых шпатов или путем подбора соответствующих шихт. Кроме того, не исключена возможность применения в ряде производств вакуумных машин, допускающих содержание 13—14% глинозема.

Что касается расходов по обогащению, то надо полагать, что они компенсируются резким сокращением затрат на фрахты, по перевозке дальне-завозного сырья.

Положительные результаты работы Института Геологических Наук Академии Наук Армянской ССР в области кварцево-пемзовых песков в 1947 г. безусловно позволят обеспечить существующие стекольные заводы Республики сырьем для производства светлого стекла (оконное, хозяйственная посуда, консервная тара).

Эларское месторождение кварцево-пемзовых песков, при полном его использовании, обеспечивает существующие, строящиеся и проектируемые объекты сырьем примерно на 15 лет.

Разработано проектное задание фабрики обогащения кварцево-пемзовых песков, которым намечена также перспектива развития стекольной промышленности в Армянской ССР.

Стекольная промышленность в Армянской ССР является одной из наиболее молодых и наиболее передовых по технологии производства.

Опираясь на кварцево-пемзовое сырье и электротермический метод его варки в Республике, начато или предстоит строительство ряда новых стекольных заводов (электрических осветительных ламп, сортовой посуды, консервной тары, двух заводов бутылочной тары), стоимость которых превышает сотню миллионов рублей. На производстве будет занято несколько тысяч человек, вырастут новые жилые поселки.

Для завершения работы в этой области, в частности, обеспечения машинного производства бесцветного стекла сырьем повышенных кондиций и дальнейшего расширения сырьевой базы, неотложно необходимо:

а) Организовать в Ереване электростатическую установку и провести опыты по электростатической сепарации эларских кварцево-пемзовых песков, проверив их обогатимость этим методом. Од-

новременно продолжать научно-исследовательскую работу также существующим методом обогащения, проверив пробы многочисленных месторождений пемз Армянской ССР.

б) Довести содержание окиси глинозема и окислов железа в продуктах обогащения до практически требуемых промышленностью размеров.

в) Развернуть поисковые работы по новым месторождениям кварцсодержащих песков, обеспечив расширение сырьевой базы для стекольной промышленности, с учетом перспективы ее дальнейшего развития.

г) Форсировать окончание опытов по варке стекла в Ленинграде, получив окончательные образцы изделий. В дальнейшем опытные варки производить также в Ереване, создав для этого производственные условия и используя установки существующих заводов.

д) Установить возможность использования для стекловарения доломитов Армянской ССР.

е) Обеспечить охрану белых кварцсодержащих песков Республики от использования их для нужд строительства.

ж) Разработать проект рационального карьерного хозяйства в Эларе, обеспечив минимальный ущерб для села и увязав мощность карьера с Техническим проектом обогатительной фабрики, подлежащим составлению Главстройстекло Министерства Промышленности Стройматериалов ССР.

з) Существующим, строящимся и проектируемым заводам Армянской ССР заблаговременно подготовиться к работе на новом сырье, подобрав соответствующее оборудование и оптимальные шихты, по возможности сообразно полученным к настоящему времени условиям продуктов обогащения.

и) Создать при Институте Геологических Наук постоянное техническое совещание для координации научно-исследовательской работы с требованиями промышленности и для более широкого учета опыта производителей и обеспечения их участия в проводимых исследованиях.

Вопрос развития стекольной промышленности и обеспечения ее сырьем является весьма значительным вопросом, которому должно быть уделено внимание всех заинтересованных организаций.

Институт Геологических Наук
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 5 XI 1948.

Կ. Խ. Վերմիշև

ԱՊԱԿՈՒ ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ԶԱՐԳԱՑՈՒՄԸ
ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Քվարցա-դաշտաշղթային-պեմզային ավազների հարստացման ապաքեղեմ Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի Գեոլոգիական ինստիտուտի աշխատանքի, ինչպես նաև ՍՍՌ-ում առաջին անգամ ներկայացված մշակված ապակի ստանալու էլեկտրոտեմիկ մեթոդը արտադրության մեջ ներդնելու շնորհիվ Հայկական ՍՍՌ-ում ապակու արդյունաբերության զարգացման լայն հեռանկարներ են բացվում։ Քվարցա-դաշտաշղթային-պեմզային ավազները, հարստացման պրոցեսի ուսումնասիրված ձևերի ներկա էտապում, ապահովում են հումքով մուգ ապակու արտադրությունից բացի Ռեպուբլիկայում գոյություն ունեցող ապակու այն գործարանները, որոնք ներկայումս բաց դռնի ապակու արտադրության համար քվարցային ավազները ներմուծում են Դոնբասից և Դաղստանի ԱՍՍՌ-ից։

Ավարտված է քվարցա-դաշտաշղթային-պեմզային ավազների էլարի հանքավայրի հետախուզումը, մշակված է հարստացման գործարանի նախագծային առաջադրանքը։ Առաջին հերթը նախատեսվում է հումք մատակարարել ինչպես գործող, նույնպես և կառուցվող և նախագծվող գործարաններին (էլեկտրոլամպերի, տեսակավոր ամանեղենի, շշերի արտադրության—երկու, պահածոների տարայի)։

Քվարցա-դաշտաշղթային-պեմզային հումքը մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում նաև որպես ալյումինիումի օքսիդի լրացում պատուհանի ապակու արտադրության մեջ։

Հայկական ՍՍՌ-ում ապակու արդյունաբերության զարգացումն արագանելու համար անհրաժեշտ է քվարց-դաշտաշղթային-պեմզային ավազների հարստացման գործարանի կառուցման շուտամույթ իրականացումը։ Միաժամանակ պետք է խորացնել հարստացման գիտա-հետազոտական աշխատանքները և ավելի լայնացնել որոնման ու երկրաբանական հետախուզական աշխատանքները, հասնելով կոնցենտրատի ավելի բարձր որակի և հումքի բաղայի լայնացման։

Նշված աշխատանքների արդյունքներից է կախված ապակու արդյունաբերության էլ ավելի լայն զարգացումը Հայկական ՍՍՌ-ում։

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

М. С. Абрамян и Р. А. Аракелян

Этренский ярус в Армянской ССР

Первые сведения по геологии Армении и в частности по ее палеозойским отложениям имеются еще у Абиха [5]. Много позже изучением палеозоя занимались Р. Боннэ [6], К. Н. Паффенгольц [1,2], П. Л. Безруков, Н. Н. Яковлев (4) и ряд других исследователей [3,7].

Несмотря на это, указанные отложения не везде расчленены детально и поэтому возраст и стратиграфическое положение отдельных свит и горизонтов в ряде мест до сего времени остаются неясными.

В Карабахларском районе имеется один из наиболее полных разрезов палеозойских отложений; до сих пор было известно, что они представлены девоном, карбоном и пермью.

Отложения палеозоя в упомянутом районе обнажаются в двух пунктах — в районе с. Кадрлу и в районе с. Чанахчи. Здесь в 1947 г. нам удалось собрать богатый фаунистический материал, обработка которого, наряду с детальным литологическим исследованием, дает возможность произвести дробное расчленение рассматриваемых отложений.

В результате наших работ впервые в Армянской ССР выявлен фаунистически прекрасно охарактеризованный этренский ярус, разрез которого, по мнению акад. Д. В. Наливкина, консультировавшего наши работы по камеральной обработке, является наилучшим не только в СССР, но и за его пределами.

По богатству своей фауны этрен представляет значительный научный интерес.

Никем из предыдущих исследователей, изучавших палеозойские отложения Армении, до сих пор не указывалось наличие этренского яруса, несмотря на то, что в их списках фауны фигурируют некоторые формы этого возраста.

Отложения этрена имеются в обоих вышеуказанных районах. Обнажающиеся в районе с. Чанахчи палеозойские отложения являются продолжением полосы палеозойских отложений Хайка (Даралагаза). Они слагают брахантиклинальную складку северо-восточно-юго-западного простирания, ось которой погружается на северо-восток; эти отложения почти вкрест простирания оси прорезаны ущельем р. Чанахчи, причем в ядре антиклинали обнажаются девонские отложения.

В районе с. Кадрлу расположена другая антиклинальная складка аналогичного простирания, являющаяся продолжением чанахчинской. Она в этом районе обнажается вследствие вздымания оси.

Указанная антиклиналь представляет собой опрокинутую на юг складку, южное крыло которой лежит на третичных отложениях бассейна р. Шагаплу и сильно смято во вторичные складки.

Отложения этренского яруса обнажаются в южном крыле этой антиклинали в 0,7 км к востоку от с. Кадрлу в ущельи „Аршаки Ахбюр“.

Лучший разрез этрена обнажается в Чанахчинском районе, в юго-западном крыле описанной антиклинали, в 2 км к северу от с. Чанахчи, в первом от него правом разветвлении ущелья р. Чанахчи.

Здесь разрез этренских отложений в восходящем порядке представлен следующим образом:

1. темно-серые битуминозные известняки с *Schizophoria striatula* Schl., *Productus robertsoni* Reed, *Productus* sp., *Cyrtospirifer semisbugensis* af. var. *sphaerolidea* Nal., *Cyrtospirifer julii* Déhée, *Athyris sulcifera* Hall (много).

В этом горизонте еще преобладают верхнефаменские виды. Мощность 10 м.

2. Известковистые, с поверхности желтовато-бурые песчаники. Мощность 2 м.

3. Песчанистые известняки с богатой брахиоподовой фауной: *Schizophoria striatula* Schl., *Plicatifera* (*productus*) *praelongus* Sow., *Productus* (*spinulicosta*) *spinulicostus* Hall., *Plicatifera* (*productus*) *simplicior* Whidb., *Camarotoechia lettenensis* Goss., *Camarotoechia omalusi* Goss., *Spirifer verneuilii* Murch., *Spirifer verneuilii* Murch. var., *Cyrtospirifer julii* Déhée, *Waagenoconcha nekhorschewi* Nal., *Athyris* sp., кораллы и стебельки морских лилий. Мощность 3 м.

4. Черные, листоватые, глинистые сланцы. Мощность 1 м.

5. Известковистые, слюистые песчаники. Мощность 2 м.

6. Песчанистые известняки с тонкими прослоями глинистых сланцев. В известняках встречены: *Orthotetes* sp., *Productus niger* Goss., *Plicatifera* (*productus*) *praelongus* Sow., *Waagenoconcha nekhorschewi* Nal., *Camarotoechia araratica* sp. nov. (nom. mscr.), *Camarotoechia lettenensis* Goss., *Camarotoechia* cf. *omalusi* Goss., *Cyrtospirifer* sp., *Athyris* sp., гастроподы и стебельки морских лилий. Мощность 15 м.

7. Темносерые, плотные, тонко и среднеслоистые известняки с *Orthotetes crenistria* Phillips, *Orthotetes* aff. *kaskasiensis* M. Chensy, *Rhipidomella interlineata* Sow., *Streptorhynchus crenistria* var. *senilis* Mans., *Productus niger* Goss., *Productus raddeanus* Fred., *Waagenoconcha nekhorschewi* Nal., *Camarotoechia* aff. *pleurodon* Phillips, *Camarotoechia araratica* sp. nov. (nom. mscr.), *Spirifer canaliferus* Valenc., *Spirifer* aff. *tornacensis* Kon., *Cyrtospirifer julii* Déhée, *Cyrtospirifer* cf. *julii* Déhée, *Athyris sulcifera* Hall, *Athyris sulcifera* Hall, *Athyris sulcifera* var. *intermedia* Nal., *Athyris chiralensis* Reed, также одиночные

и колониальные кораллы, членики морских лилий, гастроподы. Мощность 25 м.

Из песчаных известняков предыдущего горизонта в низы этого горизонта переходит *Samarotoechia araratensis* sp. nov. (nom. nscr.)

8. Переменяющаяся свита сланцев плотных, черных и плитчатых известняков, пронизанных прожилками кальцита. Встреченная здесь фауна плохой сохранности. Мощность 6 м.

Из всей перечисленной фауны наиболее характерными для этренского яруса являются формы: *Rhipidomella interlineata* Sow., *Productus niger* Goss., *Waagenoconcha nekhroschewi* Nal., *Cyrtospirifer julii* Déhée.

Этренские отложения совершенно согласно залегают на переменяющейся толще известняков, кварцитов и сланцев фаменского яруса. Фауна, найденная в этой толще, определяет ее возраст более точно, как верхнефаменский.

Верхняя граница этрена неясна вследствие проходящего здесь сбросового нарушения. Общая мощность этрена около 70 м.

В районе с. Кадрул этрен представлен аналогичными с указанными выше отложениями. Фауна здесь относительно худшей сохранности и представлена меньшим числом видов.

Приведенные выше фактические данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Этренская фауна смешанная, девоно-карбонового характера. В низах разреза преобладают верхнефаменские формы, затем постепенно появляются карбоновые и в верхах разреза они уже преобладают.

2. Присутствие этренского яруса позволяет точно установить границу между девоном и карбоном.

3. Брахиоподовая фауна этрена Армянской ССР очень сходна с синхроничной фауной северной Франции и Бельгии (*Rhipidomella interlineata* Sow., *plicatifer* (*productus*) *praelongus* Sow., *Productus niger* Goss., *Cyrtospirifer julii* Déhée и др.).

4. Этренская брахиоподовая фауна Армянской ССР обнаруживает большое сходство также и с соответствующей фауной Ирана, Памира и отчасти Казахстана (*Productus raddeanus* Frech, *Waagenoconcha nekhroschewi* Nal., *Athyris sulcifera* var. *intermedia* Nal., *Athyris chitralensis* Reed.).

5. Наряду с формами, общими с Западной Европой и Азией, появляются новые, местные формы *Samarotoechia araratensis* sp. nov., *cyrtospirifer* n. sp., *Samarotoechia* n. sp. и др. Таким образом, армянская фауна является как бы связующим звеном между западно-европейским и альпийско-гималайским комплексами фауны.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К. Н. Паффенгольд—Геологический очерк бассейна Р. Веди-чай (Армения), 1936, рукопись, фонд Арм. Г. У.
2. К. Н. Паффенгольд—Геология Армении, 1948, Ленинград.
3. М. А. Ржонсницкая—ДАН СССР, т. IX, № 8, 1948.
4. Н. Н. Яковлев—Геологические исследования в Даралгагезе и Закавказьи, Изв. ГГРУ, т. 2, вып. 82, 1931.
5. H. Abich—Bergkalkfossilien a. d. Ataxesgeb. Djoulfa in Armenien, 1878.
6. P. Bonnet—C. R. Soc. Geol. France, № 3, 1923.
7. Frech u. Arthaber—Beitr. Paläont. u. Geolog. Ost. Ung. u. d. Orients. 12, H. 4, 1900.

Մ. Ս. Աբրահամյան և Ռ. Ա. Արաքելյան

ԷՏՐԵՆՅԱՆ ՀԱՐԿԸ ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգվածում արված է Հայկական ՍՍՌ-ում առաջին անգամ հայտնաբերված էտրենյան հարկի նստվածքների ստրատիգրաֆիական կարվածքը, որը հանդիսանում է ամենալրիվը ոչ միայն ՍՍՌ-ում, այլև նրա սահմաններից դուրս:

Էտրենյան հարկի ներկայությունը թույլ է տալիս ճիշտ կերպով անցկացնել ղևոնյան և քարածխային սխտեմների սահմանը:

Առանձնացված են այդ հարկի համար բրածո կենդանական մնացորդների բնորոշ ձևերը *Rhipidomella interlineata* Sow., *Productus niger* Goss., *Waagenoconcha nekhorschewi* Nal., *Cyrtospirifer julii* Déhéé և մի քանի բոլորովին նոր ձևեր, որոնք մինչև այժմ հայտնի չեն եղել:

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Н. Бурчак-Абрамович

Остатки домашнего осли в древней
 культуре Урарту

Осел—весьма древнее домашнее животное. В Египте найдены изображения домашних ослов, относящиеся ко времени династии Негеда (т. е. свыше 5000 лет до н. э.). Уже за 1500 лет до н. э. в Египте домашним ослом пользовались вместо верблюдов при переходах через пустыню. Согласно новым исследованиям Joleaud [19] осел вместе с бараном и быком является одним из древнейших одомашненных животных Северной Африки. Наскальные рисунки его в Сахаре известны уже с начала неолита—около 9500 лет до н. э.

В Палестине домашний осел был известен еще в библейские времена, при Аврааме. В Европе домашний осел по данным Hiltzheimer'a был широко распространен в гомеровские времена (около 1000 лет до н. э.). В Вавилоне одомашненный осел (возможно типа онагра) встречен в изображениях за 3000 лет до н. э. В средней Азии домашний осел приводится лишь для более поздних культур [21], датируемых временем за 300 лет до н. э.—400 лет нашей эры. (Городище Алимбай-Тена близ Каунчи, эпохи 300—0 лет до н. э., верхние слои Каунчи, раскопки 1937 г. Г. Григорьева, времени 300—400 лет н. э.; пещера Кафлан-Дора у г. Байсуна, Бухарской области, начала нашей эры и некоторые другие). В. И. Громова [21], на основании изучения состава домашних животных вышеупомянутых пунктов считает, что домашний осел в Средней Азии мог явиться в промежутке между 200 г. до н. э. и границей нашей эры.

Остатки домашнего осли известны из античных слоев Ольвии [20] на юге Украины.

С. В. Даль приводит остатки осли (по мнению С. К. Даля домашнего) в списке фауны одной из карстовых пещер северного склона восточной части Урцеского (Сарай булагского) хребта. Стратиграфия находки осталась не выясненной [17].

Дикий ископаемый осел на Кавказе известен из Ильской Палеолитической стоянки на Северном Кавказе, относимой к среднему палеолиту (мустье солютре). В составе фауны этой стоянки, изученной В. И. Громоной, указывается и дикий ископаемый осел. В первых работах В. И. Громоной он был отнесен к азиатским полуослам *Equus (Asinus) cf. onager* [10]; в последующих работах В. И. Громова

[9] их отнесла к группе ископаемых европейских ослов *Equus hydruntinus* Reg. Причиной колебания автора несомненно является фрагментарность и бедность его остатков.

Обильные остатки ископаемого осла из группы *Equus cf. hydruntinus* найдены при раскопках в известном местонахождении четвертичных (повидимому рис-бурмских) позвоночных возле г. Баку, в кировых отложениях с. Бинагады. Монографической обработкой их в настоящее время в г. Баку занят В. Гаджиев. Бинагадинский ископаемый осел отличается от осла крымского палеолита и ильской палеолит. стоянки в среднем несколько меньшими размерами, большей стройностью и некоторыми деталями строения.

Кроме Кавказа ископаемый осел типа *E. hydruntinus* Reg. известен из Крымского палеолита (Культура ашель-азиль включительно).

Достоверные остатки ископаемых азиатских полуослов *Equus hemionus* или *E. onager* в Европейской части СССР известны лишь в более позднее время—энеолит окр. с. Усатова (под г. Одессой), бронзовая культура на р. Дон (с 1449 г.) античные слои Ольвии [20] великокняжеская культура возле Киева (городище Вышгород XI—XIII в.) [24]. Указание на присутствие *Equus cf. hemionus* в палеолите Мизеня на р. Десне еще требует подтверждения [6].

В древней армянской литературе сохранились упоминания о диких ослах-онаграх, водившихся в пределах Армении в V—XI вв. н. э. Историк Моисей Хоренский (V век н. э.) несколько раз упоминает об охоте армянских царей Аршакидской династии на онагров в Приараксинских степях Араратской низменности [25, 22]. В задачнике Анания Ширакаци (VII в.) приведены две задачи [23], в которых фигурируют дикие онагры („ерэ.“), водящиеся у подножия горы Арагац. В географии Армении Анания Ширакаци (VII в.) говорится о существовании онагра в четырех провинциях древней Армении: Барцир Хайк, Хайк, Парскахайк и Айратат [23]. Об онагре в степях у подножия Арарат упоминает в XI в. Григор Нарекаци [22].

В самое последнее время [26] одна метатарзальная кость кулана (*E. hemionus*.) была обнаружена Н. К. Верещагиным в культурных слоях XII века н. э. при раскопках во дворце Ширваншахов в г. Баку.

В пределах Закавказья, насколько мне известно из просмотренной археологической литературы, в древних культурах до сих пор не было находок настоящего домашнего осла, что, конечно, должно быть объяснено не отсутствием его у народов древнего Кавказа, а скорее недостаточностью исследований в этой области. Б. Б. Пиотровский в работе 1944 г. [2] вскользь упоминает о том, что в древнем Урарту в качестве вьючных животных употреблялись осла и верблюды.

Летом 1945 года при продолжении раскопок урартийской крепости Кармир-Блур (левый берег р. Раздан-Занги, в 6 км от г. Ере-

вана) Б. Б. Пиотровским были найдены остатки домашнего осла. По поводу этой находки Пиотровский пишет: [1] „В одном из жилищ был обнаружен целый скелет, частью обгорелый, осла или жеребенка (кости еще не определены). Повидимому, животное было привязано внутри жилища и погибло при пожаре“. По просьбе Пиотровского кости этого скелета были мною определены. Краткое описание их и является предметом настоящей статьи. Описываемые остатки представлены нижеследующими костями домашнего осла: 1) дистальная часть *Metatarsale sin.*, 2) проксимальная часть *tibiae sin.*, 3) дистальная часть *tibiae dex.*, 4) проксимальная часть *Metatarsale dex.*, 5) Atlas, 6) два средних шейных позвонка, 7) фрагменты *Acetabulum sin.*, 8) фрагменты восходящей ветви нижней челюсти, 9) фрагменты ребер, 10) 1 грудной позвонок, 11) 14 верхних коренных зубов (от двух индивидуумов), 12) 11 нижних коренных зубов.

На коренных зубах различная степень их истирания. У одних зубов жевательная поверхность в средней стадии истирания; у других она стерта значительно слабее, либо даже еще не затронута истиранием (напр. обе *M¹*). У проксимального конца *tibiae sin.* еще хорошо виден симфиз на границе с эпифизом.

По строению зубов и по форме и размерам костей скелета описываемые остатки тождественны с экземплярами современного домашнего осла, Закавказья среднего по размеру — (*Equus asinus domesticus*).

Главные промеры костей скелета	дистальн. <i>Mit. sin.</i>	проксим. <i>Mit. dex.</i>	проксим. <i>tibiae sin.</i>	дистальн. <i>tibiae dex.</i>
Наибольшая ширина дист. эпифиза	30 мм	—	—	50 мм
Наименьшая ширина диафиза	22 „	22 мм	—	28 „
Наибольшая ширина проксим. эпифиза	—	34 „	84 мм	—
Наибольший передне-задний диаметр эпифиза	23 „	28 „	58 „	34 „
Наименьший передне-задний диаметр диафиза	17 „	—	—	19 „
Высота <i>Proc. malleoleus</i> по дорсальному краю	—	—	—	12 „

На всех костях скелета явные следы действия интенсивного огня. По мнению Пиотровского [1] Урартийская крепость на горе Кармир-Блур принадлежала древнему городу Русахинили, построенному в середине VII в. до н. э. и около 585 г. до н. э. сожженному скифскими племенами. Остатков домашних животных в крепости найдено очень мало, Пиотровский это объясняет тем, что во время гибели города, происходившей в летнее время (во время раскопки найдены необмолоченные колоски пшеницы, цветы васильков, пучки травы) домашний скот находился на горных пастбищах. По ма-

теризмам археологической раскопки урартийской Цовинарской крепости (южный берег оз. Севана) В. И. Громова определила [2] остатки *Bos taurus*, *Ovis aries* и *Sus scrofa domestica*. Костный материал урартийского Топрах-Кале (возле о. Ван) остается неопианным [2]. Совершенно отсутствуют сведения о скотоводстве южных частей древнего царства Урарту [2].

Из домашних животных в культуре Урарту пока известны: лошадь, крупный рогатый скот, баран, коза, свинья, верблюд и описываемый в настоящей статье домашний осел. Список в будущем, конечно, увеличится.

Из диких животных известны — благородный олень [24], найденный при раскопках Кармир-Блур, куница (*Mustela latifrons* Sat., *Mustela martes* sub.) и барсук (*Meles meles* Sat.), происходящие из могил ЮЗ побережья о. Севан [26].

Раскопки дворца Кармир-Блур в 1947 году дали новый большой материал по домашней лошади, домашнему ослу и крупному рогатому скоту. Обработкой этих остатков в настоящее время занят С. К. Даль.

Таким образом, наиболее древние остатки домашнего ослы в пределах Армянской ССР (и всего Кавказа) пока известны из археологических раскопок, датируемых VI веком до нашей эры.

Институт Геологических Наук
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 5 XI 1948.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Б. Пиотровский — Раскопки древней крепости на Кармир-Блуре. Коммунист, 9 августа 1945 г., № 162 (3255) Ереван.
2. Б. Б. Пиотровский — История и культура Урарту. Изд. АН Армянской ССР, 1941.
3. Б. Б. Пиотровский — Урартское государство во второй половине VIII в. до н. э. Вестник древней истории, 1939, I, 65—78.
4. Б. Б. Пиотровский — Урарту, древнейшее государство Закавказья, 1939. Изд. Гос. Эрмитажа.
5. И. И. Калугин — Исследование современного состояния животноводства Азербайджана, т. 5. Лошади, ослы и мулы, 1930.
6. В. И. Громова — Краткий систематический и стратиграфический обзор четвертичных млекопитающих. Академику В. А. Обручеву, к пятидесятилетию научной и педагогической деятельности, т. II, 1939.
7. И. И. Подолітскі — Матеріали до вивчення минулої фауни УРСР, вып. 1, 1938.
8. В. В. Богачев — Картины первобытной природы Ашшерона (Бинагады), 1940. Баку.
9. В. И. Громова — Опыт изучения процесса образования форм у млекопитающих (род *Equus* — лошади). Тр. Зоол. Ин-та АН СССР, т. IV.
10. V. Gromova — Die Säugetierfauna der Mittell. Polärr. station bei Jlskaja. Тр. Зоол. Ин-та АН СССР, т. I, в. 3—4, 1932.
11. Е. Богданов — Происхождение домашних животных, 1913.
12. К. Келлер — Происхождение домашних животных, 1913.
13. В. А. Браунер — К вопросу об естеств. историч. и особенно остеологическом обследовании домашних животных СССР и сопредельных местностей.

Тр. заб. палеонти АН СССР. Проблема происхождения домашних животных. Вып. 1, 1938.

14 В. И. Зубарева—Фауна Кавказа 1000 лет назад. Природа, 1940, с. 83—86.

15 В. И. Селанов и Е. Ф. Легодоянская—Раскопки классического историко-археолог. музея под Одессой. Советская археология, № 5, 1940.

16 Г. В. Григорьев—Краткий отчет о работах Янго-Визитской археолог. экспедиции, 1937. Приложение В. И. Громоховой „Фауна из раскопок Г. В. Григорьева“. Узбек. Филиал АН СССР, 1940.

17 С. К. Даль—К исследованию вымерших и современных млекопитающих из пещеры Сарай-Булакского дроба. Зоол. сб., вып. II, Армянский Филиал АН СССР, 1941.

18 С. И. Боголюбовский—Происхождение и эволюция домашних животных, 1940.

19 Joleau—Essai stratigraphique sur les faunes de mammifères quaternaires du Sahara Rep. XVI sess. Int. geol. Congr., Washington.

20 Л. М. Славин—Конференция по выведению скифско-сарматского периода Вост. Академии Наук УРСР, № 5, 1939. Киев.

21 В. И. Громохов—К вопросу о первом появлении домашнего ослы в Средней Азии. ДАН СССР, т. LV, № 2, с. 191—192, 1947.

22 А. А. Саркисян—О распространении ослы (Equus hemionus) в палеарктических степях Армении. Изв. АН Арм. ССР (Естеств. науки) № 3, 75—81, 1946.

23 А. Г. Тер-Погосян—К вопросу о распространении ослы (Equus hemionus) в древней Армении. Изв. АН Арм. ССР (Естеств. науки) № 2, 91—93, 1947.

24 С. К. Даль—Новые биографические данные об исторических границах лесов в Арм. ССР. ДАН Арм. ССР VI, № 3, 81—83, 1947.

25 Моисей Хоренский—История Армении. Пер. Н. О. Эмина. 1893. Москва.

26 Н. К. Верещагин—Охотничьи и промысловые животные Кавказа. Изд. АН Азерб. ССР, с. 10, 1947.

27 К. А. Сатунин—Барсук и куницы конца бронзового века на Кавказе. Изв. Кавк. Музея, т. III, вып. 1, с. 1—86, 1907.

Ն. Բուրչակ-Աբրամովիչ

ԸՆՏԱՆԻ ԷՇԻ ՄԱՅՈՐՈՐԵՆԵՐ ՈՒՐԱՐՏՈՒԻ ՇԻՆ ԿՈՒԼՏՈՒՐԱՅՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ուսումնասիրելով մ. թ. ա. VI դարում կրթածնված ասորական ամբողջներից մեկը՝ Կարմիր Բլուրի (Նրեան քաղաքից 6 կմ. հեռավորության վրա) գիտականների ասի պաշտպանված կաթնասուն կենդանիների մասնորոգների մի մասը, հեղինակը գտնում է, որ այդտեղ ապրել է նաև բնական էլը, որն ուսումնասիրության աշխատանքով նույնական է Ազգրկովկասի աշխտյան միջին մեծությամբ էլերին՝ Equus asinus domesticus տեսակին։ Արժանի է հիշատակության, որ էլը էլը հովվապետ գանձաններից ամենաշինն է և թվագրվում է մ. թ. ա. VI դարով։

Ս. Տ. Տիգրանյան

ԱՆԴՐԵԱՍ ԵՐԵՄԻ ԱՐԺՐՈՒՆԻ

(Ծննդյան հարյուրամյակի առթիվ)

«...Նրա աշխատությունը հանդիսանում է փառավոր հուշարձան... Նա երկար կյանքացանի անհրաժեշտ տեղեկատու գրքի ճշմանակությունը այս առարկայի մասին մի աշխատողի համար...» Ակադեմիկոս Վ. Ի. Վերնադսկի, 1898.

«...Միևերազդիտական գիտություն միայն ամենաժամանակակից մեթոդներով խորացված հետազոտությունները կարող են իմանալ անցյալի պատմական ճանապարհները, այնպես ինչպես Հայաստանի գիտնական-հանքաբան Արծրունին իմացավ Նուբիական անապատի գմբուխտի պատմությունը...» Ակադեմիկոս Ա. Ն. Ֆերսման, 1946.

Անդրեաս Երեմի Արծրունին ծնվել է 1847 թվի նոյեմբերի 16-ին, Մոսկվայում, Նրա պապը՝ Գևորգ-աղան Թուրքիայում խոշոր հասարակական գործիչ է եղել Զկարողանալով տանել Թուրքական ուժիմը, նա 1813 թվին վերջնականապես հեռանում է Թուրքիայից, հաստատվելով Թիֆլիսում։ Այստեղ նա հանդիսացել է Ներսիսյան դպրոցի հիմնադիրներից մեկը, 1816 թ. բերել է տալիս Ամստերդամյան հաղվադյուտ տպարանն իր բոլոր սարքավորումով և նվիրաբերում նորաբաց դպրոցին։ Հայկական և լատինական շրիֆտ ունեցող այդ արժեքավոր տպարանն առաջինն էր Թիֆլիսում, եթե չհաշվենք Կովկասյան Ռադմական օկրուգի գինվորական գերատեսչությանը պատկանող փոքրիկ տպարանը։

Գևորգ Արծրունու միակ որդի Երեմիան վերջացնելով Ռադմական ուսումնարանը որպես կոոնետ, մասնակցում է ռուս-պարսկական պատերազմին, իսկ հետագայում, հասնելով գեներալի աստիճանի, հրաժարվում է գինվորական ծառայությունից և տարվում հասարակական



Անդրեաս Երեմի Արծրունի

Արծրունի եղբայրներն իրենց շրջանի հայ երիտասարդութեան մեջ բացառութեամբ էին կազմուած նրանք երկուսն էլ տաճար էին էնեղիայով, աշխատասեր էին և համառ իրենց նպատակներում։ Անդրեաս Արծրունին ընտրեց իրեն գիտական գործունեութեամբ և մինչև կյանքի վերջը մնաց իր մասնագիտութեան հաջորդութեամբ մշակելու հայ գիտնականներին հա առաջինն էր, որ իր լուրջ ու մեծարժեք հետազոտութեանները շնորհիվ գիտնականի անսասան հեղինակութեամբ վաստակեց։

Այստեղ ուսանողական տարիներից Ա. Արծրունին իր ողջ կյանքը, որպէս գիտութեան լավագույն մշակ, նվիրեց հանքերի ճշգրիտ, մեթոդական ուսումնասիրութեանը։ Նա արեց մի շարք արժեքավոր եղբակցութեաններ Սևրաշի հետազոտութեանների տաղարեզում։ Իրանցից ամենակարևորները նվիրված են քրոմային հանքերի, գրանիտների և այլ հանքերի հանքավայրերին։ Միտամանակ նա կատարել է մի շարք այլ հետազոտութեաններ նրա զուտ միներալո-գեոլոգիական աշխատութեանների թվում կան և քիմիական բնույթի աշխատութեաններ, որոնք նկատելի ազդ են գրավում գիտութեան մեջ։ Կովկասի և Անդրկովկասի արշավախմբերին մասնակցելու հետևանքով հա կատարել է մի քանի հետազոտութեաններ արևելադիպի ասպարեզում։

Իր տեսական հիմնավորումների մեջ Ա. Արծրունին մեծ ուշադրութեամբ է դարձրել միներալների պարագենեզիային հետաքրքիր են հանքերում երակային միներալները նկատմամբ նրա գիտադրութեանները, որոնք հնարավորութեամբ են տալիս նույնացնել նույն երակը նույնիսկ նրա անշատկամ հատվածներում։ Ա. Արծրունին օգնել է մինչև այդ չկիրառվող շոր մեթոդ, որը կարող է պարագենեզիայի հատկանիշի հիման վրա մեծ ծառայութեաններ մատուցել հանքերի սրտումների ժամանակ։ Իրանում նրա կողմից նշված են միներալոգիայի զարգացման նոր ուղիները։

1883 թ. նա Սևրաշում հայտնաբերեց թանկարժեք քարերի արմատական հանքավայրեր, իսկ Անդրկովկասում՝ մի շարք օգտակար հանածոներ։ Դեռ 1874 թ. Արծրունին փորձում էր նվիրվել Կովկասում գիտական միտքը զարգացնելու գործին (Իլլյամսի թանկարանի հիմնադրում, քննադատութեան դատարանում, հետազոտական աշխատանք, քիմիական օրգանաքերութեան զարգացում)։ Այդ նպատակով նա դաշխ է Թիֆլիս և ինչպէս վկայում է պատմարան Լեոն, մեծ եռանդով ձեռնարկում է մի շարք գիտական հետազոտութեանների, որոնց արդյունքները մասին գնահատումներ է կարդում և ապագայում դրանք ճանապարհորդի նամակների ձևով։ Այդ նամակները շոջվում են մասնագիտական խիստ արժեքավոր հարցեր և զիսավորապես առիթ են տեղական օգտակար հանածոների նկարագրութեանը։ Նրա հոգովածները հետաքրքրական են ոչ միայն մասնագիտական նեղ իմաստով, այլև հարուստ նյութ են տալիս Կովկասի ժողովուրդների զրութեան հետ կապված հարցերի մեկնարանութեան ասպարեզում։

Նա այլևիկ է Անդրկովկասի, Կովկասի և Սևրաշի խաղ աշխարհներն ու հանդիսացել է 19-րդ դարում Սևրաշի հետազոտողներից մեկը։ Սևրաշի տանձին գեոլոգիական քարանդների առաջին կաղծողը։

Սակայն ազատասիր երիտասարդ գիտնականին ցարական ոսթիմի պայմաններում դժվար էր աշխատանքի մտնել Ռուսաստանում։ Նա ստիպ-

ված եղավ կարգիլ Պետերբուրգից ու Կովկասից և 1875 թվին բնակութիւն հաստատել Ստրասբուրգում։ Երկու տարի անց նրան պրիվատ-դոցենտի պաշտոն առաջարկվեց Բեռլինի համալսարանում, որը նա ընդունեց 1878 թ. նույն տեղում ընտրվեց զոցենտ։

Այդ տարիներին ևս իր հոգովածներով Արծրունին անընդհատ աշխատակցում էր Թիֆլիսի հայ պարբերական մամուլին ոչ միայն շարադրելով օգտակար հանածոների հանքավայրերի հետախուզութիւնների արդյունքները, այլև արշավախմբերի ժամանակ իր այցելած վայրերին վերաբերող պատմական և ազգագրական դիտողութիւնները։

Բեռլինում նա հրատարակեց մի շարք աշխատութիւններ բյուրեղների քիմիայի և այն ժամանակ ղեկավարել հայտնի գեոքիմիայի վերաբերյալ։ Այս աշխատութիւնները մեծ հետաքրքրութիւն առաջացրին Եվրոպայի գիտական աշխարհում։ Նրանք հրատարակվեցին նաև Լոյպցիգում և Բրեսլավիում (այժմ Վրոցլավ—Լեհաստան) գերմաներեն և ֆրանսերեն լեզուներով։

Արծրունին ընտրվեց Բեռլինի, Բրեմենի և Մոսկվայի աշխարհագրական ընկերութիւնների, ինչպես և բնասերների Ուրալյան ընկերութիւն անդամ։

1875—77 թ.թ. ամառը նա հայանաբերեց և ուսումնասիրեց մի շարք հանքավայրեր Հյուսիսային Կովկասում, Վրաստանում և Հայաստանում։

1876 թ. ուսներին լեզով հրատարակվեց Կովկասին վերաբերող նրա առաջին հետազոտական աշխատանքը «Մծուժ» լեռնայով։

Արծրունու համար զեփար էր աշխատել օտարութիւն մեջ։ Նրան ճշնշում էր այն միտքը, որ ստիպված է աշխատել հայրենիքից դուրս։ Բնորոշ են իր քարեկամներին դրած հետևյալ տողերը. «Թող հայրենակիցներս ինձ չդատապարտեն, որ ես գտնվում եմ հայրենիքից հեռու և ինձ ընտրել եմ մասնագիտութիւն, որի կատարելագործման համար պետք է ժամանակավորապես գտնվեմ Եվրոպայում»։ Նա տառապում էր, որ անմիջականորեն չէր կարողանում օգտակար լինել իր հայրենակիցներին և գրում էր «...այն դիտութիւնը, որը ներկայումս իմ ուսումնասիրութիւնն առարկան է հանդիսանում, ապագայում կարող է մեր երկրին և մասնավորապես իմ հայրենիքի հանքային հարստութիւնների ուսումնասիրութիւնը հսկայական օգուտ բերել և՛ կթուլատրվի ինձ հուշով, — վերջացնում է Արծրունին, — որ կյանքում զեթ մեկ անգամ էլի ես կլինեմ երջանիկ, եթե ինձ հաջողի ուժերս նվիրել իմ հայրենիքին և դրանով ապացուցել, որ հայրենիքին օգտակար լինելը հանդիսանում է անընդհատ մտքերիս և հավերժ ձգտումներիս առարկան»։

Նա համոզված էր, որ կգա ցանկալի ժամանակը և հնարավորութիւն կստեղծվի գիտութիւնն նորագոյն սովաչներով զինված վերադառնալ Կովկաս և լավագոյն պայմաններում աշխատելով հայրենակիցների շրջանում ստեղծարար գրողներով անմիջական օգուտ տալ իր երկրին։

1878 թ. Փարիզում հրավիրվեց գեոլոգիական միջազգային առաջին կոնգրեսը, որտեղ դոցենտ Ա. Արծրունին բովանդակալից ելույթ ունեցավ և շարադրեց իր հետազոտութիւնները արդյունքները, իր մեթոդիկան։ Իր խորը բովանդակալից ելույթով և գեոլոգիական հետազոտութիւնների աս-

գարեզում ունեցած հարուստ փորձով նա զբաղեց կոնդրեսի դիւլգատները՝ Անգլիայի, Ամերիկայի և Հոլանդիայի գիտնականների ուշադրութեանը:

1879 թ. Ա. Արծրունին ընտրվեց Բրեսլավի համալսարանի պրոֆեսոր, որտեղ նրա գիտական արդյունավետ գործունեութեանը շարունակվեց մինչև 1883 թ.: Այդ տարիներին ևս նա անդադար կապ էր պահպանում Փոստաստանի հետ, ուր Մինեբրալոգիական ընկերութեան հրավերով մեկնում էր իր արձակուրդային ամիսներին:

1883 թվից մինչև 1898 թվիը նա ղեկավարել է Ալախենի պոլիտեխնիկ ինստիտուտի մինեբրալոգիայի ամբիոնը և միաժամանակ կատարել դեկանի պարտականութեանները: Պետք է նկատի ունենալ, որ օտարերկրացիների համար հեշտ չէր Գերմանիայում, որտեղ բավականին ուժեղ էին ազդային մտայնութեանը և շովինիզմը, բարձրագույն ուսումնական հաստատություններում ամբիոն ստանալը: Միայն շնորհիվ իր արտասովոր ընդունակութեաններին էր, որ Արծրունին ստացավ այդ ամբիոնը և ղեկավարեց մինչև իր կյանքի վերջը:

19-րդ դարի վերջում գերմանական համալսարաններում զգացվում էր ազգային շովինիզմի ազդեցութեանը և գերմանական գիտութեան անսահման փառաբանումը: Ա. Արծրունին միշտ կտրուկ և որոշակի ապստամբում էր այդ հոսանքի դեմ: Որպես արգարամիտ, առաջադեմ կուլտուրական անձնավորութեան նրան խորապես մբրդում էր գերմանացիների շովինիզմը: Նա չէր հաշտվում անձի ազատութեան ճնշման հետ և բաղմիցս ելել է ունեցել տեղական մամուլում այն ժամանակի հրատապ հարցերի շուրջը (էլզաս-լոթարինգիները, հակասեմիտական լիզան, Բիսմարկի օրենքները):

Տիրապետելով անգլերեն, գերմաներեն, ֆրանսերեն և իտալերեն լեզուներին, հեծնելով գիտութեան զարգացմանը զանազան երկրներում, աչքի ընկնելով զիտական մանրակրկիտութեամբ և մեծ բարեխղճութեամբ, նա իր և իր աշակերտների գիտական աշխատանքներում արտակարգ խնամքով հիշատակում էր առանց ազգի և լեզվի խտրութեան ընդ որ հետախույզների աշխատութեանների արդյունքները: Այս կապակցութեամբ չի կտրելի անոս առնել նրա ծառայութեանները ուսն հետախույզների առաջ. ուսեղեն լեզվով հրատարակված շատ աշխատութեաններ արտասահմանյան գիտական գրականութեան մեջ հայտնի դարձան միայն շնորհիվ նրա ջանքերի ու ցուցումների, շնորհիվ նրա հեղինակութեան (օրինակ՝ Սուշինի և Երոֆեյեվի աշխատանքները):

Ա. Արծրունին խիստ ընամբորթյուն ուներ: Նա անագորույն թշնամի էր ամեն տեսակի նախապաշարունակների և ստորաքարշութեան: Այդ հանգամանքը նրան շատ ընդհարումների առաջ էր կանգնեցնում: 80-ական թվականների կեսերին նրա և գերմանական պրոֆեսորների միջև եղած թարձայնութեաններն էլ ավելի սուր բնույթ ստացան. նա մամուլում սուր քննադատութեան ենթարկեց պրոֆեսոր Գիրշվալդի հրատարակած բեռլինյան մի մեծ թանգարանի միներալոգիական դրացուցակը, որը մեր առաջավոր ակադեմիկոսների կարծիքով ևս անդրադետ էր կազմված «թեև բոլորապատված էր գիտնականութեան արտաքին շղարշով» (ակադեմիկոս Վերնդսկի, «Ռուսակիյ վեդոմոստի», 1898 թ.): Մեծ էրուզիցեայով գիտնականի, ելքոպական և անգլիական գիտնականների շրջանակում լուրջ

միներալոգի հեղինակությամբ լույս լույս տալիս օտարերկրացի Արծրունին իր հյուրի-
ներով բնականաբար իր դեմ լարեց պրոֆեսոր Գրիգորյանին և նրա գերմա-
նացի համախոհներին՝ նրա շխտակ և սուր քննադատությամբ ընդմիջ
փակեց նրա առաջ Բեռլինի համալսարանի ամբիոնների գոները, իսկ Թու-
սաստանում կամ Բաալիայում ամբիոն ստանալու նրա փորձերը մախողի-
ցին։ Նա մնաց Ասիանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում։ Այստեղ էլ ափս-
իս դարգացան նրա ստեղծագործական ուժերը, նա շատ բարձրացրեց
պոլիտեխնիկական ինստիտուտի հետադադարական, աշխատանքների մակար-
դակը։ Ա. Արծրունին այստեղ ստեղծեց միներալոգիական գիտելիքները
պրակտիկայում արմատացնելու իր շնորհը։

Ակնհայտ իր պրոֆեսորական գործունեությամբ, Ա. Արծրունին վճա-
կանորեն և որոշակի կանգնում է բարձրագույն տեխնիկական հաստատու-
թյուններում դասավանդումը գիտական հիմունքներով ամենչափակ դրույթի
վրա, որի հետևանքով Ասիանի պոլիտեխնիկոսի միներալոգիական լաբորա-
տորիան տվեց ինչպես նրա սեփական, նույնպես և նրա աշակերտների (նրա
ասիականներ Զաքյանի, Մուսինի, Գրուսինի, Նենքերգի, Շառլյի և այլոց)
մի շարք ապագիք գիտական աշխատությունները։ Ասիանի պոլիտեխնի-
կոսում ամբիոն կրթատարիմայի, միներալոգիայի և քիմիայի դասա-
վանդման գիտական բնույթն ազդեց Եվրոպայի, մասնավորապես Գերմա-
նիայի, ինչպես նաև Թուսաստանի աշխարհային պոլիտեխնիկոսների վրա։ Ակադ-
մ. Բ. Վերնադսկին «Ակնարկներ և հոտեր» ժողովածուի մեջ գրում է. «Վե-
րոպական գիտական աշխարհը, հանձինս առաջավոր պրոֆեսորների, այս
հարցի քննարկման ժամանակ մեկ անգամ չէ, որ նշել է Ա. Արծրունու,
որպես տեխնիկական գիտությունների նշանավոր գիտելիքների հիման վրա
լայն դարգացման դադափաբների հասագողի նշանակությունը»։

19-րդ դարի երկրորդ կեսում, մասամբ Ա. Արծրունու աշխատությու-
նների շնորհիվ, միներալոգիայում ստեղծվեց նոր բնագավառ, այսպես կոչ-
վող գեներալի միներալոգիան։ Ավելի ուշ, տեխնիկական գիտությունների
դոկտոր եղած շրջանում, Արծրունին ուսումնասիրեց միներալոգիայի և բյու-
րեղների առաջացման պրոցեսները և տվեց մի ամբողջական գործ։

Նա գիտակցում էր, որ քանի դեռ չեն պարզաբանվել պատկերացում-
ները ատոմի, էլեմենտի և բյուրեղի մասին, զեոքսիմայի ստեղծման հա-
մար չկան նախադրյալներ։ Եվ ահա նա սկսում է բյուրեղների ինտենսիվ
ուսումնասիրությունը, որի հետևանքով 1877 թ. կայացրելով հրատարակ-
վում է նրա «Սրբաբանական միացությունների կրիստալոգրաֆիկ ուսումնա-
սիրություն» աշխատությունը։ Ինչպես գրում է Վերնադսկին «Դեռ քիմիա-
յի ստեղծման հոգն արդեն պատրաստ էր, բայց դեռ անհրաժեշտ էին հրա-
կայական քանակությամբ փաստեր և գիտողություններ, որոնք էր համապա-
րեն աշխատելու Անհրաժեշտ էր մի շարք ինստիտուտներում կատարել հրա-
կայական փորձնական աշխատանք, որ ոչ միայն հարյուրավոր, այլ հա-
զարավոր մարդիկ սանձանում, նշում էին աշխատանքի նիշու ուղիները։
Բայց Ա. Արծրունուն չէր վիճակված տեսնել թե ինչպես նրա այն ժա-
մանակ զեոքս երիտասարդ ընկերները, ապագայում աշխատելուները Վեր-
նադսկին, Գուլյանիցար և նրանց աշակերտ Ֆերմանը լայնորեն արմա-
տացրին գեոլոգիայի դադափաբները միներալոգիայի, կրիստալոգրաֆիայի
և քիմիկոսների գիտական աշխատություններում։ Նրան չվիճակվեց ապրել

և տեսնել ակադեմիկոսներ Վերնադսկու և Ֆերսմանի կողմից հիմնադրված գեոքրոմիայի հաջորդութուններն ու նվաճումները:

Մենք տեսնում ենք, որ Արքեպիսկոպոսները պարզեցող հանդիսացան առաջավոր գիտություն համար, քանի որ ներկայումս միներալոգիայի ուսումնասիրության հիմնական օրենքը հանդիսանում է քիմիական մոլեկուլը նրա գոյությունը բնական պայմաններում՝ երկրի կեղևում: Այսպիսով Արքեպիսկոպոսները կրիստալոգրաֆիայի և մասամբ գեոքրոմիայի բնագավառում փայլուն նորոգար է հանդիսացել: Նա իր գործունեությամբ բնագրերի է բազմազան բնագավառներ և պորֆիրներ, սերտորեն շաղկապելով վերացական գիտական նվաճումները պրակտիկայի հետ: Ինչպես և ամեն մի նոր ձեռնարկում, նրա նոր կողակացությունը կրիստալոգրաֆիայի բնագավառում Բոսլիերի և Նյուբերգերի գիտնականներին դուր չեն եկել: Նրանք չէին կարողանում հաղթահարել իրենց հեռադիմությունը և չէին ուզում հաշվել արտասահմանցու նոր, հասափակված գաղափարների հետ:

Նրա կրթակ աշխատությունները կրիստալոգրաֆիայի պորֆիրներին վերաբերյալ գնահատված և հանաչված էին Ռուսաստանի, Ավստրիայի և Անգլիայի առաջավոր գիտնականների կողմից, մինչդեռ ազգային միաժամանակյա և չօվինիզմով տառապող Գերմանիայում նրանք չէին ընդունվում:

Վիեննայի Միխայելյանների շէնպիս ամսօրյա ամսադրում 1890 թ. Ա. Արքեպիսկոպոսը նկարագրել է իր ուսումնասիրում և մասնակիորեն առաջինը հայտնաբերած ցեխատին, ցեքսիկայի, մագնետաձևաալիտ, գրողենիտ, սորոնցիանիդ, անդիդիտ, և մի շարք այլ միներալները, որոնք նշվում են կիրառական և քուսական դասադրվածում: Նախ անդում հիշատակվում է մի նոր միներալ՝ կալմված պղնձի և կապարի թուր պարունակող բթու աղից, որը բյուրեղանում է սոմրային սխառնի ձևերով և գոյացնում է երկնականաչ գույնի ծածկույթ: Զիլիի Տաքադալա պրովինցիայի Թալա-կալո կոչվող վայրում գտնվող պղնձահանքերից մեկում (որտեղ աշխատել է պրոֆեսոր Արքեպիսկոպոսը): Ի պատիվ պրոֆեսոր Արքեպիսկոպոսի, այդ միներալը գիտություն մեջ կոչվում է Արքեպիսկոպոսի: Բյուրեղներից կաղմված նման երկնականաչագույն ծածկույթների մեծք հանդիպում ենք նաև Դիլիջանի հանքավայրում:

Մերին երախտադիտություն հղացվածքով և հարգանքով պետք է հիշատակել և գնահատել մեր վաստակավոր գիտնականի մասնաշաղկապ ժողովրդի, ինչպես գնահատել են մեք ուսուցիչ միներալոգները՝ Վերնադսկին և Ֆերսմանը: Ակադեմիկոս Ֆերսմանն իր աշխատություններում խոսելով միներալոգիայի անցյալի մասին, մե տարի շարունակ հիշատակում է միներալոգիայի գիտակ Ա. Ե. Արքեպիսկոպոսին:

Հարավային Ուրալի թանկարժեք քարերի արժատական հանքավայրերի հայտնաբերումը կապված է պրոֆեսոր Արքեպիսկոպոսի անվան հետ, որը 1883—1888 թ. ամառվա ամիսներին աշխատում էր Ուրալում և առաջինանորար օգնություն մի շարք աշխատություններ այդ հանքավայրերի ուսումնասիրության կապակցությամբ: Այդ բոլոր աշխատությունները հանդիսանում են Ուրալի մասին նրա գրած մեծ մենագրության միայն մի մասը: Ա. Արքեպիսկոպոս անունը վերնիշվում է ակադեմիկոս Ֆերսմանի կողմից իր Ռուսաստանի թանկարժեք և գունավոր քարերը աշխատության մեջ:

Որպես Մոսկվայում տեղի ունեցող միջազգային գեոլոգիական 7-րդ կոնգրեսի մասնակից Արծրունին զրեց «Զուպպոված ձևապիր Աանարկա գետի միներալների մասին» մենագրությունը, որի մեջ նա նկարագրում է ուսսական եվկլադները: Ուրալի եվկլադներն իրենց րացառիկ հարուստ ձևերով զրավել են գիտնականների ուշադրությունը:

Միներալների կրիստալոգրաֆիկ կառուցվածքի մասին Արծրունու բերած տվյալները մինչև հիմա էլ գիտական արժեք են ներկայացնում, որին ապացույց կարող են ծառայել խոշոր գիտնականների զրական մեջբերումները, նույնիսկ ներկայիս (1946 թ.) հրատարակությունների մեջ:

Ցավոք սրտի հնարավոր չէ ներկա համառոտ աշխատանքում հիշատակել և վերլուծել Արծրունու բոլոր աշխատությունները և ամբողջությամբ բնութագրել նրա գիտական գործունեությունը կովկասում և Ուրալում: Նրա հրատարակած մեզ հայտնի շուրջ 80 գիտական աշխատությունից և հայեցեն ու ուսեսերեն լեզուներով թիֆլիսի ամսագրերում և օրաթերթերում հրատարակած 137 հոդվածներից մեզ հաջողվել է հայտնաբերել միայն շուրջ 20 անուն գիտական աշխատություն: Դանի որ Արծրունու աշխատությունների մեծ մասը մատենագրական հաղվագյուս պործեր են, պահանջ է զգացվում հավաքել նրա բոլոր ձևագիր և տպագիր պործերը, հրատարակել կամ վերահրատարակել, քանի զն նրանք պահպանվում են, և կազմել Արծրունու մասին լրիվ մենագրություն:

«Բյուրեղների ֆիզիկական քիմիան» զրքում Արծրունին օգտակար հանածոների նկարագրության հետ զուգահեռ տալիս է նրանց ուսումնասիրելու նոր մեթոդիկա, նշելով, որ այդ օգտակար հանածոների մասին գիտությունը պետք է բաժանել գեոլոգիայից և կցել գեոքեմիային, քանի որ օգտակար հանածոների մասին հիմնական գիտությունները հանդիսանում են միայն քիմիան, միներալոգիան և գեոքեմիան: Այդ աշխատության մեջ Արծրունին տրամաբանորեն մոտենում է այն ժամանակ գոհա քիչ հայտնի գեոքեմիային և միներալոգիային:

Այն, ինչ խորազնին մասնում և զգուշորեն ուսումնասիրում էր Արծրունին—գեոքեմիայի հիմունքները—ներկայումս մեր առաջավոր գիտության կողմից օգտագործվում է սոցիալիստական տնտեսության և երկրի պաշտպանության հոյակապ խնդիրները լուծելու համար:

Նրա ուշադրության կենտրոնում էր նույնպես միներալոգիայի ուսումնասիրությունը, որի հարցերով նա զբաղվեց իր կյանքի վերջին 10—15 տարիների ընթացքում: Միներալոգիայի դարգացման և կրիստալոգրիայի ծագման մասին զրելու համար անհրաժեշտ սկզբնական նյութ Արծրունին արդեն հավաքել էր, որի մի մասը սակայն մնաց ձևագիր վիճակում:

Պրոֆեսոր Արծրունին լայն ժողովրդականություն էր վայելում ոչ միայն յուրայիններին, այլև եվրոպական գիտնականների շրջանում, որի մասին վկայում են աչադեմիկոսներ Լեինստե-Լեսինգը, Ֆերմանի և Վերենադսկու հուշերը և զրական վկայակոչումները նրա աշխատություններից:

Իր գիտակից կյանքի առաջին իսկ օրերից իրեն նվիրելով գիտությանը, Արծրունին 25 տարվա իր գիտահետազոտական գործունեությունն անընդհատ համատեղել է գիտա-մանկավարժական աշխատանքի հետ, դասավանդելով Գերմանիայի ուսումնական հաստատություններում:

Նա ստեղծեց հանքերի ուսումնասիրության նոր մեթոդիկա՝ դասելով

Եվ զմեզման հետ միասին՝ մենք պիտի զորավարենք ինչպես
 ինչպես մենք պիտի զորավարենք ինչպես մենք պիտի զորավարենք
 ինչպես մենք պիտի զորավարենք ինչպես մենք պիտի զորավարենք

[illegible]

15. $\phi(n, m, \delta, d^2)$ $\phi(n, m, \delta, d^1, d, d)$ 2.

1. Զարգացման փուլերը:

• Բժմդ ժոշոյիկս Լոմդոյիկ

մմդդՆաբղ Յովսէփ մմսպղճամե մզաթմե ոչ ոչսմղրամեմՆա կատմՆ

Իր անդամակցության — մզմունքն էլ միմյուր և միմյուր

[illegible][illegible]

Հովհաննէս Կոմիտաս

Հետև գլխատառնիչ, անամբողջ բառակազմով հայերենով մտած-
նալով վերաբերելով «վերջնական» ճշգրտության պահանջներին
անհամարժեցանքներին հանդիպելով վերջնականության հասցեի
բացահայտմանը վերջնականության պահանջներին հանդիպելով
վերջնականության պահանջներին հանդիպելով վերջնականության
պահանջներին հանդիպելով վերջնականության պահանջներին հանդիպելով

«Գրականության միջոցով հասարակական կյանքի վերակառուցումը»
-ը, ժողովում «Երևանի մարզի մշակութային կենտրոնի»
միջոցով հանձնարված է Երևանի մարզի մշակութային կենտրոնի
միջոցով հանձնարված է Երևանի մարզի մշակութային կենտրոնի
միջոցով հանձնարված է Երևանի մարզի մշակութային կենտրոնի

[illegible]

է դարձրել զելլովիտլ նստվածքներին և գլաքարերին, որոնք ըստ նրա կարծիքի առաջացել են Փամբակի լեռներէն:

Դոյովինոյի շրջանում սկզբածքների ուսումնասիրութեանից հետո նա հայտնաբերում է Աղտակի սկերեր ավազները և առաջարկում է այդ ուղղութեամբ նկարահանումներ ու որոնումներ կատարել:

Ազմազանի լեռնաշղթայի հետազոտման ժամանակ նա առաջինը կիրառեց ձյան սահմանագծի չափումը բարձունքում: Ստեփանավանի շրջանի հետազոտման հետևանքով ուսումնասիրուից Բզովզայի լեռնաշղթան, հայտնաբերուիցին պղնձի և երկաթի հանքերն ու երկաթային ու անթաթթիվային բաժիշ աղբյուրները: Այսակե, ինչպես և Ազմազանում զետեղեցին հետազոտութեանների պրոցեսում կատարուիցին Բզովզայ լեռնաշղթայի բարձունքների, այդ ժամանակ զեռ առաջին անգամ կիրառուող, ձյան հաշվային նկարահանումները:

Միներալներից նա ուսումնասիրել է քվարցի ուշադրով զննելի բյուրեղները, սերպիկը և վանադնաւարի քվարցային հանքավայրը:

Մայր առտիճան հետաքրքրական են Արծրունու հաղորդումներն Աղվերանի լեռնաշղթայի հետազոտութեանների արդյունքների մասին, որտեղ առյուծ նրանց զետեղեցին նկարագրութեանը, նա ցատակցութեան է հայտնում, որ իրեն հաջողից պարզել պաշարները Հայաստանի հրաշալի սպիտակ մարմարի, որն իր որակով և արժանիքներով համարժեք է Բուսիայի, Կարքարյան մարմարին, որի ուսումնասիրութեամբ նա զբաղուի էր Բուսիայում եղած ժամանակ:

Ստեփանավանի շրջանում նա հայտնաբերել է կապարի հանքեր: Ստեփանավանից հյուսիս, Չախազ գյուղի մաս նա ուսումնասիրել է արծաթ պարունակող պղնձահանքերը:

Ա. Արծրունին մանրամասն կանգ է առել Ալավերդու հանքերի շահագործման պատմութեան վրա, ավել է 19-րդ դարում հանքերի շահագործման լրիվ պատկերը, ինչպես և տեղեկութեաններ պղնձի ձուլման տեխնոլոգիայի մասին, նկարագրել է նաև այն ժամանակ պղնձն ամանեղեն արտադրող պրիմիտիվ գործարանները:

Ուսումնասիրելով այն ժամանակ գոյութեան անեցող Ալավերդու, Շամլուզի, Նյուվադիի և Աղաբակի, ինչպես նաև Միսխանայի, Թայշարուխի, Դիլիջանի իր հայտնաբերած պղնձի հանքավայրերը և ուրիշ ոչ հանքային հանածոները, Արծրունին կոչ էր անում կազմակերպել Կովկասի օդաակար հանածոների լայն որոնումներ:

Իր Կովկասի արդյունաբերութեանը հոգվածում նա առյուծ է Անդրկովկասի ազադա քիմիական արդյունաբերութեան (պարարտանյութերի, սոդայի, նավթի, ալիգարինի, տորսի և այլն) զարգացման պատկերը:

Վրաստանից, Հայաստանից և Աղբրեջանից հալաքած իր հարուստ կոլեկցիան նա հանձնեց Կովկասյան Թանգարանին:

Հնորափութեան չունենալով թվարկելու ըստ հալաքածուների, մենք սահմանափակվում ենք հիշատակելով դրանցից միայն զխաղիները:

1. Մաղկունքի (Միսխանայի) լեռների երկաթի, պղնձաքարի և ծծրաքարի հմուշները:

2. Միտիմազանի, էլլար-դազի երկաթաժայլի, մազնիտային երկաթա-
քարի, պղնձի հանքավայրերի նմուշները:

3. Ալավերդու, Շամլուզի և Ախթալայի հանքավայրի պղնձահանքի
նմուշները:

Նրա կողմից ներկայացված է նաև Սևանի հյուսիս-արևմտյան մերձ-
ամենյա մասից հավաքած հավաքածուն. այդտեղ ուղարկված արշավու-
խումբը երևան—Նախիջևանի վրայում անցել է մինչև Հայաստանի հարա-
վային կուսար՝ Նյուֆադի դուղը: Հավաքածուի այդ մասն առանձնա-
պես արժեքավոր է այն անասկեփոց, որ մարջրուտի այդ մասը քիչ թե
շատ մանրադնին երկրաբանական հետազոտման ենթարկված չի եղել այլ
մասնագետների կողմից:

Արժույթի գեոլոգո-միներալոգիական առաջին հետազոտությունները,
որոնց վրա նա աշխատել է երկար տարիներ, նվիրված էին Հարավային
Ալավերդու Ալավերդու համա աշխատանք է կատարել արդյունաբերություն
համար արժեքավոր նոր հանքավայրերի հայտնաբերման ուղղությամբ,
սովել է նոր մեթոդական ջուլումներ և միներալոգիական գիտություն-
ներ՝ կրիստալոգրաֆիայի, կրիստալոգրաֆիայի, միներալոգիայի և գեոքի-
միայի համար մշակել է մի շարք գրույթներ: Ֆիզիկո-քիմիական կրիստա-
լոգրաֆիայի նրա մշակած նոր մեթոդը մեծ ծառայություն մատուցեց հան-
քանյութերի արոման գործին և սկսած 90-ական թվականների վերջերից
օգտագործվում է հանքավայրերում երկաթային միներալների ուսումնասի-
րության գործում:

Միներալոգիական ընկերության առաջագրանքով Արժույթին ձեռ-
նարկել է Հայաստանի ընդհանրապահների ուսումնասիրությունը: 1895 թ.
նա ուսումնասիրել է Փարս Մասիսը և մշակել Մեծ Մասիսի ուսումնասի-
րության հետագա պլանը: Նրա «Ճանապարհորդություն գեոլոգի Փարս Մա-
սիսի զագաթի» գիրքը հրատարակվել է Բեռլինում և այժմ էլ իրենից ու-
շագրավ նշույթ է ներկայացնում:

Արժույթու աշխատությունների համառոտ անսույնը լիցի է առ-
վա այն ուղին, որով զուտ կրիստալոգրաֆիական և միներալոգիական գի-
տություններից նա անցել է գեոլոգի նոր ռահմանդոց գեոքիմիան:

Դիտություն ընդհանրապես անտառան մարտիկ Արժույթին բոլոր ու-
ժերը նվիրեց միներալոգիական և գեոլոգիական ուսումնասիրություններին և
որպես իսկական գիտական հակայական ծառայություններ մատուցեց գի-
տությունը և հայ ժողովրդին, որին պարտական էր իր ծագմամբ: Մնում է
ափսոսել, որ նա իր գիտական գործունեություն ծաղկման շրջանում, ջարա-
կան բեծիմի ծանր ճնշման տակ, թողեց հայրենիքը և հետագայով եվրոպա:

Հայ գիտականներից Ա. Արժույթին առաջինն ապացուցեց, որ կա-
րող է մրցել օտարերկրացիների հետ և անցնել նրանցից, գեոլոգիայի կի-
րոպական բարձրագույն ուսումնական հաստատություններում ամբիոն և
բարձր պահել առաջավոր գիտությունը գրադր: Նրա արժեքը, որպես կիր-
պական գիտականի, խոշոր է: Նրան հիշում ու խորապես մեծարում են.
նրա անվանը հանդիպում ենք բոլոր խոշոր հանրագիտական բառարաննե-
րում (պրոֆեսոր Բ. Ե. Անդրեևսկու Մեծ Հանրագիտարանում 1890—1902
թ. թ.), Սովետական Մեծ Հանրագիտարանի 2-րդ հատորում, ինչպես և

Ֆրանսիայում, Գերմանիայում ու Անգլիայում հրատարակված հանրագիտական բառարաններում)։

Ա. Արծրունին ուներ շատ աշակերտներ ու հետևորդներ և ստեղծեց իր շիկուն. աշակերտները նրանից ընդօրինակեցին և յուրացրին նրա հետադրական աշխատանքի կատարելագործված մեթոդները։

Լինելով գիտության զոհուոր, նա երբեք չկտրվեց պրոֆեսորական գործունեությունից և գիտական կադրեր դաստիարակելու գործից։ Նա չէր կանգնում անհաջողությունների առջև և մեծ պայքար էր մղում կրիստալոգրաֆիայի նոր տեսությունների արմատավորման համար։ Նրան վիճակվեց տեսնել իր տեսության վերջնական հաղթանակը։

Արծրունին մասնակցել է միջազգային գեոլոգիական 7 կոնգրեսների, եղել է Բեռլինի, Լոնդոնի, Մոսկվայի և Ուրալի միներալոգիական ընկերությունների անդամ, իսկ 1896 թ. ընտրվել է Ռուսաստանյան Գիտությունների Ակադեմիայի թղթակից-անդամ։

Որպես պրոֆեսորի գիտության զարգացման մարտիկ, նա անվերապահորեն մերժեցել է ուռւ լավագույն գիտնականներին, Հանձինս նրա՝ 19-րդ դարի բնագիտության հայ նորարարներից մեկի, մենք ունենք տկանավոր գիտնականի, մանկավարժի և հասարակական գործչի զարմանալի զուգորդում։

Արծրունին չէր սահմանափակվում միայն իր մասնագիտությամբ, նա միաժամանակ խոշոր հասարակական գործիչ էր։ Սկսած ուսանողական տարիներից նա իր սրտին շատ մոտ էր ընդունում հայ ժողովրդի շահերը, գործնական մասնակցություն ցուցաբերելով հայ ժողովրդի կյանքի կուլտուրական բոլոր իրադարձություններին։ Երկար տարիների ընթացքում նա իր գրիչը նվիրել է հայ ժողովրդի պաշտպանությանը, գրում էր քննադատական ու հրապարակախոսական հոդվածներ և կլանված էր հայ գյուղացիության բախտի հարցերով։ Նրա հոդվածները լի էին նաև արտասահմանյան հայերի տնտեսական և կուլտուր-կենցաղային հարցերով։ Միաժամանակ Արծրունին շոշափում էր հայապատկան հարաբերությունները, կողմնորոշվելով դեպի ուսական օրինատացիան։

Նրա հոդվածները մեծ հետաքրքրություն էին առաջացնում կովկասի հասարակության մեջ, քանի որ Արծրունին հանդես էր գալիս ոչ միայն որպես իր երկրի բնական հարստությունների հետախույզ, այլ միաժամանակ որպես իր հետազոտած մարզերում ապրող ժողովուրդների կենցաղը նկարագրող տուրիստ։ Նա ուշադրություն էր հրավիրում գյուղացիության մեջ տիրող աղիտության և նախապաշարմունքների դեմ պայքարելու վրա, գյուղացիների հետ զրուցելու և մամուլի միջոցով խորհուրդներ ու ցուցումներ էր տալիս հայրենակիցներին։ Սակայն երբ հայ ինտելիգենցիան ցանկացավ նրան ընտրել Ներսիսյան դպրոցի վերատեսուչ, հոգևոր գերատեսչությունը, հանձինս թեմի պետ Մարգարի, չհաստատեց նրան այդ պաշտոնում և նա ստիպված եղավ մեկնել Թիֆլիսից։ Հայրենիքից հեռու էլ Արծրունին շարունակում էր մտածել իր ժողովրդի մասին և ծառայել նրան։

Մինչև իր կյանքի վերջը նրան գուրգուրում էր մի միտք՝ հաստատվել Կովկասում։ Հանգամանքները նրան հնարավորություն չտվին իրական-

նացնել այդ տննչանքը: Նրան չվիճակվեց ապրել մինչև Հայաստանում սովորական կարգերի հաստատումը, անսնել իր ժողովրդի ազատագրումը:

Արժրուհու քննադատական աշխատություններն արժանի են մեծ ուշադրության: Հիշատակենք 31 էջանոց «Միներալների տեղագրության հարցի շուրջը» մենագրությունը, հրատարակված 1889 թվին Բեռլինում, այդ խնդրի շուրջը 1886 թ. հրատարակված Դիրշվալդի գրքի կապակցությամբ, որտեղ նա գրում է.

«Պ-ն Դիրշվալդի սկզբունքով ամեն ոք կարող է անպատիժ անարգել գիտությանը, մինչդեռ քննադատությունը բարձրագույն կոլեկտիվ որոշման, կամ թեկուզ ահաբեկման հանապարհով պետք է վերացվի և համարձակվի ըստ արժանվույն գնահատելու թույլ աշխատանքները... Էլ ավելի վճառքար բողոքում եմ գիտության աղնիվ մշակների մի շարք սերունդների գործունեությունն արատավորող այդպիսի տգետ վերաբերմունքի դեմ: Իսկ պահանջում եմ ամեն մեկից, ով լուրջ և աղնիվ է վերաբերվում գիտությանը, հարել ինձ, որպիսով ես անգուն ճակատով դիմադրենք այն անձի ոտնձգությունների դեմ, որը գիտության անվան տակ թաքնվելով բռնանում է գրականության վրա»:

Ոչ սակավ ուսանելի են 1897 թ. հրատարակված Վիեննայի միջնաբերդյան Գաբրիել Մենելիշյանի գեոլոգիայի և միներալոգիայի երկու գրքի մասին Արժրուհու քննադատական դիտողությունները, որոնք մինչև օրս մեզ համար մեծ արժեք են ներկայացնում մինչևաշուրջական հայկական տերմինաբանության խնդրում և հատկապես արժեքավոր են նրանով, որ սխալների հայտնաբերմանը զուգահեռ նրանց ուղղման համար բերվում են լուրջ միաստորակներ: Բացի այդ, նա դեմ է արտահայտվում տերմինների արհեստական ընդհանուր թարգմանությունը, եթե այդպիսիները չկան մեր գործածական լեզվում:

Արժրուհու քննադատական մի այլ դիտողություն վերաբերում է Շտրեկերի Հայկական լեռնաշխարհի և Վանա լճի ուսումնասիրությանը նվիրված գրքին: Վանա լճի մակերևույթի տատանումների պատճառները Շտրեկերը վերագրում է կլիմայական ֆակտորներին: Արժրուհին հատուկ կարծիք է արտահայտում և հանգամանորեն ապացուցում, որ մակերևույթի տատանումները կախված են գեոլոգիական ֆակտորներից: Հետագա, արդեն ավելի նեղ մասնագիտության հետախույզները (ՍՍՌՄ Գիտ. Ակադ. Անդրեյովկայան արշավախմբի մասնակիցները 1928, Հայկական ՍՍՌ ԳԱ իսկական անդամ Կ. Ն. Պաֆենհոլց, պրոֆ. Օգանեզով) Վանա լճի, ինչպես և Ուրմիա ու Սևանա լճերի ջրերի մակերևույթների տատանումների ուսումնասիրության ժամանակ կատարած դիտողությունների հիման վրա համոզվում են Արժրուհու հայացքի ճշմարտության մեջ:

Կյանքի վերջին տարիներին Արժրուհին էլ ավելի մեծ լարվածությամբ է շարունակում իր զբաղմունքները և ցուցաբերում մեծ ակտիվություն, զարմանալի արագությամբ կազմակերպում արշավախմբեր: 90-ական թվականների սկզբին նրան տեսնում ենք Եզրիպտոսում և Նուբիայի անապատում՝ զբաղված զմրուխտների ուսումնասիրությամբ: 1892 թ. արդեն Մուրզինկայում բերլինումի (ֆորստերիտ, ցեխատին և այլն) բյուրեղների ուսումնասիրությամբ: Ավելի ուշ նրան հանդիպում ենք Բեռլինում, որտեղ նա սրբազրում էր բյուրեղների ֆիզիկական քիմիայի մասին իր մեծ մե-

նապրութեանը, որը հրատարակվեց Բեռլինում 1893 թ. 1894 թ. նա ղեկավարում է ապառներին և միներալների ուսումնասիրութեան համար կազմակերպված Հայաստանյան արշավախումբը: 1895 թ. նա մասնակցում է Բրիտանական Դվիանայի ոսկերեր հանքավայրերի տեղադրման աշխատանքների համար կազմակերպված արշավախմբին: 1897 թ. գալիս է Պետերբուրգ՝ մասնակցելու համաշխարհային գեոլոգիական 7-րդ կոնգրեսին: Նույն թվին Բեռլինում հրատարակվում է նրա հատուկ մենագրութեան Ուրալի ուսումնասիրութեան կապակցութեամբ, որի մասին ղեկուցել էր կոնգրեսում: Երկար տարիներ տեղո ծանր հիվանդութունը հյուժում է Արքեպիսկոպոսը, սակայն նա մինչև իր կյանքի վերջին րոպեները լի էր եռանդով և աշխատանքի սիրով: Նույնիսկ մահից երեք օր առաջ նա գրում է բարեկամներին, որ մտադրվել է վերջացնել Հայաստանի մասին իր հետազոտութեանները:

Արքեպիսկոպոսն վախճանվեց 1898 թ. Շվեյցարիայում:

Նրա դին պաշտոնակիցների և աշակերտների պահանջով բերվում է Ասխեն, սակայն բարեկամների և ազգականների միջնորդութեամբ տեղափոխվում է Թիֆլիս: Աշակերտներից շատերն ուղևորվում էին նրա դադաղը Գերմանիայից դեպի Թիֆլիս. նրանց թվում կային եվրոպական դանադան գիտական ընկերութեանների և հիմնարկների ներկայացուցիչներ: Նրան թաղեցին եղբոր կողքին, Խոջիվանքի հայկական գերեզմանատանը: Հանձնես Արքեպիսկոպոս գերեզման իշավ Ռուսաստանի միներալոգիայի ամենագիտակ անձնավորութեաններից մեկը:

Անդրեաս Արքեպիսկոպոսն թողել է խոշոր դրական ժառանգութուն, որը երկար տարիների ընթացքում ծառայել է որպես նոր գաղափարների և պրպտումների աղբյուր:

Ակադեմիկոս Աերնադսկու կարծիքով նա հանդիսանում էր իր ժամանակի միներալոգիայի ամենահեղինակավոր, աշխատասեր և կրթված պրոֆեսորներից մեկը, կրիստալոգրաֆիայի և միներալոգրաֆիայի բնագավառում ամենաճշգրիտ և զգույշ հետախույններից մեկը, որի ծառայութեանների շնորհիվ միներալոգիան հարստացավ միներալներով և միներալների ֆիզիկո-քիմիական ուսումնասիրութեան մեթոդով, որը սկիզբ հանդիսացավ գեոքիմիայի—որպես ինքնուրույն գիտութեան ձևավորման և որը ներկայումս էլ մեծ ծառայութեուն է մատուցում միներալների պարագենետիկական հետազոտութեանների և հանքերի որոնումներին ժամանակ:

Արքեպիսկոպոսն հայտնաբերել և բազմակողմանի ուսումնասիրել է մի շարք նոր հանքանյութեր և շատ օգտակար հանածոներ Հարավային Ուրալում և Կովկասում (ոսկերերութեան ուսումնասիրութեունը Ռուսաստանում—Ուրալ, Կովկաս և այլն):

Իր գիտական աշխատութեաններում Արքեպիսկոպոսն հետևում էր գիտութեունը գործնականին—պրակտիկային շահկապելու անհրաժեշտութեան սկզբունքին և հատուկ ուշադրութեուն էր դարձնում Կովկասի քիմիական արդյունաբերութեան զարգացմանը, մեր հայրենիքի ծաղկման և բարգաւաճման հարցին: Ավելի քան 60 տարի առաջ նրա առաջադրած խնդիրները ոչ միայն շեն կորցրել իրենց գիտական և գործնական հետաքրքրութեունը, այլ ավելի են սրվել և դարձել այժմեական:

Ժամանակակիցները բարձր են գնահատել նրա նշանակութունը, որպես գիտության կազմակերպչի:

Նա շատ եռանդ և աշխատանք ծախսեց պոլիտեխնիկ ինստիտուտներում տեխնիկական գիտությունների ստեղծման և ամրապնդման համար: Նա միներալոգիական-գեոլոգիական աշխատությունների առաջին քննադատն էր և վերլուծողը:

Արժրուհին եղել է շատ նոր ձեռնարկումների նախածնողը, փաստորեն հանդիսանալով Թիֆլիսի Կովկասյան Թանգարանի գեոլոգիական բաժնի կազմակերպիչը, Կովկասի օգտակար հանածոների մասին հայերեն լեզվով զբոլ առաջին թղթակիցը, անգրկովկասյան և մասնավորապես հայաստանյան արշավախմբերի առաջին կազմակերպիչը: Նա կողմնակից էր կոմպլեքս հետախուզությունների մեթոդին և հարցերի լուծմանը շատ մասնագետների մասնակից դարձնելուն:

Արժրուհու մահվան առթիվ գրած իր հոդվածում Վերնադսկին հույս է հայտնում, որ նրա թղթերում հայտնաբերված նյութերը վերջպահս կհրատարակվեն: Մենք ևս հուսով ենք, որ մոտ ապագայում բոլոր միջոցները ձեռք կառնվեն ներկայումս արխիվներում ցրված նրա բոլոր նյութերի հավաքման ուղղությամբ, և հրատարակության համար կպատրաստվեն նրա գլխավոր աշխատությունները: Յանկալի է վերահրատարակել նաև եղբորը և բարեկամներին գեղեցիկ հայերենով գրած նրա ընտիր նամակները, որոնք մասամբ հիմք կարող են ծառայել միներալոգիական-գեոլոգիական տեղմիաբանության համար: Արժրուհու աշխատությունները կարող են լինել սեղանի զիրք գիտնականների համար: Արժրուհու ծննդյան 100-ամյակի կապակցությամբ անհրաժեշտ ենք համարում միտք հայտնել, որ ստեղծվի գիտնականին արժանի հուշարձան՝ քննական գիտությունների պատմության բաժին-Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիային կից:



ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

А. Г. Назаров

Разложение импульсивных функций в ортогональные ряды

В одной из предыдущих работ мы установили [1], что импульсивные функции можно трактовать как специальным образом подобранные неравномерносходящиеся ряды.

К этому вопросу мы здесь вернемся с несколько иной точки зрения. Именно, остановимся на задаче о разложении импульсивных функций в ортогональные ряды. Эта операция широко применяется при решении технических задач. Мы подойдем к ней в связи с разработанным нами понятием о контурной производной [2,3].

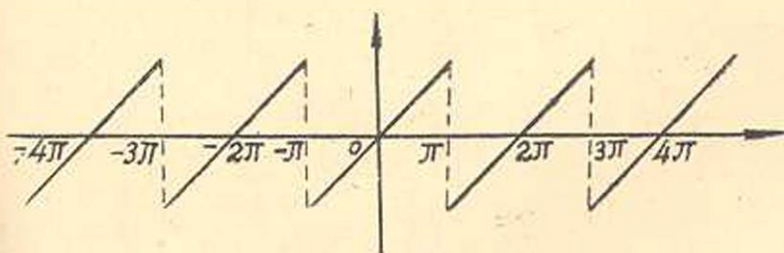
1. Разложение в ряд Фурье $\varphi(x)$ и $[\varphi(x)]'$. Рассмотрим разложение в ряд Фурье функции $\varphi(x)$, определяемой формулой:

$$\varphi(x) = x \text{ при } -\pi < x < \pi.$$

Эта функция имеет точки прерывности первого рода при $x = (2n+1)\pi$, где n — любое целое число (фиг. 1).

Как известно, разложение этой функции в ряд имеет вид:

$$\varphi(x) = 2 \left(\sin x - \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} - \dots \right). \quad (1)$$



фиг. 1

Производная $\varphi(x)$ в обычном смысле равна:

$$\varphi'(x) = 1$$

Разложение этой функции в ряд Фурье представится лишь одним членом:

$$\varphi'(x) = \frac{a_0}{2} = 1 \quad (2')$$

С другой стороны, почленное дифференцирование (1) дает:

$$2(\cos x - \cos 2x + \cos 3x \dots) \quad (2)$$

Мы видим, что между (2') и (2) нет ничего общего. Следует ожидать, что (2') изображает собой контурную производную $\varphi(x)$, т. е.:

$$[\varphi(x)]' = 2(\cos x - \cos 2x + \cos 3x \dots) \quad (2)$$

Чтобы убедиться в этом, обратимся к фиг. 1. Функцию в сегменте $[-\pi; +\pi]$ следует изобразить следующим образом:

$$\varphi(x) = x[\Gamma(x+\pi) - \Gamma(x-\pi)]. \quad (3)$$

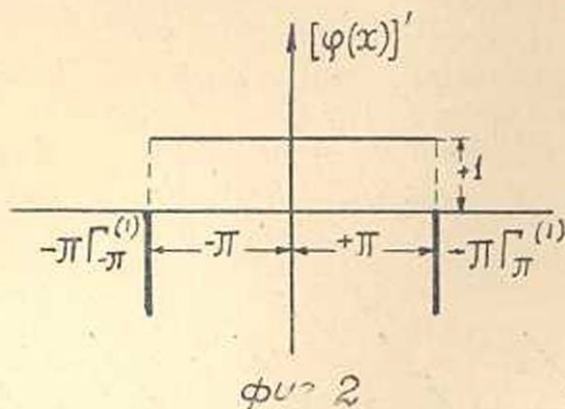
Контурная производная этой функции равна:

$$[\varphi(x)]' = -\pi[\Gamma^{(1)}(x+\pi) + \Gamma^{(1)}(x-\pi)] + \Gamma(x+\pi) - \Gamma(x-\pi). \quad (4)$$

Разложение в ряд Фурье выражения (3) попрежнему определяется формулой (1), так как при определении коэффициентов Фурье пределы интегрирования как раз совпадают с $\Gamma(x+\pi)$ и $\Gamma(x-\pi)$.

Геометрическое изображение функции (4) дано на фиг. 2.

Попытаемся теперь разложить в ряд эту функцию, хотя она и не удовлетворяет условиям Дирихле. Ввиду симметрии функции от-



носительно начала координат она должна разложиться в ряд по косинусам. В данном случае условия задачи таковы, что импульсивные функции должны быть включены в пределы интегрирования.

Итак, имеем:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi-0}^{+\pi+0} [\varphi(x)]' \cos nx \, dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi-0}^{+\pi+0} [-\pi(\Gamma^{(1)}(x+\pi) + \Gamma^{(1)}(x-\pi)) + \Gamma(x+\pi) - \Gamma(x-\pi)] \cos nx \, dx$$

$$= - \int_{-\pi-0}^{\pi+0} \left(\Gamma_{(1)}^{(1)}(x+\pi) + \Gamma_{(1)}^{(1)}(x-\pi) \right) \cos nx dx + \frac{1}{\pi} \int_{-\pi-0}^{\pi+0} \left(\Gamma(x+\pi) - \Gamma(x-\pi) \right) \cos nx dx$$

Первый интеграл равен (поскольку $\Gamma_{(x-a)}^{(1)} f(x) = \Gamma_{(x-a)}^{(1)} f(a)$) и

$$- \left[\cos(-n\pi) + \cos(n\pi) \right] = -2 \cos n\pi.$$

Второй интеграл дает

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \cos nx dx = \begin{cases} 0 & \text{при } n \neq 0 \\ 2 & \text{при } n = 0 \end{cases}$$

Отсюда окончательно получим:

$$a_0 = 0;$$

$$a_n = -2 \cos n\pi = (-1)^{n-1} \cdot 2.$$

Стало быть, получим (2).

Таким образом, результат дифференцирования ряда Фурье для $\varphi(x)$ совпадает с разложением в ряд контурной производной $\varphi(x)$.

Самый ряд (2) является расходящимся. Однако, впоследствии мы покажем, что при суммировании этого ряда процессом средне-арифметических он является действительным изображением контурной производной $\varphi(x)$.

2. Почленное дифференцирование ряда Фурье функций, имеющих точки прерывности первого рода. Если в предыдущем примере для $\varphi(x)$ вместо x принять $x - \xi$, что равносильно переносу начала координат, то получим ряд

$$\varphi(x - \xi) = 2 \left(\frac{\sin(x - \xi)}{1} - \frac{\sin 2(x - \xi)}{2} + \frac{\sin 3(x - \xi)}{3} - \dots \right)$$

Ряд этот непрерывен повсюду, за исключением точек конгруэнтных с $x - \xi + \pi$. В этих точках $\varphi(x - \xi)$ претерпевает скачок от предельного значения слева π к предельному значению справа $-\pi$.

Пусть теперь $f(x)$ есть любая периодическая функция, имеющая в промежутке $-\pi < x < \pi$ точки прерывности первого рода $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ со скачками $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$.

Образует вспомогательную функцию

$$F(x) = f(x) - \frac{\delta_1}{2\pi} \varphi(x + \pi - \xi_1) - \frac{\delta_2}{2\pi} \varphi(x + \pi - \xi_2) - \dots - \frac{\delta_n}{2\pi} \varphi(x + \pi - \xi_n).$$

Эта периодическая функция $F(x)$ всюду непрерывна и имеет ограниченную кусочно-непрерывную производную на $(-\pi; +\pi)$.

Составляющая членов ряда Фурье, соответствующая $F(x)$ при дифференцировании, дает $\frac{dF(x)}{dx}$; дифференцирование же составляющих членов ряда Фурье соответствующих $f(x) - F(x)$ дает изображение контурных производных

$$\frac{1}{2\pi} \sum \delta_i \left[\varphi(x + \pi - \xi_i) \right]',$$

уже изученных нами ранее.

Таким образом, справедливо следующее предложение: *почленное дифференцирование ряда Фурье непрерывной функции $f(x)$, удовлетворяющей условиям Дирихле, дает ряд, изображающий контурную производную $f(x)$.*

3. Ряды для импульсивных функций и контурные производные высших порядков. Разложим в ряд импульсивную функцию $\Gamma_{(x)}^{(1)}$ в интервале $(-\pi; +\pi)$, что равносильно периодической повторяемости этой функции через промежутки 2π .

Рассматриваемая функция четная; поэтому она должна дать разложение в ряд по косинусам. Коэффициенты равны:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(x) \cos nx dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \Gamma_{(x)}^{(1)} \cos nx dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \Gamma_{(x)}^{(1)} dx = \frac{1}{\pi}$$

Искомый же ряд:

$$\Gamma_{(x)}^{(1)} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \cos x + \cos 2x + \dots + \cos nx + \dots \right) \quad (5)$$

Этим же результатом мы могли бы воспользоваться для разложения (4) (см. фиг. 2)

$$\begin{aligned} [\varphi(x)]' &= -\pi \left(\Gamma_{(x+\pi)}^{(1)} + \Gamma_{(x-\pi)}^{(1)} + \Gamma_{(x-\pi)}^{(1)} - \Gamma_{(x+\pi)}^{(1)} \right) = \\ &= -1 \left[\frac{1}{2} + \cos(x+\pi) + \cos 2(x+\pi) + \dots + \cos n(x+\pi) + \dots \right] \\ &\quad - 1 \left[\frac{1}{2} + \cos(x-\pi) + \cos 2(x-\pi) + \dots + \cos n(x-\pi) + \dots \right] + 1 \\ &= 2(\cos x - \cos 2x + \cos 3x - \dots), \end{aligned}$$

что совпадает с (2).

Разложим теперь в ряд $\Gamma_{(x)}^{(2)}$. Функция эта нечетная, поэтому она должна дать разложение по синусам. Коэффициенты:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \Gamma_{(x)}^{(2)} \sin nx dx.$$

Но согласно (2,3)

$$b_n = -\frac{n}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \Gamma_{(x)}^{(1)} dx = -\frac{n}{\pi}$$

Искомое разложение имеет вид:

$$\Gamma_{(x)}^{(2)} = -\frac{1}{\pi} (\sin x + 2 \sin 2x + 3 \sin 3x \dots + n \sin nx \dots) \quad (6)$$

Рассмотрим эту же задачу в общем виде, т. е. разложим в ряд функцию $\Gamma_{(x)}^{(k)}$, рассматриваемую в промежутке $(-\pi; +\pi)$, причем k — любое целое положительное число.

Разберем отдельно два случая в зависимости от четности или нечетности функции.

Пусть $\Gamma_{(x)}^{(k)}$ — четная функция, т. е. k — нечетно. Тогда имеет место разложение по косинусам.

Коэффициенты определяются следующим образом:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \Gamma_{(x)}^{(k)} \cos nx dx = (-1)^{\frac{k-1}{2}} \cdot \frac{n^{k-1}}{\pi}$$

Искомое разложение имеет вид:

$$\Gamma_{(x)}^{(k)} = \frac{(-1)^{\frac{k-1}{2}}}{\pi} \left(\cos x + 2^{k-1} \cos 2x + 3^{k-1} \cos 3x \dots + n^{k-1} \cos nx \dots \right) \quad (7)$$

при k — нечетном.

В случае, если функция $\Gamma_{(x)}^{(k)}$ нечетна, т. е. k — четно, она дает разложение по синусам.

В этом случае

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \Gamma_{(x)}^{(k)} \sin nx dx = (-1)^{\frac{k}{2}} \frac{n^{k-1}}{\pi},$$

и ряд

$$\Gamma_{(x)}^{(k)} = \frac{(-1)^{\frac{k}{2}}}{\pi} \left(\sin x + 2^{k-1} \sin 2x + 3^{k-1} \sin 3x \dots + n^{k-1} \sin nx \dots \right) \quad (8)$$

при k — четном.

Если подставить в выражение (8) значение $k=2$, получим найденное непосредственно (6).

Почленное дифференцирование ряда (5) для $\Gamma_{(x)}^{(1)}$ дает разложение в ряд для $\Gamma_{(x)}^{(2)}$ и т. д.

Таким образом, и в данном случае можно прийти к заключению, что почленное дифференцирование ряда для импульсивной функции равносильно отысканию ряда для импульсивной функции высшего порядка.

Если импульсивные функции требуется разложить в ряды по $\cos \frac{n\pi x}{l}$ и $\sin \frac{n\pi x}{l}$, т. е. представить, как периодические функции периода $2l$, то выражения (5), (7), и (8) на основании

$$a_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^{+l} f(x) \cos \frac{n\pi x}{l} dx, \text{ и } b_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^{+l} f(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx$$

примут вид

$$\Gamma_{(x)}^{(1)} = \frac{1}{2l} + \frac{1}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{n\pi x}{l};$$

$$\Gamma_{(x)}^{(k)} = (-1)^{\frac{k-1}{2}} \frac{1}{l} \left(\frac{\pi}{l}\right)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} n^{k-1} \cos \frac{n\pi x}{l}$$

при k —нечетном и

$$\Gamma_{(x)}^{(k)} = (-1)^{\frac{k}{2}} \frac{1}{l} \left(\frac{\pi}{l}\right)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} n^{k-1} \sin \frac{n\pi x}{l};$$

при k —четном.

Полученные результаты позволяют обобщить предыдущие выводы следующим образом.

Положим, что $f(x)$ —периодическая функция, имеющая в промежутке $(-\pi < x < \pi)$ точки прерывности первого рода $\xi_1^{(0)}, \xi_2^{(0)} \dots \dots \xi_k^{(0)}$, где она претерпевает скачки $\delta_k^{(0)}$, а ее производные $f_{(1)}(x)$, до k -го порядка включительно имеют точки прерывности первого рода $\xi_1^{(1)}, \xi_2^{(2)} \dots \dots \xi_n^{(i)}$, где они претерпевают скачки $\delta_k^{(i)}$.

При этом функция и ее производные удовлетворяют условиям Дирихле. Было установлено, что почленное дифференцирование ряда для $f(x)$ дает новый ряд, изображающий контурную производную $f'(x)$.

Эта последняя складывается из суммы импульсивных функций $\sum_{k=1}^{k=n} \delta_k^{(0)} \Gamma(x - \xi_k^{(0)})$ и кусочно-непрерывной функции $f'(x)$.

Первое слагаемое, согласно (5), имеет вид

$$\sum_{k=1}^n \frac{\delta_k^{(0)}}{\pi} \left[\frac{1}{2} + \cos(x - \xi_k) + \cos 2(x - \xi_k) \dots \dots \cos n(x - \xi_k) \dots \right] \quad (9)$$

Поэтому последующее почленное дифференцирование ряда для контурной производной, то-есть для $[f(x)]'$, сводящееся к дифференцированию выражения (9) и ряда $f'(x)$, приведет к ряду, члены которого

состоят из трех слагаемых: слагаемые, отвечающие импульсивным функциям второго и первого порядков, а также слагаемое, отвечающее $f''(x)$. Поэтому, полученный ряд после вторичного дифференцирования является изображением второй контурной производной от $f(x)$. Наконец, по тем же причинам k -кратное почленное дифференцирование ряда для $f(x)$ должно дать разложение в ряд контурной производной $f(x)$ k -го порядка при условии, что как $f(x)$, так и ее производные до k -го порядка включительно удовлетворяют условиям Дирихле.

Ряды, отвечающие импульсивным функциям, являются расходящимися; поэтому расходящимися должны быть и ряды, изображающие контурные производные $f(x)$. С точки зрения суммирования полученных рядов в обычном смысле, последние являются лишь формальными изображениями контурных производных $f(x)$.

Оценим порядок коэффициентов разложения Фурье для контурных производных от $f(x)$. Известно, что если периодическая непрерывная функция $f(x)$ имеет всюду непрерывные производные до $(k-1)$ порядка включительно, то ее коэффициенты Фурье a_n и b_n будут при $n \rightarrow \infty$ порядка $\frac{1}{n^k}$. В частности, если сама функция $f(x)$ имеет

точки прерывности первого рода, то коэффициенты Фурье для нее порядка $\frac{1}{n}$, причем ее ряд является еще сходящимся. Если ряд этой функции почленно продифференцировать k раз, т. е. рассмотреть ряд для ее контурной производной k -го порядка, то члены ряда должны содержать составляющие, отвечающие импульсивным функциям k -го порядка. Согласно (1) и (8), порядок коэффициентов ряда должен быть равным $\frac{k-1}{n}$.

Таким образом, каждое последующее дифференцирование ряда понижает быстроту его сходимости. С того момента, как ряд стал расходящимся, члены его должны содержать составляющие типа (9), что означает наличие у изображаемой рядом функции импульсивных функций первого порядка. Дальнейшее дифференцирование приводит ко все сильнее расходящимся рядам, содержащим импульсивные функции высших порядков.

4. *Суммирование процессом средне-арифметических.* Разложения, приведенные в предыдущих разделах, носят формальный характер, так как они привели к рядам, не имеющим смысла с точки зрения обычного суммирования.

Нетрудно показать, что если разлагаемая в ряд функция $f(x)$ содержит импульсивные функции первого порядка, а непрерывная ее часть удовлетворяет условиям Дирихле, то полученный ряд имеет смысл с точки зрения суммирования процессом средне-арифметических, т. е. действительно изображает $f(x)$. Известно, что

если ряд суммируется в обычном смысле, то и суммирование его процессом средне-арифметических дает тот же предел.

Пусть теперь $f(x)$ представляет собой сумму некоторых импульсивных функций первого порядка и функции $f_1(x)$, удовлетворяющей условиям Дирихле. Так как составляющие членов ряда Фурье, соответствующие части $f_1(x)$, сходятся к пределу в обычном смысле, то процесс средне-арифметических дает тот же результат. Достаточно, поэтому, рассмотреть составляющие членов ряда, отвечающие разрывной части $f(x)$ вида $\sum \delta_k \Gamma^{(1)}(x - \xi_k)$.

Ограничимся изучением обобщенного предела для ряда, изображающего $\Gamma^{(1)}_x$, так как перенос начала координат в $x = \xi_k$, почленное умножение членов ряда на δ_k и конечное суммирование не смогут повлиять на его сходимость. Итак, рассмотрим

$$\pi \Gamma^{(1)}_x = \frac{1}{2} + \cos x + \cos 2x \dots \dots + \cos nx \dots \quad (5)$$

Обобщенный предел для этой суммы рассматривается в теории тригонометрических рядов. Мы изложим полученные результаты заново, с интересующей нас точки зрения.

При n —конечном сумма, заключенная в квадратные скобки, равна

$$S_n = \frac{1}{2} + \cos x + \cos 2x \dots \dots + \cos nx = \frac{\cos nx - \cos(n+1)x}{2(1 - \cos x)} \quad (10)$$

Составим средне-арифметическую сумму:

$$\sigma_n(x) = \frac{s_0 + s_1 \dots \dots + s_{n-1}}{n} = \frac{1}{2n} \frac{1 - \cos nx}{\cos x} \quad (11)$$

$$\text{При } n \rightarrow \infty, \sigma_n(x) = 0 \text{ при } x \neq 0.$$

Это есть необходимый признак для $\pi \Gamma^{(1)}_x$. Для того, чтобы окончательно убедиться, что сумма (11) при $n \rightarrow \infty$ действительно является изображением импульсивной функции, достаточно установить, что интеграл для (11), взятый в окрестности $x = 0$, равен π . Рассмотрим:

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2n} \int_{-\pi}^{+\pi} \frac{1 - \cos nx}{1 - \cos x} dx = \frac{1}{2n} \int_{-\pi}^{+\pi} \left(\frac{\sin \frac{nx}{2}}{\sin \frac{x}{2}} \right)^2 dx = \frac{1}{n} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\sin nt}{\sin t} \right)^2 dt = \\ &= \frac{2}{n} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\sin nt}{\sin t} \right)^2 dt \end{aligned}$$

Известно, что

$$\frac{2}{n\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\sin nt}{\sin t} \right)^2 dt = 1$$

при любом n .

Стало быть, $I = \pi$ при любом n , следовательно, и при $n \rightarrow \infty$. Но при $n \rightarrow \infty$ рассматриваемая функция стремится к нулю повсюду, за исключением $x=0$; поэтому

$$I = \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{+\pi} \frac{1 - \cos nx}{\cos x} dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{+\pi} \frac{1 - \cos nx}{\cos x} dx = \pi$$

при $x \rightarrow 0$, когда $n \rightarrow \infty$.

Итак, действительно, при суммировании ряда (5) процессом средне-арифметических мы получили импульсивную функцию $\pi \Gamma_{(x)}^{(1)}$ по существу.

Это позволит в приложениях, в ряде случаев не избегать дифференцирования расходящихся рядов, отождествляя это действие с контурным дифференцированием, что приведет к сокращению вычислительных работ.

Интегрирование рядов, содержащих импульсивные функции, также не вызывает затруднения. Чтобы в этом убедиться, достаточно рассмотреть разложение в ряды чисто импульсивных функций. Последовательное интегрирование выражений (7) и (18) дает снижение порядка импульсивной функции, причем постоянные интегрирования равны нулю. Некоторое осложнение получается при интегрировании ряда для $\Gamma_{(x)}^{(2)}$. В этом случае получается ряд для $\Gamma_{(x)}^{(1)}$, но без свободного члена, равного $\frac{1}{2\pi}$.

Последний можно получить, если произвольную постоянную интегрирования принять равной $\frac{1}{2\pi}$ из того соображения, что $\frac{1}{\pi} \sum \cos nx$ при суммировании процессом средне-арифметических равно $-\frac{1}{2\pi}$ при $x \neq 0$, в то время как, согласно условию, она должна быть равна нулю.

Возможность почленного интегрирования расходящихся рядов так, как будто они являются равномерно сходящимися, замечена давно. Этим обстоятельством часто пользуются в приложениях.

5. Разложение прерывных функций в ряд по ортогональным функциям. Почти все изложенное выше относительно разложения функций в тригонометрический ряд может быть распространено и на разложение ее по ортогональным функциям $\psi_i(x)$, определенным в

* Повидимому, для импульсивных функций k -го порядка, понадобится применение процесса средне-арифметических k -раз.

промежутке $(a; b)$ и образующим полную систему. Положим, что эта система нормирована; тогда разложение в ряд для функции $f(x)$ в промежутке $(a; b)$ запишется так:

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \psi_n(x); \quad A_n = \int_a^b f(x) \psi_n(x) dx \quad (12)$$

В общем случае $f(x)$ является кусочно-непрерывной функцией, имеющей конечное число скачков, и кроме того она содержит импульсивные функции первого и т. д. порядков.

Достаточно рассмотреть разложение в ряд импульсивных функций, так как разложение непрерывной функции для нас в данном случае интереса не представляет. Ряды должны получиться расходящимися; поэтому их следует, как и прежде, трактовать как формальные изображения импульсивных функций. Пусть $f(x) = \Gamma^{(1)}(x - \xi)$, $a > \xi < b$, тогда

$$A_n = \int_a^b \Gamma^{(1)}(x - \xi) \psi_n(x) dx = \psi_n(\xi)$$

и искомый ряд примет следующую билинейную форму

$$\Gamma^{(1)}(x - \xi) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n(x) \quad (13)$$

Возьмем, например, систему нормальных ортогональных функций вида

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}; \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin x; \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos x; \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin 2x; \dots \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin nx; \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos nx$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Gamma^{(1)}(x - \xi) &= \frac{1}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (\sin n\xi \sin nx + \cos n\xi \cos nx) \\ &= \frac{1}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} [\cos n(x - \xi)], \end{aligned}$$

что совпадает с рядом (5), если заменить в нем x через $x - \xi$. Для импульсивных функций k -го порядка найдем, согласно

$$A_n = \int_a^b \Gamma^{(k)}(x - \xi) \psi_n(x) dx = (-1)^{k-1} \psi_n^{(k-1)}(\xi),$$

и следовательно

$$\Gamma^{(k)}(x - \xi) = (-1)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n^{(k-1)}(\xi) \psi_n(x) \quad (14)$$

Если взять $k-1$ производную ряда (13), то найдем

$$\Gamma(x-\xi) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n^{(k-1)}(x) \quad (15)$$

Остается подтвердить, что почленное дифференцирование ряда импульсивной функции дает такую же высшего порядка. Для этого достаточно убедиться в тождественности (14) и (15):

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n^{(k-1)}(x) = (-1)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n^{(k-1)}(\xi) \psi_n(x) \quad (*)$$

Разложим $\psi_n^{(k-1)}(x)$ в ряд по тем же фундаментальным функциям

$$\psi_n^{(k-1)}(x) = \sum_{m=1}^{\infty} B_{mn} \psi_m(x); \quad B_{mn} = \int_a^b \psi_n^{(k-1)}(x) \psi_m(x) dx.$$

Подставляя это в (*), получим:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \sum_{m=1}^{\infty} B_{mn} \psi_m(x) = (-1)^{k-1} \sum_{m=1}^{\infty} \psi_m^{(k-1)}(\xi) \psi_m(x).$$

Так как x переменна, то должно иметь место равенство коэффициентов при каждом $\psi_m(x)$:

$$\sum_{n=1}^{\infty} B_{mn} \psi_n(\xi) = (-1)^{k-1} \psi_n^{(k-1)}(\xi) \quad (**)$$

Для проверки этого равенства выражение для B_{mn} проинтегрируем по частям $(k-1)$ раз:

$$\begin{aligned} B_{mn} &= \int_a^b \psi_n^{(k-1)}(x) \psi_m(x) dx = \left[\psi_n^{(k-2)}(x) \psi_m(x) \right]_a^b - \\ &\quad \left[\psi_n^{(k-3)}(x) \psi_m'(x) \right]_a^b \\ &\quad \dots + (-1)^{k-1} \int_a^b \psi_n(x) \psi_m^{(k-1)}(x) dx. \end{aligned}$$

Тогда левая часть (**) перепишется в виде

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) &\left[\left(\psi_n^{(k-2)}(b) \psi_m(b) - \psi_n^{(k-2)}(a) \psi_m(a) \right) - \right. \\ &\quad \left. \left(\psi_n^{(k-3)}(b) \psi_m'(b) - \psi_n^{(k-3)}(a) \psi_m'(a) \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \dots + (-1)^{k-1} \int_a^b \psi_n(x) \psi_m^{(k-1)}(x) dx \Big] \\
 &= \psi_m(b) \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n^{(k-2)}(b) - \psi_m(a) \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n^{(k-2)}(a) - \\
 & \quad - \psi_m(b) \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n^{(k-3)}(b) \\
 & \quad + \psi_m(a) \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \psi_n^{(k-3)}(a) \dots + (-1)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \int_a^b \psi_n(x) \psi_m^{(k-1)}(x) dx
 \end{aligned}$$

или, имея в виду (15), получим (формально):

$$\begin{aligned}
 & \psi_m(b) \Gamma^{(k-1)}(b-\xi) - \psi_m(a) \Gamma^{(k-1)}(a-\xi) - \psi_m(b) \Gamma^{(k-2)}(b-\xi) \\
 & \quad + \psi_m(a) \Gamma^{(k-2)}(a-\xi) \dots + (-1)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \int_a^b \psi_n(x) \psi_m^{(k-1)}(x) dx.
 \end{aligned}$$

Так как по условию $a < \xi < b$, стало быть $\xi \neq a$, $\xi \neq b$, то все приведенные выше члены, кроме последнего, равны нулю. Итак,

$$\sum_{n=1}^{\infty} B_{mn} \psi_n(\xi) = (-1)^{k-1} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\xi) \int_a^b \psi_n(x) \psi_m^{(k-1)}(x) dx.$$

Последний же член представляет собой ничто иное, как разложение в ряд функции $(-1)^{k-1} \psi_m^{(k-1)}(x)$. Тожественность (**) или, что тоже (*) установлена.

Итак, импульсивную функцию можно условно изобразить разложением в ряд, причем почленное дифференцирование последнего действительно дает ряд, соответствующий импульсивной функции высшего порядка.

В заключение следует подчеркнуть, что при решении конкретных задач с использованием ортогональных рядов мы можем получить в окончательном ответе расходящийся ряд. Из изложенного выше следует, что причиной этому может явиться наличие импульсивных функций в окончательном решении.

Необходимо из полученного функционального ряда выделить и отбросить составляющие членов ряда, отвечающих импульсивным функциям. В результате мы получим сходящийся ряд, дающий ответ на поставленный вопрос.

В данном случае импульсивные функции являются „несобственными“ решениями задачи.

Լ Ի Թ Ե Դ Ե Դ Ի Դ Ա

1. *А. Г. Назаров*—ДАН Армянской ССР, вып. VII, 1, 1947.
2. *А. Г. Назаров*—ДАН Армянской ССР, вып. VII, 4, 1947.
3. *А. Г. Назаров*—ДАН Армянской ССР, вып. VIII, 1, 1, 1948.

Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՅԱՆ

ԻՄՊՈՒԼՍԻՎ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ՎԵՐԱԾՈՒՄՆ ՕՐՏՈԳՈՆԱԼ ՇԱՐՔԵՐԻ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Տեխնիկական խնդիրներ լուծելիս լայնորեն օգտագործվում է ֆունկցիաների ներկայացումը օրտոգոնալ շարքերով:

Այստեղ ցույց է տրվում, որ յուրաքանչյուր իմպուլսիվ ֆունկցիա կարելի է ներկայացնել օրտոգոնալ ֆունկցիաներից կազմված շարքերի միջոցով:

Խնդիրներ լուծելիս, երբ օգտագործվում են օրտոգոնալ շարքերը, հաճախ վերջնական լուծումների մեջ ստացվում են ոչ զուգամետ շարքեր, որը կարող է արդյունք լինել շարքերում դանդաղ իմպուլսիվ ֆունկցիաների որոշ խնդրի «սեփական լուծումները» չեն հանդիսանում:

Այդ կապակցությամբ անհրաժեշտ է ստացված ֆունկցիոնալ շարքերից անջատել իմպուլսիվ ֆունկցիաներին համապատասխանող մասերը, որից հետո ստացվող շարքերը կլինեն զուգամետ և կտան խնդրի իսկական լուծումը:

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. А. Амбарцумян

Безмоментная теория анизотропных оболочек

Настоящая статья посвящена расчету анизотропных слоистых оболочек по так называемой „безмоментной теории“, когда напряжения от моментов и поперечных усилий столь незначительны, что ими можно пренебрегать.

В отношении равновесия задача безмоментной теории оболочек статически определима; поэтому статическая задача безмоментной теории анизотропных оболочек самостоятельного интереса не представляет.

Однако, перемещения и деформации анизотропных оболочек при безмоментном напряженном состоянии существенно будут отличаться от таковых, найденных для изотропных оболочек.

Укажем, что все условия, необходимые для существования безмоментного напряженного состояния данные для изотропных оболочек остаются в силе и для анизотропных оболочек.

1. Основные уравнения. Непосредственно из уравнений равновесия общей теории оболочек, для безмоментной задачи имеем [1, 2]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B T_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial AS}{\partial \beta} + \frac{\partial A}{\partial \beta} S - \frac{\partial B}{\partial \alpha} T_2 \right) + X &= 0 \\ \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B S}{\partial \alpha} + \frac{\partial A T_2}{\partial \beta} + \frac{\partial B}{\partial \alpha} S - \frac{\partial A}{\partial \beta} T_1 \right) + Y &= 0 \\ k_1 T_1 + k_2 T_2 &= Z^* \end{aligned} \quad 1.1$$

Как нетрудно заметить, количество неизвестных T_1 , T_2 , S соответствует количеству уравнений, т. е. имеем статически определимую задачу.

Для перемещений можем написать [3]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{A} \frac{\partial u}{\partial \alpha} + \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} v + k_1 w = \frac{1}{2\delta Q} (t_{22} T_1 - t_{12} T_2), \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} u + \frac{1}{B} \frac{\partial v}{\partial \beta} + k_2 w = \frac{1}{2\delta Q} (t_{11} T_2 - t_{12} T_1), \\ \omega &= \frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{u}{A} \right) + \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{v}{B} \right) = \frac{1}{2\delta t_{00}} S. \end{aligned} \quad 1.2$$

Здесь мы ограничиваемся рассмотрением слоистых оболочек симметричного, относительно срединной поверхности, строения, когда каж-

* Здесь и в дальнейшем будем придерживаться известных обозначений.

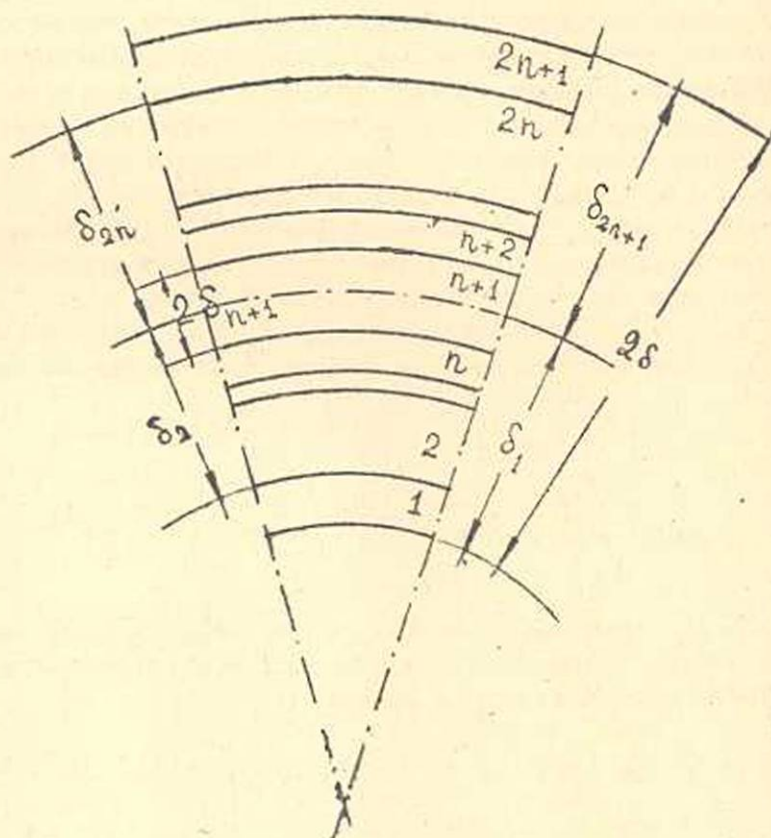
дый слой является ортотропным и главные плоскости упругой симметрии всех слоев взаимно параллельны, а одна из них в каждом слое параллельна срединной поверхности [4]. Считаем, что гипотеза Кирхгофа-Лява справедлива для всего пакета в целом; тогда для t_{ik} будем иметь [3]:

$$t_{ik} = \frac{1}{\delta} \left[B_{ik}^{n+1} \delta_{n+1} + \sum_{S=1}^n B_{ik}^S (\delta_S - \delta_{S+1}) \right] \quad 1.3$$

одновременно

$$\Omega = (t_{11} t_{22} - t_{12}^2). \quad 1.4$$

Здесь постоянные B_{ik}^m для любого слоя определяем из соотношений [4] (фиг. 1).



Фиг. 1.

$$B_{11}^m = \frac{E_a^m}{\gamma^m}, \quad B_{22}^m = \frac{E_\beta^m}{\gamma^m}, \quad B_{\alpha\beta}^m = G_{\alpha\beta}^m, \quad 1.5$$

$$B_{12}^m = \frac{E_a^m \mu_{\beta\alpha}^m}{\gamma^m} = \frac{E_\beta^m \mu_{\alpha\beta}^m}{\gamma^m}, \quad \gamma^m = 1 - \mu_{\alpha\beta}^m \mu_{\beta\alpha}^m,$$

где E_α , E_β , $G_{\alpha\beta}$ — упругие постоянные; $\mu_{\alpha\beta}$, $\mu_{\beta\alpha}$ — коэффициенты Пуассона. В частном случае, если будем иметь однородную анизотропную оболочку, то:

$$t_{ik} = B_{ik}^{n+1} = B_{ik}. \quad 1.6$$

Напряжения в каждом слое определяем посредством формул: [4,3]

$$\sigma_\alpha^m = B_{11}^m \epsilon_1 + B_{12}^m \epsilon_2, \quad \sigma_\beta^m = B_{12}^m \epsilon_1 + B_{22}^m \epsilon_2, \quad \tau_{\alpha\beta}^m = B_{66}^m \omega. \quad 1.7$$

При выводе этих формул, ввиду безмоментности задачи, принято, что изменения кривизны весьма малы. Остальные компоненты напряжений, в силу их громоздкости, здесь не приводим [3].

2. *Цилиндрические оболочки.* Здесь мы изучаем цилиндрические оболочки произвольной формы, но будем изучать только такие задачи, в которых внутренние усилия известны.

За координатные линии принимаем образующие и направляющие цилиндрической оболочки; тогда: $A=B=1$, $k_1=0$, $k_2=k_2(\beta) = \frac{1}{r}$. Рассмотрим два примера [2].

1. Расчет обшивки овальной рубки, составленной из анизотропных слоев. Пусть рубка находится под действием равномерно распределенной нагрузки, нормально приложенной к поверхности обшивки. При этом:

$$X=Y=0, \quad Z=-P=\text{const.}$$

Далее примем, что опоры являются абсолютно жесткими в своих плоскостях, но не могут воспринимать усилий, действующих по направлению α (фиг. 2). Тогда:

при $\alpha=0$, $\alpha=L$, $w=0$, $T_1=0$
уравнения равновесия примут вид:

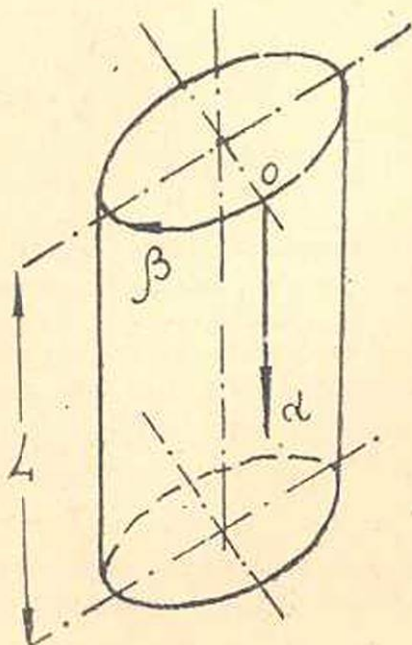
$$\frac{\partial T_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial S}{\partial \beta} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial \alpha} + \frac{\partial T_2}{\partial \beta} = 0, \\ T_2 = -Pr. \quad 2.1$$

Решением этой системы для внутренних усилий получим [2]:

$$T_1 = -P\alpha \frac{\alpha-L}{2} \frac{d^2 r}{d\beta^2}, \quad T_2 = -Pr \\ S = P \left(\alpha - \frac{L}{2} \right) \frac{dr}{d\beta}. \quad 2.2$$

Подставляя значения внутренних усилий в уравнения деформаций [1.2] и учитывая все условия данной задачи, получим:

Известия 1, 6-32



Фиг. 2.

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{\partial \alpha} = \frac{\rho}{2\delta\Omega} \left[t_{12}r - t_{22} \frac{\alpha(\alpha-L)}{2} \frac{d^2r}{d\beta^2} \right], \\ \varepsilon_2 &= \frac{\partial v}{\partial \beta} + \frac{w}{r} = \frac{\rho}{2\delta\Omega} \left[t_{12} \frac{\alpha(\alpha-L)}{2} \frac{d^2r}{d\beta^2} - t_{11}r \right], \\ \omega &= \frac{\partial u}{\partial \beta} + \frac{\partial v}{\partial \alpha} = \frac{\rho}{2\delta t_{66}} \left(\alpha - \frac{L}{2} \frac{dr}{d\beta} \right). \end{aligned} \quad 2.3$$

Подставляя значения деформаций в формулы (1.8), получим формулы для определения напряжений в каждом слое оболочки:

$$\begin{aligned} \sigma_a^m &= \frac{\rho}{2\delta\Omega} \left[(B_{11}^m t_{12} - B_{12}^m t_{11})r - (B_{11}^m t_{22} - B_{12}^m t_{12}) \frac{\alpha(\alpha-L)}{2} \frac{d^2r}{d\beta^2} \right], \\ \sigma_\beta^m &= \frac{\rho}{2\delta\Omega} \left[(B_{22}^m t_{12} - B_{12}^m t_{22}) \frac{\alpha(\alpha-L)}{2} \frac{d^2r}{d\beta^2} - (B_{22}^m t_{11} - B_{12}^m t_{12})r \right], \\ \tau_{a\beta}^m &= \frac{\rho}{2\delta} \frac{B_{66}^m}{t_{66}} \left(\alpha - \frac{L}{2} \right) \frac{dr}{d\beta}. \end{aligned} \quad 2.4$$

Для определения перемещений необходимо совместно решать уравнения (2.3); при этом надо учитывать все контурные условия и симметричность задачи. Выполняя вышеупомянутые действия, для определения перемещений получим следующие формулы:

$$\begin{aligned} u &= \frac{\rho r}{2\delta} \frac{t_{12}}{\Omega} \left(\alpha - \frac{L}{2} \right) - \frac{\rho}{12\delta} \frac{t_{22}}{\Omega} \left(\alpha^3 - \frac{3}{2} \alpha^2 L + \frac{L^3}{4} \right) \frac{d^2r}{d\beta^2}, \\ v &= \frac{\rho}{2\delta} \left(\frac{1}{t_{66}} - \frac{t_{12}}{\Omega} \right) \frac{\alpha(\alpha-L)}{2} \frac{dr}{d\beta} + \\ &+ \frac{\rho}{48\delta} \frac{t_{22}}{\Omega} \alpha (\alpha^3 - 2\alpha^2 L + L^3) \frac{d^3r}{d\beta^3}, \\ w &= -\frac{\rho r}{2\delta} \left[\frac{t_{11}}{\Omega} + \alpha(\alpha-L) \frac{d^2r}{d\beta^2} + \frac{t_{22}}{24\Omega} \alpha (\alpha^3 - 2\alpha^2 L + L^3) \frac{d^4r}{d\beta^4} \right]. \end{aligned} \quad 2.5$$

Для каждого частного случая, имея значение $r=r(\beta)$, легко можем определить все интересующие нас расчетные величины.

II. *Цилиндрическое перекрытие.* Рассмотрим цилиндрическую оболочку произвольного очертания под действием собственного веса интенсивностью q . При этом уравнения равновесия имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} \frac{\partial S}{\partial \varphi} &= 0, \quad \frac{\partial S}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial \beta^2} = -q \cdot \sin \varphi, \\ T_2 &= -q r \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \quad 2.6$$

где φ — угол между нормалью к срединной поверхности и вертикалью, r — радиус кривизны поверхности.

$$r = \frac{r_0}{(1 + \gamma \sin^2 \varphi)^{1/2}}. \quad 2.7$$

Угол φ связан с дугой β зависимостью $r d\varphi = d\beta$. При различных γ формула (2.7) может дать различные направляющие, которые будут кривыми второго порядка. Принимая, что перекрытие не имеет промежуточных опор, свободно оперта по торцам ($\alpha = \pm \frac{L}{2}$) и симметрично относительно плоскости $\varphi = \varphi_0 = 0$, для внутренних усилий получим [2]:

$$T_2 = -q r_0 \frac{\cos \varphi}{(1 + \gamma \cdot \sin^2 \varphi)^{3/2}}, \quad S = \frac{2\alpha}{L} S^*,$$

$$T_1 = \left(1 - \frac{4\alpha^2}{L^2}\right) T_1^*, \quad (2.8)$$

где $S^* = -\frac{qL}{2} \frac{2 + \gamma(2 + \cos^2 \varphi)}{1 + \gamma \cdot \sin^2 \varphi} \sin \varphi$ — значение усилия S в плоскости

$\alpha = \frac{L}{2}$, $T_1^* = \frac{qL^2}{8r_0} (1 + \gamma \cdot \sin^2 \varphi)^{3/2} \left[1 - 3(1 + \gamma) \frac{1 - \gamma \cdot \sin^2 \varphi}{(1 + \gamma \cdot \sin^2 \varphi)^2}\right] \cdot \cos \varphi$ — значение усилия T_1 в плоскости $\alpha = 0$. Принимая $\mu_{\alpha\beta} = \mu_{\beta\alpha} = 0$, по-

лучим: $B_{11}^m = E_{\alpha}^m$, $B_{22}^m = E_{\beta}^m$, $B_{\alpha\alpha}^m = G_{\alpha\beta}^m$, $B_{12}^m = 0$.

При этом

$t_{12} = 0$, в силу чего $\Omega = t_{11} t_{22}$. На основании полученного для деформаций найдем:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial \alpha} = \frac{1}{2\delta t_{11}} \left(1 - 4 \frac{\alpha^2}{L^2}\right) T_1^*,$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial v}{\partial \varphi} + w = \frac{r}{2\delta t_{22}} T_2(\varphi), \quad (2.9)$$

$$\omega = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} + \frac{\partial v}{\partial \alpha} = \frac{1}{2\delta t_{\alpha\alpha}} \frac{2\alpha}{L} S^*.$$

Подставляя (2.9) в (1.8), легко можно найти формулы для определения напряжений в каждом слое:

$$\sigma_{\alpha}^m = B_{11}^m \frac{1}{2\delta t_{11}} \left(1 - 4 \frac{\alpha^2}{L^2}\right) T_1^*,$$

$$\sigma_{\beta}^m = -B_{22}^m \frac{q r_0}{2\delta t_{22}} \frac{\cos \varphi}{(1 + \gamma \cdot \sin^2 \varphi)^{3/2}}, \quad (2.10)$$

$$\tau_{\alpha\beta}^m = B_{\alpha\alpha}^m \frac{1}{2\delta t_{\alpha\alpha}} \frac{2\alpha}{L} S^*.$$

Решая совместно уравнения (2.9), при этом учитывая все контурные условия, получим следующие формулы для определения перемещений:

$$U = \frac{\alpha}{2\delta t_{11}} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{\alpha^2}{L^2}\right) T_1^*,$$

$$v = \frac{1}{2\delta} \left(\alpha^2 - \frac{L^2}{4} \right) \left[\frac{S^0}{t_{00}L} + \frac{1}{3t_{11}} \left(\frac{\alpha^2}{L^2} - \frac{5}{4} \right) \frac{1}{r} \frac{dT_1^0}{d\varphi} \right],$$

$$w = \frac{1}{2\delta} \left\{ \frac{r}{t_{22}} T_2(\varphi) - \left(\alpha^2 - \frac{L^2}{4} \right) \left[\frac{1}{t_{00}L} \frac{dS^0}{d\varphi} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{3t_{11}} \left(\frac{\alpha^2}{L^2} - \frac{5}{4} \right) \frac{1}{r} \frac{d^2T_1^0}{d\varphi^2} \right] \right\}. \quad 2.11$$

Пример расчета. Рассмотрим круговую цилиндрическую оболочку, состоящую из трех ортотропных слоев (фиг. 3). Пусть наружные слои будут вдвое тоньше, чем средний слой, а соответствующие упругие постоянные наоборот — во внешних слоях вдвое больше, чем во внутреннем. При этом, как нетрудно заметить:

$$\delta_1 = \delta_3 = \delta, \quad \delta_2 = \eta\delta, \quad \text{где } \eta = 0,5.$$

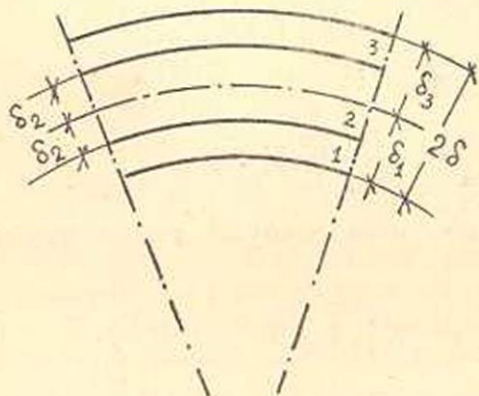
Обозначим

$$m_{ik} = \frac{B_{ik}''}{B_{ik}},$$

где B_{ik} относится к внешним слоям (1-ый и 3-й), а B_{ik}'' — к внутреннему слою (2-ой). Замечая, что для трехслойной оболочки $n=1$, из (1.3) получим:

$$t_{ik} = 0,75 B_{ik}.$$

Для круговой цилиндрической оболочки, принимая $\gamma=0$, получим, $r=r_0$. Тогда для внутренних усилий найдем:



Фиг. 3.

$$T_1 = -\frac{qL^2}{4r_0} \left(1 - \frac{4\alpha^2}{L^2} \right) \cos\varphi,$$

$$T_2 = -qr_0 \cos\varphi,$$

$$S = -2q\alpha \sin\varphi.$$

Для напряжений получим: в крайних слоях

$$\sigma_a^{[1]} = \sigma_a^{[3]} = -$$

$$= -\frac{qL^2}{6r_0\delta} \left(1 - 4\frac{\alpha^2}{L^2} \right) \cos\varphi,$$

$$\sigma_\beta^{[1]} = \sigma_\beta^{[3]} = -\frac{qr_0}{1,5\delta} \cos\varphi, \quad \tau_{\alpha\beta}^{[1]} = \tau_{\alpha\beta}^{[3]} = -\frac{q\alpha}{0,75\delta} \sin\varphi,$$

в среднем слое

$$\sigma_a^{[2]} = -\frac{qL^2}{12\delta r_0} \left(1 - 4\frac{\alpha^2}{L^2} \right) \cos\varphi, \quad \sigma_\beta^{[2]} = -\frac{qr_0}{3} \cos\varphi,$$

$$\tau_{\alpha\beta}^{(2)} = -\frac{q\alpha}{1,5\delta} \cdot \sin\varphi.$$

Перемещения определяем, пользуясь формулами (2.11). Подставляя значения внутренних усилий и учитывая условия задачи, получим:

$$u = -\frac{qL^2}{6r_0\delta E_2} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{\alpha^2}{L^2}\right) \cos\varphi,$$

$$v = \frac{q}{1,5\delta} \left(\alpha^2 - \frac{L^2}{4}\right) \left(\frac{L^2}{12r_0^2 E_2} - \frac{1}{G_{\alpha\beta}}\right) \sin\varphi,$$

$$w = \frac{q}{1,5\delta} \left\{ \frac{r_0}{E_2} + \left(\alpha^2 - \frac{L^2}{4}\right) \left[\frac{L^2}{12r_0^2 E_2} \left(\frac{\alpha^2}{L^2} - \frac{5}{4}\right) - \frac{1}{G_{\alpha\beta}} \right] \right\} \cos\varphi.$$

3. *Весьма пологие оболочки.* В силу большой пологости оболочки коэффициенты первой квадратичной формы при дифференцировании принимаем за постоянные [3], и при соответствующем подборе координат приближенно принимаем $A \approx B \approx 1$. Ограничиваясь рассмотрением случая, когда $X=Y=0$, $Z \neq 0$, для уравнений равновесия получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial S}{\partial \beta} &= 0, \quad \frac{\partial T_2}{\partial \beta} + \frac{\partial S}{\partial \alpha} = 0, \\ k_1 T_1 + k_2 T_2 &= Z. \end{aligned} \quad 3.1$$

Из уравнений статики, после некоторых преобразований, получим:

$$k_2 \partial_i^j T_1 + k_1 \partial_i^j T_2 = \partial_i^j Z, \quad 3.2$$

$$k_2 \partial_i^j T_2 + k_1 \partial_i^j T_1 = \partial_i^j Z, \quad 3.3$$

$$k_2 \partial_i^j S + k_1 \partial_i^j S = -\partial_i \partial_j Z, \quad 3.4$$

где

$$\partial_i^j = \frac{\partial^j}{\partial \alpha^i}, \quad \partial_2^k = \frac{\partial^k}{\partial \beta^k}, \quad \partial_i^j \partial_2^k = \frac{\partial^{j+k}}{\partial \alpha^i \partial \beta^k}.$$

Из основных уравнений деформации (1.2), учитывая наши предположки и произведя некоторые преобразования, получим:

$$\begin{aligned} k_2 \partial_i^j u + k_1 \partial_i^j u &= \frac{1}{2\delta} \left\{ \frac{k_1}{t_{\alpha\alpha}} \partial_2 S + \frac{1}{Q} \left[(k_2 t_{22} + k_1 t_{12}) \partial_1 T_1 - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (k_1 t_{11} + k_2 t_{12}) \partial_1 T_2 \right] \right\}, \end{aligned} \quad 3.5$$

$$\begin{aligned} k_2 \partial_i^j v + k_1 \partial_i^j v &= \frac{1}{2\delta} \left\{ \frac{k_2}{t_{\alpha\alpha}} \partial_1 S + \frac{1}{Q} \left[(k_1 t_{11} + k_2 t_{12}) \partial_2 T_2 - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (k_2 t_{22} + k_1 t_{12}) \partial_2 T_1 \right] \right\}, \end{aligned} \quad 3.6$$

$$k_2 \partial_i^j w + k_1 \partial_i^j w = -\frac{1}{2\delta} \left\{ \frac{1}{t_{\alpha\alpha}} \partial_1 \partial_2 S + \right.$$

$$+ \frac{1}{\Omega} \left[(t_{11} \partial_x^2 - t_{12} \partial_x^2) T_2 + (t_{22} \partial_x^2 - t_{12} \partial_x^2) T_1 \right] \Bigg\} \quad (3.7)$$

Как нетрудно заметить, уравнения (3.2) ... (3.7) отличаются друг от друга только неоднородными частями.

Таким образом задача расчета достаточно пологой оболочки сводится к решению одного однородного уравнения

$$(k_2 \partial_x^2 + k_1 \partial_x^2) \varphi = 0$$

и к нахождению соответствующих частных решений. Однако этот путь решения задачи не единственный и для решения задачи нет необходимости искать частные решения всех уравнений (3.2) ... (3.7), хотя последнее больших затруднений не вызывает.

4. Рассмотрим один частный случай. Пусть требуется рассчитать достаточно пологую анизотропную оболочку, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой $Z = P = \text{const.}$ и перекрывающую прямоугольный план. Пусть по торцам оболочка свободно оперта; тогда

$$\text{при } \alpha = 0, \alpha = a, T_1 = 0.$$

При этих контурных условиях решение уравнения (3.2) ищем в форме:

$$T_1 = \sum_m T_{1m}(\beta) \sin \lambda_m \alpha, \quad (4.1)$$

$$\text{где} \quad \lambda_m = \frac{m\pi}{a}.$$

Как нетрудно заметить T_1 удовлетворяет условиям на торцах $\alpha = 0, \alpha = a$. Подставляя значение T_1 из (4.1) и нагрузку в уравнение (3.2), получим:

$$\frac{d^2 T_{1m}}{d\beta^2} - P_m^2 T_{1m} = 0, \quad (4.2)$$

$$\text{где} \quad P_m = \frac{k_2}{k_1} \lambda_m^2.$$

Решая дифференциальное уравнение (4.2), учитывая при этом симметричность задачи относительно плоскости $\beta = 0$, получим:

$$T_{1m} = A_m \operatorname{ch} P_m \beta, \quad (4.3)$$

где A_m — постоянное интегрирования.

Подставляя (4.3) в (4.1), для T_1 получим:

$$T_1 = \sum_m A_m \operatorname{ch} P_m \beta \sin \lambda_m \alpha \quad (4.4)$$

Подставляя значение T_1 из (4.4) в третье уравнение равновесия, найдем:

$$T_2 = \frac{P}{k_2} - \frac{k_1}{k_2} \sum_m A_m \operatorname{ch} P_m \beta \sin \lambda_m \alpha. \quad (4.5)$$

Подставляя значения T_1 и T_2 из (4.4) и (4.5) соответственно в пер-

вое и второе уравнения равновесия и произведя интегрирование, получим:

$$S = - \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sum_m A_m \operatorname{Sh} P_m \beta \cos \lambda_m \alpha + f_1(\alpha),$$

$$S = - \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sum_m A_m \operatorname{Sh} P_m \beta \cos \lambda_m \alpha + f_2(\beta).$$

Сравнивая эти значения S , приходим к заключению, что $f_1(\alpha)$ и $f_2(\beta)$ должны быть равны, т. е. должны представлять постоянную величину. Но в силу того, что задача относительно $\beta = 0$ симметрична, S должно быть нечетной функцией β ; поэтому эта постоянная должна быть равна нулю. Тогда:

$$S = - \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sum_m A_m \operatorname{Sh} P_m \beta \cos \lambda_m \alpha. \quad 4.6$$

Постоянные A_m определяем из уравнения (4.5). Учитывая, что при

$$\beta = \frac{b}{2}, \quad T_2 = 0, \quad \text{получим:}$$

$$A_m = \frac{4P}{k_1 \pi m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}}. \quad 4.7$$

Подставляя значение A_m в (4.4), (4.5) и (4.6), получим:

$$T_1 = \frac{4P}{k_1 \pi} \sum_m \frac{\operatorname{ch} P_m \beta}{m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \sin \lambda_m \alpha, \quad 4.8$$

$$T_2 = \frac{P}{k_2} \left(1 - \frac{4}{\pi} \sum_m \frac{\operatorname{ch} P_m \beta}{m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \sin \lambda_m \alpha \right), \quad 4.9$$

$$S = - \frac{4p}{k_1 \pi} \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sum_m \frac{\operatorname{Sh} P_m \beta}{m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \cos \lambda_m \alpha. \quad 4.10$$

Переходим к определению перемещений. Подставляя значения T_1 , T_2 и S из (4.8), (4.9) и (4.10) в (3.5), а так же представляя решение полученного уравнения в форме:

$$u = \sum_m U_m(\rho) \cos \lambda_m \alpha, \quad 4.11$$

после некоторых преобразований получим:

$$\frac{d^2 U_m}{d\beta^2} - P_m^2 U_m = B_{um} \operatorname{ch} P_m \beta, \quad 4.12$$

где

$$B_{um} = - \frac{4 P \lambda_m}{2 \delta k_1 \pi m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \left[\frac{1}{t_{66}} - \frac{1}{k_1 \Omega} (k_2 t_{22} + k_1 t_{12}) - \right. \\ \left. - \frac{1}{k_2 \Omega} (k_1 t_{11} + k_2 t_{12}) \right].$$

В уравнении (4.12) правая часть является решением однородного уравнения; тогда частное решение неоднородного уравнения будет:

$$\tilde{U}_m = \frac{B_{um}}{2 P_m} \beta \cdot \operatorname{Sh} P_m \beta. \quad 4.13$$

Полное решение будет:

$$u = \sum_m (\bar{A}_m \operatorname{ch} P_m \beta + \bar{B}_m \operatorname{Sh} P_m \beta + \frac{B_{um}}{2 P_m} \beta \cdot \operatorname{Sh} P_m \beta) \cos \lambda_m \alpha. \quad 4.14$$

Постоянные интегрирования определяем из условий:

$$\text{при } \beta = \frac{b}{2} \text{ или } \beta = -\frac{b}{2} \quad u = 0.$$

Выполняя эти условия, найдем:

$$\bar{B}_m = 0, \quad \bar{A}_m = - \frac{B_{um}}{4 P_m} b \frac{\operatorname{Sh} P_m \frac{b}{2}}{\operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}}. \quad 4.15$$

Подставляя значения $\bar{A}_m$ и $\bar{B}_m$ из (4.15) в (4.14), получим:

$$u = - \frac{PD}{\delta k_1 \pi} \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sum_m \frac{1}{m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \cdot \\ \cdot \left(\beta \operatorname{Sh} P_m \beta - \frac{b}{2} \frac{\operatorname{Sh} P_m \frac{b}{2}}{\operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \operatorname{ch} P_m \beta \right) \cos \lambda_m \alpha, \quad 4.16$$

где

$$D = \left[\frac{1}{t_{66}} - \frac{1}{k_1 \Omega} (k_2 t_{22} + k_1 t_{12}) - \frac{1}{k_2 \Omega} (k_1 t_{11} + k_2 t_{12}) \right]. \quad 4.17$$

Подставляя значение u из (4.16) в (1.2) и произведя интегрирование, при этом учитывая, что при $\alpha = 0$, $\alpha = a$, $v = 0$, получим:

$$v = \frac{P}{\delta k_1 \pi} \sum_m \frac{1}{m P_m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \left\{ \left[\left(1 - \frac{b}{2} P_m \frac{\operatorname{Sh} P_m \frac{b}{2}}{\operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \right) D - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2}{t_{66}} \right] \operatorname{Sh} P_m \beta + D P_m \beta \operatorname{ch} P_m \beta \right\} \cdot \sin \lambda_m \alpha. \quad 4.18$$

Подставляя значение v из (4.18) во второе уравнение (1.2), получим:

$$w = \frac{1}{2 k_2 \delta \Omega} (t_{11} T_2 - t_{12} T_1) -$$

$$- \frac{P}{\delta k_1 k_2 \pi} \sum_m \frac{1}{m P_m \operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \left\{ \left[\left(2 - \frac{b}{2} P_m \frac{\operatorname{Sh} P_m \frac{b}{2}}{\operatorname{ch} P_m \frac{b}{2}} \right) D - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{2}{t_{66}} \right] \operatorname{ch} P_m \beta + D P_m \beta \cdot \operatorname{Sh} P_m \beta \right\} \sin \lambda_m z. \quad 4.19$$

Все полученные расчетные формулы можно было получить непосредственно из дифференциальных уравнений (3.2) ... (3.7).

Институт строительных Материалов
и Сооружений
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 15. VII. 1948.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ляв—Математическая теория упругости. 1935. Москва.
2. В. В. Новожилов—Теория тонких оболочек. 1947. Ленинград.
3. С. А. Амбарцумян—Некоторые основные уравнения теории тонкой слоистой оболочки. ДАН АН Арм. ССР, т. VIII, № 5, 1948.
4. С. Г. Лехницкий—Анизотропные пластинки. 1947. Москва.

Ս. Ա. Համբարձումյան

ԱՆԻՉՈՏՐՈՊ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԱՆՄՈՍԵՆՏ ՏԵՍՈՒՅՑՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատանքում քրված է թաղանթների հաշվման ալյուրես կոչված անմոմենտ տեսության չիրապույտ անիզոտրոպ շերտավոր թաղանթների տեսության մեջ:

Բերված են մի քանի կարևոր ինժեներական խնդիրների լուծումներ, որոնք առաջին երկու խնդիրներում վերջավոր են՝ (2.2), (2.4), (2.5), (2.8), (2.10), (2.11):

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Т. Т. Хачатурян

Устойчивость круговой цилиндрической оболочки

Задачи об устойчивости замкнутой цилиндрической оболочки при действии продольной сжимающей силы, равномерной поперечной нагрузки, крутящих моментов, а также при совместном действии продольной силы и поперечного давления, решены в работах ряда авторов (Мизес, Тимошенко, Шверин, Доннель, Флюге, Зволинский, Муштари, Галеркин и др.). Кроме Галеркина, указанные авторы свои решения базируют на уравнениях Лява, при некотором их изменении в сторону упрощения. Галеркин пользуется им же выведенными уравнениями.

В 1944 г. В. З. Власов опубликовал работу [1], в которой уравнения Лява уточнены в деталях. Предложенные Власовым уравнения, в смысле последовательности в учете малых величин одинакового порядка, являются наиболее совершенными.

Ниже, на базе уравнений Власова, дается решение задачи об устойчивости замкнутой цилиндрической оболочки при одновременном действии продольной сжимающей силы, поперечного равномерного давления и крутящего момента. Из полученного общего решения, в качестве частных случаев, получаются решения отдельных задач, рассмотренных указанными авторами.

1. Уравнение устойчивости, приведенное в работе Власова, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \varphi + 2 \nabla^2 \varphi + \nabla^4 \varphi - 2(1 - \sigma) \left(\frac{\partial^4}{\partial \alpha^4} - \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} \right) \nabla^2 \varphi + 12(1 - \sigma^2) \frac{R^2}{\delta^2} \frac{\partial^4 \varphi}{\partial \alpha^4} = \\ = \frac{R^2}{D} \left[\frac{\partial}{\partial \alpha} \left(T_1 \frac{\partial}{\partial \alpha} \nabla^2 \varphi + S^0 \frac{\partial}{\partial \beta} \nabla^2 \varphi \right) + T_2 \left(\frac{\partial^2}{\partial \beta^2} + 1 \right) \nabla^2 \varphi + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial \beta} S^0 \frac{\partial}{\partial \alpha} \nabla^2 \varphi \right], \end{aligned} \quad (1.1)$$

где α и β — безразмерные координаты в долях радиуса оболочки R , соответственно по образующей и дуге круга, σ — коэффициент Пуассона, δ — постоянная толщина оболочки, D — цилиндрическая жесткость,

T_1^* и T_2^* — нормальные усилия вдоль α и β в момент потери устойчивости, S^* — сдвигающее усилие, φ — искомая функция перемещений,

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2}{\partial \beta^2}.$$

Перемещения, усилия и моменты выражаются через φ формулами, приведенными в вышеупомянутой работе Власова. Выражение для радиального перемещения w , которым ниже мы будем пользоваться, имеет следующий вид:

$$w = \nabla^4 \varphi. \quad (1.2)$$

2. Предположим, что на замкнутую цилиндрическую оболочку одновременно действуют равномерно распределенная поперечная нагрузка q , равномерно распределенные на концах цилиндра продольные сжимающие усилия T и крутящий момент M , который осуществляется также приложенными по концам цилиндра равномерно распределенными касательными напряжениями. Тогда в (1.1) можем принять:

$$T_1^* = -T; T_2^* = -qR; S^* = \frac{M}{2\pi R^2}. \quad (2.1)$$

Уравнению (1.1) можно удовлетворить, полагая его решение в следующем виде:

$$\varphi = \sum_m \varphi_m \sin(\lambda_m \alpha - n\beta). \quad (2.2)$$

Здесь n — число полуволн в направлении окружности,

$$\lambda_m = \frac{m\pi R}{a}, \quad (2.3)$$

m — число полуволн по длине цилиндра, a — длина цилиндра. Начало координат принято на одном из концов цилиндра.

Подставив (2.2) в (1.1), получим следующее характеристическое уравнение (опустив для удобства индекс m при λ_m).

$$(\lambda^2 + n^2)^4 - 2(\lambda^2 + n^2)^3 + (\lambda^2 + n^2)^2 + 2(1 - \sigma)\lambda^2(\lambda^4 - n^4) + \lambda^4 k^4 - \\ - (\lambda^2 + n^2)^2 [t_1 \lambda^2 + t_2 (n^2 - 1) + 2S\lambda n] = 0 \quad (2.4)$$

Здесь введены обозначения:

$$t_1 = \frac{TR^2}{D}; t_2 = \frac{qR^3}{D}; S = \frac{M}{2\pi D} \quad (2.5)$$

$$k^4 = 12(1 - \sigma^2) \frac{R^2}{\delta^2}; D = \frac{E\delta^3}{12(1 - \sigma^2)} \quad (2.6)$$

Полагая, что T , q и M возрастают пропорционально, можем принять

$$t_1 = \gamma_1 t; \quad t_2 = \gamma_2 t; \quad s = \gamma_3 t \quad (2.7)$$

Учитывая (2.7), из (2.4) имеем:

$$t = \frac{(\lambda^2 + n^2)^2 - 2(\lambda^2 + n^2) + 1 + 2(1 - \sigma) \frac{\lambda^2(\lambda^2 - n^2)}{\lambda^2 + n^2} + \frac{k^4 \lambda^4}{(\lambda^2 + n^2)^2}}{\gamma_1 \lambda^2 + \gamma_2 (n^2 - 1) + 2\gamma_3 \lambda n} \quad (2.8)$$

Критическое состояние оболочки характеризуется тем, что при нем величина t принимает минимальное значение. При этом λ и n должны быть такими, чтобы решение (2.2) удовлетворяло также условиям закрепления цилиндра на обоих его концах.

Для очень длинного цилиндра удовлетворение граничных условий не требуется. В этом случае из (2.8):

1) полагая $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$, $\gamma_3 = 1$, $n = 0$ и подбирая λ так, чтобы t оказалось наименьшим, получим решение Лоренца—Тимошенко для критической продольной сжимающей силы;

2) полагая $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$, $\gamma_3 = 1$, $\lambda = 0$ и принимая $n = 2$, получим известное решение для критического поперечного давления;

3) полагая $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$, $\gamma_3 = 1$, $n = 2$ и подбирая λ так, чтобы t оказалось наименьшим, получим решение Шверина для критического крутящего момента.

Таким образом, для всех указанных частных задач решения получаются из (2.8) в обычном порядке и все они совпадают с известными результатами. Общая задача об очень длинном цилиндре, когда γ_1 , γ_2 , γ_3 все отличны от нуля, особого интереса не представляет. При наличии продольной сжимающей силы обычно выпучивание происходит от эйлеровой критической силы. Более интересным является задача о короткой оболочке и оболочке средней длины, когда должны быть удовлетворены также и граничные условия. Эта задача, т. е. определение минимального значения t из (2.8) при соблюдении граничных условий на концах цилиндра облегчается, если:

1) ограничиться удовлетворением граничных условий только для радиального перемещения w (которое является главнейшим);

2) упростить (2.8) путем отбрасывания: а) единицы в числителе и б) единицы при γ_2 в знаменателе, т. е. вместо (2.8) определять t по формуле

$$t = \frac{(\lambda^2 + n^2)^2 - 2(\lambda^2 + n^2) + 2(1 - \sigma) \frac{\lambda^2(\lambda^2 - n^2)}{\lambda^2 + n^2} + \frac{k^4 \lambda^4}{(\lambda^2 + n^2)^2}}{\gamma_1 \lambda^2 + \gamma_2 n^2 + 2\gamma_3 \lambda n} \quad (2.9)$$

3) в окончательных формулах пренебрегать единицей по сравнению с k^2 , т. е. принять:

$$\sqrt{12(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{R}{\delta} \pm 1 = \sqrt{12(1 - \sigma^2)} \cdot \frac{R}{\delta} \quad (2.10)$$

Для металлических оболочек все эти упрощения вполне приемлемы, поскольку последние имеют очень малую толщину (по сравнению с их радиусом). Для железобетонных оболочек, когда отношение $R:\delta$ будет порядка 15–20, эти упрощения могут внести некоторую неточность (главным образом первое). Однако полученные здесь результаты также могут быть вполне удовлетворительными, так как в железобетоне большей точности не требуется (модуль упругости железобетона может меняться в больших пределах, чем минимальные значения выражений (2.8) и (2.9).

Введя вместо n новую переменную z

$$z = \frac{n}{\lambda} \quad (2.11)$$

и подставив (2.11) в (2.9), после сокращения на λ^2 , получим:

$$t = \frac{\lambda^2(1+z^2)^2 - 2(1+z^2) - 2(1-\sigma) \frac{z^2-1}{z^2+1} + \frac{k^4}{\lambda^2(1+z^2)^2}}{\gamma_1 + \gamma_2 z^2 + 2\gamma_3 z} \quad (2.12)$$

Из условий $\partial t / \partial \lambda^2 = 0$ получим следующую зависимость между λ и z :

$$\lambda(1+z^2) = k. \quad (2.13)$$

Введя (2.13) в (2.12), получим:

$$t = 2 \frac{k^2 - 1 - z^2 - (1-\sigma) \frac{z^2-1}{z^2+1}}{\gamma_1 + \gamma_2 z^2 + 2\gamma_3 z} \quad (2.14)$$

Вторая производная t показывает, что (2.14) есть минимальное значение (2.12).

Радialное перемещение w , согласно (1.2) и (2.2), выразится так:

$$w = \sum_m \varphi_m (\lambda_m^2 + n^2)^2 \sin(\lambda_m \alpha - n\beta) \quad (2.15)$$

Поскольку мы ограничимся удовлетворением граничных условий только для w , в (2.2), а следовательно и в (2.15), берем два члена ряда. Полагая, что края цилиндра свободно оперты, имеем:

$$w=0 \quad \text{при } \alpha=0, \quad \alpha = \frac{a}{R}. \quad (2.16)$$

Из (2.15) и (2.16) получим:

$$\left[\varphi_1 (\lambda_1^2 + n^2)^2 + \varphi_2 (\lambda_2^2 + n^2)^2 \right] \sin n\beta = 0 \quad (2.17)$$

$$\varphi_1 (\lambda_1^2 + n^2)^2 \sin \left(\lambda_1 \frac{a}{R} - n\beta \right) + \varphi_2 (\lambda_2^2 + n^2)^2 \sin \left(\lambda_2 \frac{a}{R} - n\beta \right) = 0$$

Имея в виду, что $\varphi_1 \neq 0$, $\varphi_2 \neq 0$, а координата β переменная, из (2.17) находим:

$$\lambda_2 = \lambda_1 + 2pc, \quad (2.18)$$

где p — произвольное целое положительное число, а

$$c = \frac{\pi R}{a} \quad (2.19)$$

Введя вместо z его значение из (2.11), формулу (2.13) можем представить так:

$$\lambda^2 + n^2 = k\lambda. \quad (2.20)$$

λ_1 и λ_2 , входящие в (2.18), являются корнями уравнения (2.20). Следовательно:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = k \quad (2.21)$$

$$\lambda_1 \cdot \lambda_2 = n^2$$

Из (2.18) и (2.21) находим:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{k-2pc}{2} \\ \lambda_2 &= \frac{k+2pc}{2} \\ n &= \frac{\sqrt{k^2 - 4p^2c^2}}{2} \end{aligned} \quad (2.22)$$

В зависимости от произвольного целого числа p , из (2.22) получим два значения для z , входящего в (2.14):

$$z_1 = \frac{n}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{k+2pc}{k-2pc}} \quad (2.23)$$

и

$$z_2 = \frac{n}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{k-2pc}{k+2pc}}$$

Подставив z_1 и z_2 из (2.23) в (2.14), получим два значения для t :

$$t = 2 \frac{k^2(k-2pc) - 2k - 2pc \cdot \frac{1-\sigma}{k}}{\gamma_1(k-2pc) + \gamma_2(k+2pc) + 2\gamma_3 \sqrt{k^2 - 4p^2c^2}} \quad (2.24)$$

$$t=2 \frac{k^2(k+2pc)-2k+2pc \frac{1-\sigma}{k}}{\gamma_1(k+2pc)+\gamma_2(k-2pc)+2\gamma_3\sqrt{k^2-4p^2c^2}} \quad (2.25)$$

По заданным γ_1 , γ_2 и γ_3 нужно подобрать такие значения числа p , чтобы правые части (2.24) и (2.25) оказались наименьшими. Меньшее из значений t , определенное из (2.24) и (2.25) указанным образом, будет критическим числом.

Заметим, что при определении p перед корнем правой части (2.22) мы брали знак плюс. Если бы мы брали знак минус, то этим в знаменателях (2.24) и (2.25) знак перед γ_3 оказался бы отрицательным. Но при этом в (2.2) также должны были менять знак перед p , а это приводило бы к повторной замене знака перед γ_3 ; следовательно вместе с предыдущим опять получается перед γ_3 знак плюс. Таким образом, в (2.24) и (2.25) величина γ_3 всегда должна быть положительной, независимо от направления крутящего момента M . Величины γ_1 и γ_2 являются положительными соответственно при продольном сжатии и поперечном внешнем давлении. При растяжении и внутреннем давлении знаки перед γ_1 и γ_2 должны быть заменены на минус.

При положительных γ_1 и γ_2 всегда наименьшее значение для t дается (2.24), причем число p должно быть взято наибольшим из всех возможных. Последнее ограничено тем, что подкоренное выражение должно быть действительным числом. Следовательно

$$\begin{aligned} k-2cp_{\max} &> 0 \\ k-2c(p_{\max}+1) &\leq 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Кроме (2.26), если иметь в виду, что наименьшее число полуволи в направлении образующей не может быть меньше единицы, то мы должны принять

$$2cp_{\max} = k - 2c. \quad (2.27)$$

При этом из (2.22) и (2.3) получим следующие значения для чисел полуволи

$$\begin{aligned} m_1 &= 1 \\ m_2 &\approx \frac{k}{c} - 1 \\ p &\approx \sqrt{kc - c^2} \end{aligned} \quad (2.28)$$

Подставив (2.27) в (2.24), для наименьшего критического числа t получим следующую формулу

$$t_{\min} = \frac{2ck^2 - 2k - (1-\sigma)\left(1 - \frac{2c}{k}\right)}{\gamma_1 c + \gamma_2(k-c) + 2\gamma_3\sqrt{ck - c^2}} \quad (2.29)$$

На основании (2.10) последний член в числителе (2.29) всегда можно отбросить. Кроме этого можно принять $k-c-1 \approx k$, т. к.

$$kc = \pi \sqrt{\frac{4}{12(1-\sigma^2)}} \cdot \frac{R}{a} \sqrt{\frac{R}{\delta}} \quad (2.29)$$

представляет по сравнению с единицей большое число. Таким образом в качестве расчетной формулы для $t_{\min}$ получим формулу

$$t_{\min} = \frac{2ck^2}{\gamma_1 c + \gamma_2 (k-c) + 2\gamma_3 \sqrt{ck-c^2}} \quad (2.31)$$

Для не очень коротких оболочек в (2.31) можно принять

$$k-c \approx k.$$

Рассмотрим частные случаи.

1. Продольное сжатие цилиндра

В этом случае $\gamma_2 = \gamma_3 = 0$, $\gamma_1 = 1$. Получим

$$t_{\min} = 2k^2 = t_1 \quad (2.32)$$

На основании (2.5) находим

$$T_{кр} = \frac{D}{R^2} t_1 = \frac{E}{\sqrt{3(1-\sigma^2)}} \frac{\delta^2}{R} \quad (2.33)$$

Это есть формула Лоренца—Тимошенко.[2]

2. Поперечное внешнее давление

В этом случае $\gamma_1 = \gamma_3 = 0$; $\gamma_2 = 1$. Получим

$$t_{\min} = \frac{2k^2 c}{k-c} = t_2 \quad (2.34)$$

Из (2.5) находим

$$q_{кр} = \frac{D}{R^3} t_2 = \frac{2k^2 c}{k-c} \cdot \frac{D}{R^2} \quad (2.34)$$

Формула Мизеса для данного случая имеет вид[2]: (в наших обозначениях)

$$q_{кр} = \frac{D}{R^3} \left(n^2 - 1 + \frac{2n^2 - 1 - \sigma}{n^2 + c^2} \cdot c^2 \right) + \frac{E\delta}{R} \frac{c^4}{(n^2 - 1)(n^2 + c^2)^2} \quad (2.35)$$

где n —число полуволн в окружном направлении.

Если в (2.35) подставить значение n из (2.28) и полагать $k-c-1 \approx k$, $k^2 + c^2 \approx k^2$, то получим (2.34). Следовательно (2.34) равносильна формуле Мизеса с той разницей, что у последнего решение дано в неопределенном виде (n является в 2.35 неизвестным, его нужно подобрать), а (2.34) и (2.28) задачу решают вполне определенно.

3. Кручение цилиндра

В этом случае $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$; $\gamma_3 = 1$. Получим

$$t_{\min} = \frac{ck^2}{\sqrt{ck - c^2}} = s \quad (2.36)$$

из (2.5) находим критический крутящий момент

$$M_{\text{кр}} = 2\pi D \cdot s = 2\pi \frac{ck^2}{\sqrt{ck - c^2}} \cdot D \quad (2.37)$$

Эта формула очень близка к формуле Муштари [3]

4. Совместное действие продольного сжатия и поперечного давления

В этом случае $\gamma_3 = 0$. Принимая $\gamma_2 = 1$, а за γ_1 отношение

$$\gamma_1 = \frac{T}{qR} \quad (2.38)$$

из (2.31) получим:

$$t_{\min} = \frac{2k^2c}{\gamma_1 c + k - c} = t_2 \quad (2.39)$$

Критическое давление q согласно (2.5) определится формулой

$$q_k = \frac{D}{R^3} t_2 = \frac{2k^2c}{\gamma_1 c + k - c} \cdot \frac{D}{R^3} \quad (2.40)$$

Для случая закрытой цилиндрической оболочки, подвергнутой действию равномерного внешнего давления, имеем:

$$\gamma_1 = \frac{\gamma_2}{2} = \frac{1}{2} \quad (2.41)$$

В этом случае (2.40) дает

$$q_k = \frac{2k^2c}{k - 0,5c} \cdot \frac{D}{R^3} \quad (2.42)$$

Решение Мизеса для этого случая имеет следующий вид [2]

$$q_{\text{кр}} = \frac{E\delta}{R} \frac{1}{n^2 + 0,5c^2} \left[\frac{c^4}{(n^2 + c^2)^2} + \frac{\delta^2}{12(1 - \sigma^2)R^2} (n^2 + c^2)^2 \right] \quad (2.43)$$

Если в эту формулу подставим значение n из (2.28), то получим (2.42). Следовательно (2.42) равносильна формуле Мизеса, в которой следует n определить из (2.28).

При γ_1 отличных от (2.41) решение задачи дается формулой (2.40).

5. Совместное действие продольной сжимающей силы и крутящего момента

В этом случае $\gamma_2=0$. Полагая $\gamma_3=1$, а γ_1 определенным из отношений

$$\gamma_1 = 2\pi R^2 \frac{T}{M} \quad (2.44)$$

из (2.31) имеем:

$$t_{\min} = \frac{2ck^2}{\gamma_1 c + 2\sqrt{kc - c^2}} = s. \quad (2.45)$$

Критический крутящий момент будет равным

$$M_{\text{кр}} = 2\pi D \cdot s = 4\pi \frac{k^2 c}{\gamma_1 c + 2\sqrt{kc - c^2}} D. \quad (2.46)$$

6. Совместное действие крутящего момента и поперечного давления

В этом случае $\gamma_1=0$. Полагая $\gamma_2=1$, а γ_3 определенным из отношений

$$\gamma_3 = \frac{M}{2\pi q R^3}, \quad (2.47)$$

получим:

$$t_{\min} = \frac{2ck^2}{k - c + 2\gamma_3 \sqrt{ck - c^2}} = t_2. \quad (2.48)$$

Критическое давление q определится формулой:

$$q_{\text{кр}} = \frac{D}{R^3} t_2 = \frac{2ck^2}{k - c + 2\gamma_3 \sqrt{ck - c^2}} \cdot \frac{D}{R^3} \quad (2.49)$$

Возвращаясь к общему случаю (2.31), мы можем принять один из коэффициентов γ_1 , γ_2 , γ_3 равным единице, а два остальных коэффициента определить как отношение соответствующих нагрузок. Например, полагая $\gamma_2=1$, должны γ_1 и γ_3 определить так:

$$\gamma_1 = \frac{T}{qR}; \quad \gamma_3 = \frac{M}{2\pi q R^3}. \quad (2.50)$$

Тогда из (2.31) будем иметь:

$$t_{\min} = \frac{2ck^2}{\gamma_1 c + k - c + 2\gamma_3 \sqrt{ck - c^2}} = t_2. \quad (2.51)$$

Критическое поперечное давление определится формулой:

$$q_{\text{кр}} \frac{D}{R^3} t_2 = \frac{2ck^2}{\gamma_1 c + k - c + 2\gamma_3 \sqrt{ck - c^2}} \frac{D}{R^3} \quad (2.52)$$

Во всех приведенных частных случаях, а также и в общем случае (2.52) количество волн в продольном и поперечном направлениях определяются формулами (2.28).

Примечания

I. Построенное общее решение (2.52), а также все частные решения (2.33), (2.34), (2.37), (2.40), (2.46) и (2.49) были основаны на следующих упрощениях:

1. Были удовлетворены только краевые условия $w=0$ на обоих концах цилиндра;

2. было принято

$$T_2^* \left(\frac{\partial^2}{\partial \beta^2} + 1 \right) \approx T_2^* \frac{\partial^2}{\partial \beta^2}; \quad (a)$$

3) в окончательных результатах были приняты:

$$\begin{aligned} k^2 + 1 &\approx k^2 \\ ck - 1 &\approx ck \end{aligned} \quad (b)$$

Если бы мы исходили вместо основного уравнения (1.1) из более простого уравнения:

$$\nabla^8 \varphi + 12(1 - \sigma^2) \frac{R^2}{\delta^2} \cdot \frac{\partial^4 \varphi}{\partial \alpha^4} = \frac{R^2}{D} \left[T_1^* \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + T_2^* \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} + 2S^* \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta} \right] \nabla^4 \varphi, \quad (c)$$

то пришли бы к тем же результатам (2.52), (2.33), (2.34), (2.37), (2.40), (2.46) и (2.49). Это показывает, что все члены в левой части (1.1), не учтенные в (c), по сравнению с членами

$$\nabla^8 \varphi + 12(1 - \sigma^2) \frac{R^2}{\delta^2} \frac{\partial^4 \varphi}{\partial \alpha^4},$$

малы как единица по сравнению с k^2 и kc (это утверждение верно, если оболочки на криволинейных краях имеют опоры, обеспечивающие там $w=0$ и не всегда верно, если на криволинейных краях опор не имеется).

II. Формулы (2.52), (2.34) (2.37) (2.46) и (2.49) дают несколько пониженные значения критических нагрузок, т. к. при определении минимума выражения (2.12) мы полагали λ непрерывным. В действительности должны были подобрать два ближайших целых числа в выражении $\lambda = m$ (именно $m-1$ и $m+1$) так, чтобы (2.12) при $\lambda = m$ было меньше, чем при $\lambda = c(m-1)$ и $\lambda = c(m+1)$. Такой путь усложнял бы математические выкладки и мы не получили бы компактные расчетные формулы. Полученные формулы предпочтительны еще тем, что нам нужно иметь некоторый запас для учета дефектов оболочки (недочеты при изготовлении и пр.).

III. Формулы (2.52) (2.33) (2.34) (2.37) (2.46) и (2.49) могут быть применены также для проверки на устойчивость незамкнутой оболочки. В этом случае только надо в формуле (2.28) вместо n подразумевать $n \frac{\pi}{\Theta}$, где Θ — есть центральный угол оболочки.

ԼԻՏԵՐԱՏՄՐԱ

1. В. З. Власов—Основные дифференциальные уравнения общей теории упругих оболочек. Прикл. мат. и механика, стр. 109, 1944.
2. С. П. Тимошенко—Устойчивость упругих систем. Гостехиздат 1946, Москва—Ленинград.
3. Х. М. Муштару—Некоторые обобщения теории тонких оболочек с применениями к решению задач устойчивости упругого равновесия. Прикл. мат. и механика, стр. 439, 1938.

Թ. Թ. Խաչատրյան

ԳԼԱՆԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատութեան մեջ տրվում է գլանային թաղանթների կայունության խնդրի լուծումը, երբ թաղանթի վրա ազդում են ընդերկայնական սեղմող ուժեր, ընդլայնական ճնշում, և որոշ մոմենտներ: Ինչպես կլրական կական թվի, նույնպես և ալիքների թվերի համար (ընդերկայնական ուղղութեամբ և թաղանթի շրջագծի ուղղութեամբ) տրվում են պարզ բանաձևեր: Որպես մասնավոր դեպքեր, աշխատութեան մեջ տրված լուծումից ստացվում են Լորենց-Տիմոշենկոյի, Միզեսի, Շվեբլինի և Մուշտարու դիտած մասնավոր խնդիրների լուծումները: Աշխատութեան հիմքում ընդունված են Լյավի բանաձևերը, որոնք ճշտված են 1944 թվին Վլասովի կողմից: Մահմանային պայմանները բավարարվում են միայն ռադիալ տեղափոխման վրա դրված պայմանները:

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Б. Л. Абрамян

Приближенные решения задач об изгибе прямоугольных плит, лежащих на упругом основании

1. Дифференциальное уравнение изгиба прямоугольной плиты и его решение

Уравнение упругой поверхности пластинки на упругом основании имеет вид

$$\nabla^4 w + \frac{K}{D} w = \frac{q(x, y)}{D}, \quad (1.1)$$

где

$$\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4},$$

$q(x, y)$ — внешняя изгибающая нагрузка,

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость пластинки при изгибе,

h — толщина пластинки,

E, ν — модуль Юнга и коэф. Пуассона,

$w(x, y)$ — прогиб пластинки в точке (x, y) ,

K — коэффициент податливости основания,

размерность $K = \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$

Напишем уравнение (1.1) в виде

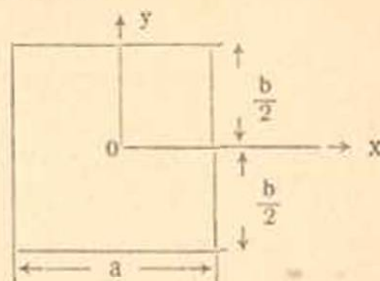
$$\nabla^4 w + \lambda^4 w = \frac{q(x, y)}{D} \quad (1.2), \quad \text{где } \lambda^4 = \frac{K}{D}.$$

Следуя идее проф. Л. В. Канторовича [1] решение уравнения (1.2) ищем в виде

$$w(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k(x) \omega_k(y), \quad (1.3)$$

где $\omega_k(y)$ система линейно независимых функций, относительно полная в интервале $\left[\frac{b}{2}, -\frac{b}{2}\right]$ в смысле равномерной сходимости и выбрана так, что каждый член ряда (1.3) удовлетворяет граничным условиям на сторонах $y = \pm \frac{b}{2}$,

$f_k(x)$ — пока неизвестная функция, подлежащая определению из соответствующей (1.2) вариационной задачи.



Вычисляя вариацию $\delta w(x, y) = \sum_k \omega_k(y) \delta f_k(x)$ и подставляя (1.3) в (1.2), после некоторых преобразований получим:

$$\sum_k \{ f_k^{IV}(x) \alpha_{ki} + 2f_k''(x) \beta_{ki} + f_k(x) [\gamma_{ki} + \lambda^4 \alpha_{ki}] \} = q_i(x), \quad (1.4)$$

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

где обозначены

$$\begin{aligned} \alpha_{ki} &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \omega_k(y) \omega_i(y) dy \\ \beta_{ki} &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \omega_k''(y) \omega_i(y) dy \\ \gamma_{ki} &= \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \omega_k^{IV}(y) \omega_i(y) dy \\ q_i(x) &= \frac{1}{D} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} q(x, y) \omega_i(y) dy. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Таким образом, для определения функций $f_k(x)$ $k=1, 2, \dots, n$ имеем систему линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (1.4).

Решение этой системы имеет вид

$$f_k(x) = \bar{f}_k(x) + f_k^*(x), \quad (1.6)$$

где $\bar{f}_k^*(x)$ — частное решение системы (1.4),

$\bar{f}_k(x)$ — общее решение соответствующей (1.4) однородной системы уравнений:

$$\sum_k \{ \bar{f}_k^{IV}(x) \alpha_{ki} + 2\bar{f}_k''(x) \beta_{ki} + \bar{f}_k(x) [\gamma_{ki} + \lambda^4 \alpha_{ki}] \} = 0. \quad (1.7)$$

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

Характеристическое уравнение для определения $\bar{f}_k(x)$ получим в виде

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11}s^4 + 2\beta_{11}s^2 + \lambda^4\alpha_{11} + \gamma_{11} & \alpha_{12}s^4 + 2\beta_{12}s^2 + \lambda^4\alpha_{12} + \gamma_{12} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1}s^4 + 2\beta_{n1}s^2 + \lambda^4\alpha_{n1} + \gamma_{n1} & \alpha_{n2}s^4 + 2\beta_{n2}s^2 + \lambda^4\alpha_{n2} + \gamma_{n2} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{nn}s^4 + 2\beta_{nn}s^2 + \lambda^4\alpha_{nn} + \gamma_{nn} & & \end{vmatrix} = 0 \quad (1.8)$$

Уравнение (1.8) степени $4n$. Решая его получим $4n$ значений для s . Произвольные постоянные интегрирования количеством $4n$ определяются из граничных условий для функций $\bar{f}_k(x)$.

Удачный подбор функций $\omega_k(y)$ позволит сделать ряд $\sum_k \bar{f}_k(x)\omega_k(y)$ быстро сходящим, что даст возможность пользоваться только первым приближением ($n=1$).

Раскрывая (1.8) при $n=1$, получим следующие значения для корней s_1, s_2, s_3 и s_4 :

$$s_{1,2,3,4} = \pm \sqrt{\frac{-\beta_{11} \pm \sqrt{\beta_{11}^2 - \lambda^4 \alpha_{11}^2 - \gamma_{11} \alpha_{11}}}{\alpha_{11}}} \quad (1.9)$$

Определив функции $\bar{f}_k(x)$, в общем случае пользуемся ими для получения частных решений $\bar{f}_k^*(x)$.

2. Граничные условия

Рассмотрим граничные условия для функций $\bar{f}_k(x)$ и $\omega_k(x)$ в разных случаях закрепления контура плиты.

Края пластинки свободно оперты;

$$\begin{aligned} \text{тогда} \quad \bar{f}_k(x) = \bar{f}_k''(x) = 0 \quad \text{при} \quad x = \pm \frac{a}{2} \\ \omega_k(y) = \omega_k''(y) = 0 \quad \text{при} \quad y = \pm \frac{b}{2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Края пластинки жестко заделаны;

$$\begin{aligned} \text{тогда} \quad f_k(x) = f'_k(x) = 0 \quad \text{при} \quad x = \pm \frac{a}{2} \\ \omega_k(y) = \omega'_k(y) = 0 \quad \text{при} \quad y = \pm \frac{b}{2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Край $x = \frac{a}{2}$ свободен;

$$\text{тогда} \quad M_1 = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = f_1(y) \quad (2.3)$$

$$N_1 + \frac{\partial H}{\partial y} = -D \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right] = f_2(y) \quad (2.3)$$

Условия (2.3) можно записать в следующей форме:

$$\sum_{i=1}^n \left[\alpha_{ki} f_i'' \left(\frac{a}{2} \right) + \nu \beta_{ki} f_i' \left(\frac{a}{2} \right) \right] = -\frac{1}{D} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} f_1(y) \omega_k(y) dy \quad (2.3')$$

$$\sum_{i=1}^n \left[\alpha_{ki} f_i''' \left(\frac{a}{2} \right) + (2-\nu) \beta_{ki} f_i' \left(\frac{a}{2} \right) \right] = -\frac{1}{D} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} f_2(y) \omega_k(y) dy$$

Край $x = \frac{a}{2}$ жестко заделан на прогибающихся балках с жесткостью EI ;

$$\begin{aligned} \text{тогда} \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \\ N_1 + \frac{\partial H}{\partial y} = EI \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -D \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

Условия (2.4) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} f_k' \left(\frac{a}{2} \right) = 0 \\ \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{ki} f_i''' \left(\frac{a}{2} \right) + (2-\nu) f_i' \left(\frac{a}{2} \right) \beta_{ki} + \frac{EI}{D} f_i \left(\frac{a}{2} \right) \gamma_{ki} \right] = 0 \end{aligned} \quad (2.4')$$

3. Изгиб прямоугольной плиты, лежащей на упругом основании под действием равномерно распределенной нагрузки, когда два противоположных края свободно оперты $\left(y = \pm \frac{b}{2} \right)$, а два другие жестко заделаны $\left(x = \pm \frac{a}{2} \right)$

Задаем функцию $\omega_k(y)$ в виде

$$\omega_k(y) = \sin \frac{k\pi(b+2y)}{2b}. \quad (3.1)$$

Подставляя (3.1) в (1.5), получим:

$$\begin{aligned} \alpha_{ki} &= \begin{cases} \frac{b}{2} & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \\ \beta_{ki} &= \begin{cases} -\left(\frac{k\pi}{b}\right)^2 \frac{b}{2} & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \\ \gamma_{ki} &= \begin{cases} \left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 \frac{b}{2} & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \\ q_i &= \begin{cases} 0 & i = 0, 2, \dots \\ \frac{4q}{Dk\pi} \frac{b}{2} & i = 1, 3, \dots \end{cases} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Из системы уравнений (1.4) останется уравнение

$$f_k^{IV}(x) - 2f_k''(x) \left(\frac{k\pi}{b}\right)^2 + f_k(x) \left[\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4\right] = \frac{4q}{Dk\pi} \quad (3.3)$$

$k=1, 3, \dots$

Характеристическое уравнение для определения $\overline{f_k(x)}$ будет

$$\left[s^2 - \left(\frac{k\pi}{b}\right)^2\right]^2 + \lambda^4 = 0; \quad (3.4)$$

корни этого уравнения суть:

$$s_{1,2,3,4} = \pm (\alpha_k \pm i\beta_k), \quad (3.5)$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \sqrt{\frac{\sqrt{\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} + \left(\frac{k\pi}{b}\right)^2}{2}} \\ \beta_k &= \sqrt{\frac{\sqrt{\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} - \left(\frac{k\pi}{b}\right)^2}{2}}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Тогда решение для $\overline{f_k(x)}$ можно написать в виде

$$\begin{aligned} \overline{f_k(x)} &= A_{1k} \operatorname{ch} \alpha_k x \cos \beta_k x + A_{2k} \operatorname{sh} \alpha_k x \cos \beta_k x + A_{3k} \operatorname{ch} \alpha_k x \sin \beta_k x + \\ &+ A_{4k} \operatorname{sh} \alpha_k x \sin \beta_k x. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Частное решение уравнения (3.3) для постоянной нагрузки берем в форме

$$f_k^*(x) = \frac{4q}{Dk\pi} \frac{1}{\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} \quad k=1,3,\dots \quad (3.8)$$

Составив общее решение $f_k(x) = \bar{f}_k(x) + f_k^*(x)$ и удовлетворив граничным условиям закрепления на краях плиты $x = \pm \frac{a}{2}$, получим.

$$A_{2,k} = A_{3,k} = 0$$

$$A_{1,k} = -\frac{4q}{Dk\pi} \frac{1}{\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} \frac{\alpha_k \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2} \sin \frac{\beta_k a}{2} + \beta_k \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2}}{\alpha_k \sin \frac{\beta_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2} + \beta_k \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2} \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2}} \quad (3.9)$$

$$A_{4,k} = \frac{4q}{Dk\pi} \frac{1}{\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} \frac{\alpha_k \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2} - \beta_k \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2} \sin \frac{\beta_k a}{2}}{\alpha_k \sin \frac{\beta_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2} + \beta_k \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2} \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2}}$$

Окончательно прогиб $w(x, y)$ будет иметь следующий вид:

$$w(x, y) = \frac{4q}{D\pi} \sum_{k=1,3,\dots} \frac{\sin \frac{k\pi(b+2y)}{2b}}{k \left[\left(\frac{k\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4 \right]} \left\{ 1 + \right. \\ \left. + \frac{\alpha_k \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2} - \beta_k \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2} \sin \frac{\beta_k a}{2}}{\alpha_k \sin \frac{\beta_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2} + \beta_k \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2}} \operatorname{sh} \alpha_k x \sin \beta_k x - \right. \\ \left. - \frac{\alpha_k \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2} \sin \frac{\beta_k a}{2} + \beta_k \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2}}{\alpha_k \sin \frac{\beta_k a}{2} \cos \frac{\beta_k a}{2} + \beta_k \operatorname{sh} \frac{\alpha_k a}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_k a}{2}} \operatorname{ch} \alpha_k x \cos \beta_k x \right\} \quad (3.10)$$

где величины $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$, $\lambda^4 = \frac{K}{D}$ а α_k и β_k даются уравнениями (3.6).

4. Изгиб прямоугольной пластинки, лежащей на упругом основании, все края которой жестко заделаны, действующая нагрузка равномерно распределенная.

$$\text{Берем } \omega_k(y) = \sin \frac{\pi(b+2y)}{2b} \sin \frac{k\pi(b+2y)}{2b}. \quad (4.1)$$

Подставляя (4.1) в (1.5), получим:

$$\begin{aligned} \alpha_{ki} &= \begin{cases} \frac{b}{4} & i=k \\ -\frac{b}{8} & |k-i|=2 \\ \frac{b}{8} & k+i=2 \end{cases} \\ \beta_{ki} &= \begin{cases} -\left(\frac{\pi}{b}\right)^2 (1+k^2) \frac{b}{4} & i=k \\ \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 (1+k)^2 \frac{b}{8} & i=k=2 \\ \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 (1-k)^2 \frac{b}{8} & k-i=2 \\ -\left(\frac{\pi}{b}\right)^2 (1-k)^2 \frac{b}{8} & k+i=2 \end{cases} \quad (4.2) \\ \gamma_{ki} &= \begin{cases} \left(\frac{\pi}{b}\right)^4 (1+6k^2+k^4) \frac{b}{4} & i=k \\ -\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 (1+k)^4 \frac{b}{8} & i-k=2 \\ -\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 (1-k)^4 \frac{b}{8} & k-i=2 \\ \left(\frac{\pi}{b}\right)^4 (1-k)^4 \frac{b}{8} & k+i=2 \end{cases} \\ q_i &= \begin{cases} 0 & i \neq 1 \\ \frac{qb}{2D} & i = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

Для первого приближения $k=i=1$ получим:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \frac{3}{8} b \\ \beta_{11} &= -\left(\frac{\pi}{b}\right)^2 \frac{b}{2} \\ \gamma_{11} &= 2 \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 b \\ q_1 &= \frac{qb}{2D} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Дифференциальное уравнение для определения $f_1(x)$ будет иметь вид:

$$f_1^{IV}(x) - \frac{8}{3} \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 f_1''(x) + \left[\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 \frac{16}{3} + \lambda^4 \right] f_1(x) = \frac{4}{3} \frac{q}{D} \quad (4.4)$$

Частное решение этого уравнения берем в виде:

$$f_1^*(x) = \frac{4q}{3D} \frac{1}{\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 \frac{16}{3} + \lambda^4} \quad (4.5)$$

Общее решение уравнения (4.4) будет:

$$f_1(x) = A_{11} \operatorname{ch} \alpha_1 x \cos \beta_1 x + A_{21} \operatorname{sh} \alpha_1 x \cos \beta_1 x + A_{31} \operatorname{ch} \alpha_1 x \sin \beta_1 x + \\ + A_{41} \operatorname{sh} \alpha_1 x \sin \beta_1 x + \frac{4q}{3D} \frac{1}{\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 \frac{16}{3} + \lambda^4} \quad (4.6)$$

Удовлетворив условиям $f_1\left(\pm \frac{a}{2}\right) = f_1'\left(\pm \frac{a}{2}\right) = 0$, получим:

$$A_{21} = A_{31} = 0$$

$$A_{11} = -\frac{4q}{3D} \frac{1}{\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 \frac{16}{3} + \lambda^4} \frac{\alpha_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2} \sin \frac{\beta_1 a}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2}} \\ A_{41} = \frac{4q}{3D} \frac{1}{\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 \frac{16}{3} + \lambda^4} \frac{\alpha_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2} - \beta_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2} \sin \frac{\beta_1 a}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2}}, \quad (4.7)$$

где

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\sqrt{\frac{48}{9} \left(\frac{\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} + \frac{4}{3} \left(\frac{\pi}{b}\right)^2}{2}} \\ \beta_1 = \sqrt{\frac{\sqrt{\frac{48}{9} \left(\frac{\pi}{b}\right)^4 + \lambda^4} - \frac{4}{3} \left(\frac{\pi}{b}\right)^2}{2}} \quad (4.8)$$

Подставив (4.6) в (1.3), при $k=1$, получим следующее выражение для прогиба $w(x, y)$:

$$w(x, y) \approx w_1(x, y) = \frac{4}{3} \frac{q}{D} \frac{1}{\left(\frac{\pi}{b}\right)^4 \frac{16}{3} + \lambda^4} \left\{ 1 + \right. \\ + \frac{\alpha_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2} - \beta_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2} \sin \frac{\beta_1 a}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2}} \operatorname{sh} \alpha_1 x \sin \beta_1 x - \\ \left. - \frac{\alpha_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2} \sin \frac{\beta_1 a}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 a}{2} \cos \frac{\beta_1 a}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 a}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 a}{2}} \operatorname{ch} \alpha_1 x \cos \beta_1 x \right\} \quad (4.9)$$

Для оценки точности решения (4.9) приведем сравнение результатов для квадратной плиты без упругого основания, вычисленных по формуле (4.9) и акад. Б. Г. Галеркиным [2].

По формуле (4.9) решение получаем в виде

$$w(x, y) \approx w_1(x, y) = \frac{qb^4}{4D\pi^4} \left\{ 1 + \frac{\alpha_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 b}{2} \cos \frac{\beta_1 b}{2} - \beta_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 b}{2} \sin \frac{\beta_1 b}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 b}{2} \cos \frac{\beta_1 b}{2} + \beta_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 b}{2} \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 b}{2}} \operatorname{sh} \alpha_1 x \sin \beta_1 x - \right. \\ \left. - \frac{\alpha_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 b}{2} \sin \frac{\beta_1 b}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 b}{2} \cos \frac{\beta_1 b}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 b}{2} \cos \frac{\beta_1 b}{2} + \beta_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 b}{2} \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 b}{2}} \operatorname{ch} \alpha_1 x \cos \beta_1 x \right\}, \quad (4.10)$$

где b — сторона квадрата,

$$\alpha_1 = 4,236 \frac{1}{b} \\ \beta_1 = 2,192 \frac{1}{b}. \quad (4.11)$$

Прогиб в центре плиты определится уравнением:

$$w(0,0) = \frac{qb^4}{4D\pi^4} \left\{ 1 - \frac{\alpha_1 \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 b}{2} \sin \frac{\beta_1 b}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 b}{2} \cos \frac{\beta_1 b}{2}}{\alpha_1 \sin \frac{\beta_1 b}{2} \cos \frac{\beta_1 b}{2} + \beta_1 \operatorname{sh} \frac{\alpha_1 b}{2} \operatorname{ch} \frac{\alpha_1 b}{2}} \right\}, \quad (4.12)$$

что при $\nu = 0,3$ дает:

$$w(0,0) \approx 0,01389 \frac{qb^4}{Eh^3}. \quad (4.13)$$

Б. Г. Галеркин для этого случая дает:

$$w(0,0) \approx 0,0138 \frac{qb^4}{Eh^3}. \quad (4.14)$$

Сравнение этих результатов показывает, что решение (4.9), составленное в первом приближении, дает для практических целей достаточно точное значение прогиба.

ԼԻՏԵՐԱՏՈՐԱ

1. Л. В. Канторович и Н. И. Крылов.—Приближенные методы высшего анализа. ОНТИ, 1941, Москва.
2. Б. Г. Галеркин.—Упругие тонкие плиты. Госстройиздат, 1933, Москва.

Բ. Ա. Աբրահամյան

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆ ՀԻՄՔԵՐԻ ՎՐԱ ԴՐՎԱԾ ՍԱԼԵՐԻ ԾՌՄԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՄՈՏԱՎՈՐ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում արված է առաձգական հիմքերի վրա դրված ուղղանկյուն սալերի ծուճան խնդիրների մոտավոր լուծման եղանակ:

Ենթադրվում է, որ առաձգական հիմքերի դիմադրությունը տեղի ունի դժային օրենքով:

Օգտագործված է է. Վ. Կոնստանտինովի մեթոդը սալերի եզրային սլայմանների երկու դեպքի համար:

ա) երբ ուղղանկյան երկու հանդիպակած եզրերը ազատ հենված են, իսկ մյուսները ամրակցված:

բ) երբ բոլոր եզրերը ամրակցված են:

Ստացված են ճկվածքի համար բանաձևեր, երբ սալերը զտնվում են հավասարաչափ բաշխված բեռի ազդեցության տակ:

Այդ բանաձևերը առաջին մոտավորությամբ տալիս են ճկվածքի համար զործնական բավարար ճշտություն ունեցող արդյունքներ:

ТЕОРИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

З. А. Ацагорцян

Определение оптимального сечения железобетонных плит с учетом влияния изменения их собственного веса

Простор в выборе процента армирования при расчете железобетонных конструкций по теории критических нагрузок, узаконенной в Советском Союзе, даст возможность принимать экономически наиболее выгодные решения.

В свое время, вслед за опубликованием проф. А. Ф. Лелейтом метода расчета железобетонных конструкций по критическим нагрузкам, нами была предложена формула для определения экономически наиболее выгодного (оптимального) процента армирования изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения [1, а].

Аналогичные формулы, несколько позднее, были предложены другими авторами [2,3], а также нами [1, б].

При выводе указанных формул не учитывалось влияние изменения собственного веса элемента при изменении процента армирования. Если это приемлемо для конструкций, в которых собственный вес составляет незначительную долю общей нагрузки, то для конструкций со значительным собственным весом, каковым являются, в частности, железобетонные плиты, неучет указанного фактора приводит к существенной погрешности. Как показали произведенные нами непосредственные детальные расчеты [1, в], учет влияния изменения собственного веса плит может изменить оптимальный процент армирования довольно значительно, в некоторых случаях даже до двух раз. При этом, как и следовало ожидать, изменение происходит в сторону повышения оптимального процента армирования.

Решение задачи определения оптимального процента армирования с учетом влияния изменения собственного веса встречает значительные затруднения. Как показали работы некоторых исследователей [4,5], точное решение задачи весьма сложно и не приводит к практическим результатам.

Нами получена сравнительно простая формула оптимального процента армирования плит при некоторых упрощающих допущениях. Ниже даем вывод этой формулы.*

* В настоящей статье рассматриваются балочные плиты. Полученная формула может быть распространена и на плиты, опертые по контуру при их квадратном очертании в плане. Общий же случай плит, опертых по контуру, будет нами рассмотрен особо.

Стоимость единицы площади железобетонной плиты (S) может быть выражена следующим образом:

$$S = h_0 S_6 + \varepsilon F_a \gamma_a S_a + C, \quad (1)$$

где: h_0 — полезная высота сечения плиты,
 F_a — площадь сечения рабочей арматуры,
 ε — конструктивный коэффициент арматуры,
 S_6 — стоимость единицы объема бетона в деле,
 S_a — стоимость единицы веса арматуры в деле,
 γ_a — удельный вес арматурной стали,
 C — постоянная величина (стоимость защитного слоя, опалубки и пр.)

Разобьем площадь сечения рабочей арматуры (F_a) на две части:

$$F_a = F_{a_1} + F_{a_2},$$

где F_{a_1} — площадь сечения арматуры, воспринимающей усилие от всей нагрузки на плиту, кроме ее собственного веса,
 F_{a_2} — площадь сечения арматуры, воспринимающей усилие от собственного веса плиты.

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$S = h_0 S_6 + \varepsilon F_{a_1} \gamma_a S_a + \varepsilon F_{a_2} \gamma_a S_a + C. \quad (2)$$

Без большой погрешности можно считать, что площадь сечения арматуры, воспринимающей усилие от собственного веса (F_{a_2}), является постоянной величиной, не зависящей от толщины плиты. Действительно, по теории железобетона:

$$F_{a_2} = \frac{k M_2}{\sigma_t \varphi h_0}, \quad (3)$$

где M_2 — изгибающий момент от собственного веса плиты,
 k — коэффициент запаса,
 σ_t — предел текучести арматурной стали,
 φ — отношение плеча внутренней пары к полезной высоте сечения.
 Изгибающий момент от собственного веса плиты можно выразить следующим образом:

$$M_2 = \beta \eta h_0 \gamma l^2, \quad (4)$$

где: β — коэффициент, зависящий от условий опирания плиты,
 $\eta \frac{h}{h_0}$ — отношение полной и полезной толщины плиты,
 γ — объемный вес железобетона,
 l — расчетный пролет плиты.

Подставляя значение (4) в уравнение (3), получим

$$F_{a_2} = \frac{k \beta \eta \gamma l^2}{\sigma_t \varphi} \quad (5)$$

В этом выражении все величины являются постоянными, кроме φ , которая зависит в весьма слабой степени от процента армирования и может быть принята за постоянную.

Таким образом F_{a2} , а следовательно и член $F_{a2} S_a$ в уравнении (2), могут считаться постоянными.

Обозначая

$$\varepsilon \gamma_a F_{a2} S_a + C = C_1,$$

имеем

$$S = h_0 S_0 + \varepsilon F_{a1} \gamma_a S_a + C_1. \quad (6)$$

Пользуясь уравнением (6) нетрудно получить оптимальный процент арматуры F_{a1} , воспринимающей усилие от всей нагрузки, кроме собственного веса плиты.

Обозначим

$$\mu_1 = \frac{F_{a1}}{h_0},$$

тогда

$$S = h_0 S_0 + \varepsilon \mu_1 h_0 \gamma_a S_a + C_1 \quad (7)$$

Приравнявая нулю первую производную S по μ_1 , получим

$$\frac{\partial S}{\partial \mu_1} = S_0 \frac{\partial h_0}{\partial \mu_1} + \varepsilon \gamma_a S_a \left(h_0 + \mu_1 \frac{\partial h_0}{\partial \mu_1} \right) = 0. \quad (8)$$

Для определения $\frac{\partial h_0}{\partial \mu_1}$ воспользуемся выражением изгибающего

момента (M_1) от всей нагрузки, кроме собственного веса плиты. В соответствии с основной расчетной формулой изгибаемых элементов

$$M_1 = \mu_1 h_0^2 \sigma_T \left(1 - 0,5 \mu_1 \frac{\sigma_T}{R_n} \right). \quad (9)$$

Ввиду неизменяемости несущей способности плиты производная M_1 по μ_1 должна быть равна нулю:

$$\frac{\partial M_1}{\partial \mu_1} = \left(2 h_0 \mu_1 \sigma_T \frac{\partial h_0}{\partial \mu_1} + h_0^2 \sigma_T \right) \left(1 - 0,5 \mu_1 \frac{\sigma_T}{R_n} \right) - 0,5 \mu_1^2 h_0^2 \sigma_T \frac{\sigma_T}{R_n} = 0,$$

откуда

$$\frac{\partial h_0}{\partial \mu_1} = \frac{h_0 \left(\mu_1 \frac{\sigma_T}{R_n} - 1 \right)}{2 \mu_1 \left(1 - 0,5 \mu_1 \frac{\sigma_T}{R_n} \right)}. \quad (10)$$

Подставляя полученное значение $\frac{\partial h_0}{\partial \mu_1}$ в уравнение (8) и решая его относительно μ_1 , получим:

$$\mu_1 = \frac{1}{\varepsilon \gamma_a \frac{S_a}{S_0} + \frac{\sigma_T}{R_n}}, \quad (11)$$

т. е. точно такое же выражение, какое имеется для оптимального коэффициента армирования без учета влияния изменения собственного веса.

Поскольку арматура для восприятия усилия от собственного веса плиты (F_{a2}) постоянна, то для получения общего оптимального коэффициента армирования необходимо к μ_1 по формуле (11) добавить μ_2 — коэффициент армирования от собственного веса. В соответствии с (5)

$$\mu_2 = \frac{F_{a2}}{h_0} = \frac{\kappa \beta \eta \gamma l^2}{\sigma_T \varphi h_0} \quad (12)$$

Здесь h_0 представляет собой оптимальную полезную высоту сечения плиты, соответствующую оптимальному армированию.

Приближенное значение оптимального h_0 получится из выражения (6), если приравнять нулю первую производную S по h_0 , предварительно подставив

$$F_{a1} = \frac{M_1}{\sigma_T \varphi h_0}$$

и принимая φ за постоянную:

$$\frac{\partial S}{\partial h_0} = S_6 - \frac{\varepsilon \kappa M_1 S_a \gamma_a}{\sigma_T \varphi h_0^2} = 0,$$

откуда

$$h_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon S_a \gamma_a \kappa M_1}{\sigma_T \varphi S_6}} \quad (13)$$

Подставляя в уравнение (12) полученное выражение, а также

$$M_1 = \beta p l^2,$$

где p — нагрузка на единицу площади плиты без собственного веса, получим

$$\mu_2 = \frac{\eta \gamma \sqrt{\kappa \beta}}{\sqrt{\frac{p}{l}}} \sqrt{\frac{S_a}{\varepsilon \gamma_a \sigma_T \varphi S_6}} \quad (14)$$

Принимая $\eta = 1,2$; $\varphi = 7/8$; $\varepsilon \gamma_a = 10$; $\sqrt{\kappa \beta} = 0,5$; с некоторым округлением получим

$$\mu_2 = \frac{2\gamma}{\sqrt{\frac{p}{l}}} \sqrt{\frac{S_a}{\sigma_T S_6}} \quad (15)$$

где приняты следующие единицы измерения: γ — кг/м³; p — кг/м²; l — м; σ_T — кг/см²; S_a — руб/т; S_6 — руб/м³.

В итоге общий оптимальный коэффициент армирования железобетонной плиты

бетонной балочной плиты с учетом влияния изменения ее собственного веса определяется следующей формулой:

$$\mu = \frac{1}{10 \frac{S_a}{S_b} + \frac{\sigma_r}{R_n}} + \frac{2\gamma}{\frac{\sqrt{p}}{1} \sqrt{\sigma_r \frac{S_a}{S_b}}} \quad (16)$$

Выражение $\frac{\sqrt{p}}{1}$ можно назвать параметром полезной нагруженности конструкции. Чем меньше этот параметр, тем больше оптимальное армирование. С другой стороны, чем меньше объемный вес железобетона (например легкий железобетон), тем меньше оптимальное армирование.

Для наглядного выявления значимости второго члена в формуле (16), выражающего влияние изменения собственного веса, приведем пример расчета.

Пусть дано $\frac{\sqrt{p}}{1} = \frac{\sqrt{400}}{3} = 6,67$; $\frac{S_a}{S_b} = 10$; $R_n = 110 \text{ кг/см}^2$; $\sigma_r = 2500 \text{ кг/см}^2$; $\gamma = 2,4 \text{ т/м}^3$.

По формуле (16)

$$\mu = \frac{1}{10 \cdot 10 + \frac{2500}{110}} + \frac{2 \cdot 2,4}{6,67 \sqrt{2500 \cdot 10}} = 0,0082 + 0,0046 = 0,0128$$

или 1,28%.

Как видно, собственный вес плиты играет значительную роль в решении вопроса об оптимальном армировании.

Значения оптимального процента армирования по формуле (16) хорошо сходятся с упомянутыми выше результатами наших непосредственных вычислений [1, 6]. Поэтому формула (16) может быть рекомендована для применения на практике.

После вычисления оптимального процента армирования сечение плиты может быть определено обычным способом или по предложенной нами ранее [1, г] формуле.

Поступило 4 XI 1948.

Институт Строительных Материалов
и Сооружений
Академии Наук Армянской ССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. А. Ацагорцян—а) Пемза и туф в железобетонных конструкциях, Строительная Промышленность, № 10, 1933, Москва.—б) Легкий железобетон, Сб. работ

АИСМ по новым стройматериалам и стройконструкциям, 1940, Ереван. в) Эффективность легкого железобетона в условиях строительства Армянской ССР (диссертация), 1947. г) Расчет изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения с учетом собственного веса. ДАН Арм. ССР. VII. № 2, 1947.

2. В. А. Бушков—а) Экономический подбор сечений железобетонных плит и балок прямоугольного сечения на основе проекта ТУ и Н. Проект и Стандарт. № 7, 1936, Москва. б) железобетонные конструкции, ч. II, 1941, Москва.

3. К. Э. Таль и М. Г. Костюковский—Расчет и конструирование железобетонных конструкций 1941, Москва.

4. А. Г. Калениченко—Об экономичном проценте армирования. Строительная Промышленность, № 3, 1939, Москва.

5. H. Granholm—Ekonomisk dimensionering av armerade betongplattor. Betong. I, 1941, Stockholm.

2. Ա. Հասցազորձյան

ԵՐԿԱԹԱԲԵՏՈՆ ՍԱԼԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԱՏՎԱԾՔԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ՝ ՀԱՇՎԻ ԱՌՆԵԼՈՎ ՆՐԱՆՑ ՍԵՓԱԿԱՆ ԿՇՈՒ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Երկաթաբետոն կոնստրուկցիաների երկաթափորման օպտիմալ տեղանքի որոշման համար մինչև այժմ զոյսվել են ունեցող բանաձևերը հաշվի չեն առնում կոնստրուկցիաների սեփական կշռի փոփոխության ազդեցությունը: Այդ անտեսումը էական ռիսկ է առաջացնում սալերի երկաթափորման օպտիմալ տեղանք որոշելիս, քանի որ նրանց սեփական կշռի դերը նշանակալից է:

Խնդրի ճշգրիտ լուծումը չափազանց բարդ է, և զսրծնական արդյունքի չի հասցնում: Մի քանի պարզացումներ կատարելով հեղինակին հաջողվել է ստանալ երկաթաբետոն սալերի երկաթափորման օպտիմալ տեղանքի որոշման համար մի համեմատաբար զարդ բանաձև (16), որի մեջ հաշվի է առնված նրանց սեփական կշռի փոփոխության ազդեցությունը:

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Л. Г. Седракин.

Расчеты каменных столбов таврового сечения
 на внецентренное сжатие

Из имеющихся в литературе формул расчета элементов каменных конструкций таврового сечения более близкие к действительности результаты дают формулы $N-57-43^*$. Однако даже при этом имеется расхождение между расчетными и опытными данными, возрастающее по мере возрастания эксцентриситета нормальной силы и достигающее 600 и более % при эксцентриситете $\Omega=0,9a$, что уменьшает практическую ценность упомянутых формул.

Лучшие результаты получаются, если расчет тавровых сечений производить по нашим формулам, выведенным для расчета прямоугольных сечений, при неизбежном введении некоторых упрощающих предположений. Эти формулы для расчета каменных элементов прямоугольного сечения на внецентренное сжатие имеют вид [1,2]:

$$P=P_0 \psi \quad (1)$$

$$P_0 = \frac{0,92 \cdot F \cdot R_1}{16, \beta} \left(3 - 2,4 \beta \right) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{1}{2,60 + \frac{80}{R_1} \frac{0,4 R_1 + 10}{0,3 R_1 + R_2}}; \quad (3)$$

$$\psi = \frac{(3 - 2,4 \beta) \left(1 - \frac{e}{a} \right) + \frac{1 + \beta}{\pi} \sin \frac{\pi e}{a} \frac{\beta(1 + \beta)}{2\pi} \cdot \sin \frac{2\pi e}{a}}{(3 - 2,4 \beta)},$$

где P —разрушающая нагрузка при $\frac{l}{h} > 8$,

P_0 —разрушающая нагрузка образца при $\frac{l}{h} = 8$, нагруженного центрально.

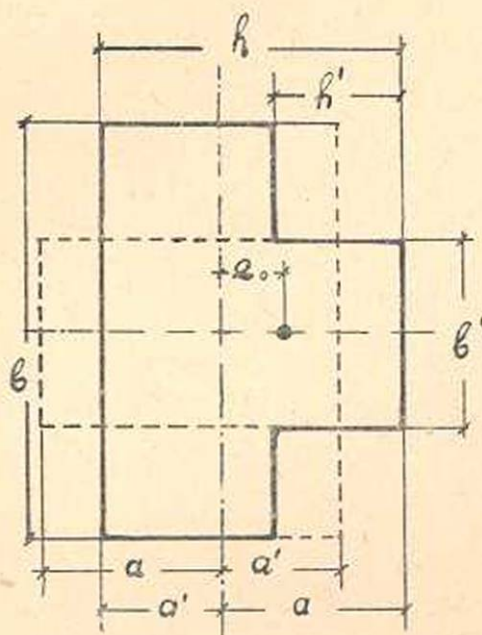
F —площадь сечения,

h —сторона сечения в направлении которого действует момент (черт. 1),

* Указания по проектированию и применению каменных и армокаменных конструкций в условиях военного времени, 1943 г.

R_1 —временное сопротивление камня (кирпича) на сжатие, определенное стандартным способом,

R_2 —прочность раствора,



$e = e_0 + e'$, где e_0 —эксцентриситет, действующей силы, e' —дополнительный эксцентриситет который для элементов с $\frac{l}{h} \geq 8$ добавляется к эксцентриситету действующей силы, с целью учета отклонения физической оси кладки от геометрической.

Значение e' определяется по формуле, данной проф. Л. И. Онищиком [4];

$$e' = 0,02 a + 0,001.$$

a —расстояние от центра до края сечения в сторону эксцентриситета.

Эти формулы можно применять для расчета элементов таврового сечения при следующих условиях:

а) когда нагрузка смещена от центра тяжести сечения в сторону ребра b' (черт. 1), в формулу (1), взамен произведения $F=bh$, следует подставить

$$F = [bh - h'(b - b')] \left(1 - \frac{e}{a} \right) + 2ab' \cdot \frac{e}{a}; \quad (4)$$

б) когда нагрузка смещена в сторону грани b , в формулу (1), взамен произведения $F=bh$, подставляется (черт. 1).

$$F = [bh - h'(b - b')] \left(1 - \frac{e}{a} \right) + 2a'b \cdot \frac{e}{a}. \quad (5)$$

Следует учесть также, что формулы (1) и (2) выведены для расчета прямоугольных сечений обычно применяемых размеров.

При применении указанных формул для расчета тавровых сечений нужно ограничивать так же отношения ширины полки к ширине ребра до 4 $\left(\frac{b}{b'} \leq 4 \right)$.

В таблице 1 приводятся сравнения опытных данных, полученных в ЦНИПС-е в 1945—1946 г.г. для образцов таврового сечения с расчетными данными, полученными по формулам У-57-43 и по формуле автора.

Сходимость результатов, полученных по различным формулам с опытными (1945—1946 гг.) при внецентричном сжатии для таврового сечения [3]

Таблица 1

№№ п.п.	Год испытания	Кол-во испытанных образцов	Прочность в кг/см ²		Значение эксцентриситета от—до с а	Среднее арифметическое отклонение от экспериментальных данных				Среднее квадратичное отклонение в ‰			Максимальное отклонение экспериментальных данных от данных по формулам							
			R Камня	R ₂ Раствора		Ук—57—43		Ук—57—43		Автора	Ук—57—43	У—57—43 по Пильдину	Автора	Ук—57—43						
						γ По Пильдину	Автора	γ по Пильдину	Автора					γ по Пильдину	Автора					
																+	—	+	—	+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1945	12	100	30	0,00—0,60	—	19,93	—	22,7	—	16,4	21,2	22,9	18,06	—	26,9	—	26,9	—	25,8
2	1945	8	150	30	0,00—0,60	23,4	—	19,75	—	—	8,08	29,1	24,0	8,4	40,6	—	33,3	—	—	10,6
3	1946	9	150	4	0,00—0,60	13,65	—	44,05	—	17,85	—	64,0	50,8	22,4	89,5	—	69,3	—	32,0	—
4	1946	14	150	50	0,00—0,60	13,1	6,3	18,2	6,9	9,25	11,5	18,0	13,6	18,4	40,0	6,3	27,3	7,5	15,1	19,5
Для всех опытов												33,75	27,2	15,85	88,5	26,9	69,3	23,9	32,0	25,8
5	1945	4	150	30	0,90	400	—	160	—	108	—	400	150	108,0	400	—	150	—	108	—
6	1946	3	150	4	0,90	670	—	200	—	114	—	670	200	114,0	670	—	200	—	114	—
7	1946	3	150	50	0,90	300	—	83	—	66,5	—	300	53	66,5	300	—	83	—	66,5	—
8	1946	3	150	50	—0,60	547	—	226	—	158	—	547	226	178,0	547	—	226	—	158	—
Для всех образцов												479,25	164,75	111,62	670	—	226	—	158	—

Значения ψ

Таблица 2

№№ п. п.	$\frac{e}{a}$	β				
		0,26	0,35	0,45	0,55	0,675
1	2	3	4	5	6	7
0	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,02	0,982	0,988	0,989	0,988	0,988
2	0,04	0,975	0,976	0,977	0,976	0,976
3	0,06	0,963	0,964	0,965	0,965	0,964
4	0,08	0,951	0,952	0,953	0,954	0,953
5	0,10	0,939	0,941	0,942	0,943	0,948
6	0,12	0,927	0,929	0,931	0,933	0,938
7	0,14	0,915	0,918	0,921	0,923	0,924
8	0,16	0,903	0,906	0,910	0,913	0,916
9	0,18	0,891	0,895	0,900	0,904	0,909
10	0,20	0,878	0,884	0,890	0,896	0,903
11	0,22	0,866	0,862	0,880	0,888	0,898
12	0,24	0,854	0,861	0,870	0,880	0,894
13	0,26	0,841	0,850	0,861	0,873	0,892
14	0,28	0,828	0,839	0,852	0,867	0,890
15	0,30	0,816	0,828	0,843	0,860	0,889
16	0,32	0,803	0,817	0,834	0,855	0,888
17	0,34	0,789	0,805	0,825	0,849	0,888
18	0,36	0,776	0,793	0,816	0,843	0,889
19	0,38	0,762	0,781	0,807	0,838	0,890
20	0,40	0,748	0,769	0,797	0,832	0,890
21	0,42	0,734	0,756	0,787	0,825	0,891
22	0,44	0,718	0,743	0,779	0,819	0,891
23	0,46	0,702	0,728	0,765	0,811	0,891
24	0,48	0,686	0,714	0,753	0,803	0,889
25	0,50	0,667	0,699	0,740	0,794	0,886
26	0,52	0,651	0,683	0,727	0,783	0,884
27	0,54	0,633	0,667	0,712	0,771	0,876
28	0,56	0,614	0,648	0,694	0,758	0,867
29	0,58	0,595	0,630	0,679	0,746	0,856
30	0,60	0,574	0,610	0,661	0,727	0,844
31	0,62	0,552	0,589	0,641	0,708	0,828
32	0,64	0,530	0,567	0,619	0,688	0,810
33	0,66	0,507	0,544	0,596	0,665	0,789
34	0,68	0,482	0,519	0,572	0,641	0,764
35	0,70	0,457	0,494	0,546	0,614	0,736
36	0,72	0,432	0,468	0,518	0,586	0,706
37	0,74	0,405	0,440	0,489	0,555	0,672
38	0,76	0,375	0,411	0,468	0,522	0,634
39	0,78	0,349	0,381	0,426	0,487	0,594
40	0,80	0,320	0,350	0,392	0,450	0,551
41	0,82	0,290	0,318	0,358	0,410	0,505
42	0,84	0,260	0,285	0,322	0,370	0,457
43	0,86	0,229	0,252	0,284	0,327	0,405
44	0,88	0,197	0,217	0,245	0,283	0,351
45	0,90	0,165	0,182	0,206	0,238	0,292
46	0,92	0,133	0,146	0,166	0,192	0,239
47	0,94	0,100	0,110	0,125	0,145	0,180
48	0,96	0,067	0,074	0,084	0,097	0,088
49	0,98	0,033	0,037	0,042	0,049	0,061
50	1,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Как видно из приведенных данных, формула автора дает значительно меньшие отклонения по сравнению с опытными данными, нежели применяемые формулы.

Кроме указанного, предлагаемая формула имеет следующие преимущества:

1. Формула применима для всех значений $\frac{e}{a}$ от 0 до 1, т. е. существующее ныне разделение элементов на группы в зависимости от величины эксцентриситета полностью устраняется.

2. Все величины, входящие в формулу, относятся ко всему сечению и нет необходимости определять высоту активной зоны при выключении из работы части сечения.

3. Пользование формулой (1) и таблицей 2 для ψ довольно просто: достаточно иметь e и β (соответственно R_1 и R_2), чтобы найти по таблице значение ψ и умножая его на P_0 (рассчитываемое по формуле (2) или по $V-57-43$) получить величину разрушающей нагрузки при данном эксцентриситете.

4. При расчете по предложенной формуле можно достичь существенной экономии материалов, более полно используя их механические свойства.

Ереванский Политехнический
Институт им. Карла Маркса.

Поступило 4 XII 1949.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Г. Седракан—Новая формула для расчета кирпичных столбов: ДАН Арм. ССР, т. № 2, 1948.
2. Л. Г. Седракан—Новый метод расчета каменных конструкций. Сб. научных тр. Ереванского Политехнического Института, № 3, 1948.
3. М. Я. Пилдиз—Проверка формулы внецентренного сжатия для таврового сечения. Отчет к. т. и. (ЦНИПС), 1946.
4. Л. И. Опицкий—Прочность и устойчивость каменных конструкций, 1937.

1. Գ. Սեդրակյան

ԱՐՏԱԿԵՆՏՐՈՆ ՍԵՂՄՎԱԾ ՏԱՎՐԱՅԻՆ ՀԱՏՎԱԾՔ ՈՒՆԵՑՈՂ ՔԱՐԵ ՍՅՈՒՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հորվածում արված է ուղղանկյուն հատվածքով քարային էլեմենտների հաշվարկի համար հեղինակի ստացած (1), (2), (3) բանաձևերի կիրառումը՝ տավրային հատվածք ունեցող էլեմենտների հաշվարկի համար:

Տավրային հատվածք ունեցող էլեմենտների կոնստրուկցիաների էլեմենտները հաշվարկելիս (1), (2), (3), բանաձևերը կիրառելու համար պահանջվում է այդ բանաձևերի մեջ հատվածքի մակերեսի (F) փոխարեն

մացնել (4) կամ (5) արտահայտութիւնները, նայած թե արտաքին ուժը գտնվում է չեզոք ատենցքից դեպի կողի, թե հարթակի (полка) կողմը:

Այդ կատարելուց հետո (1), (2), (3) բանաձևերով ստացված արդյունքները շատ ավելի լավ են համապատասխանում փորձի արդյունքներին, քան գոյութիւն ունեցող բանաձևերով ստացված արդյունքները (տես աղյուսակ 1):

Առաջարկված բանաձևը շատ ավելի ընդհանուր է և հարմար օգտագործելու համար՝ հաշվարկ կատարելիս ավելի լրիւ են օգտագործվում շինանշութի մեխանիկական հատկացումները, որի շնորհիւ ստացվում է զգալի անտեսում:

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. Аракелян

Некоторые физико-механические свойства кладки из
буто-раствора на туфовых заполнителях.

Буто-бетон или буто-бетонная кладка занимает промежуточное место между бетоном и бутовой кладкой. Как известно, буто-бетон получается при втапливании бутовых камней в слой предварительно уложенного бетона.

Если же бутовые камни втапливать в слой предварительно уложенного раствора, то такую кладку можно назвать буто-раствором или кладкой из буто-раствора.

Буто-бетон и буто-раствор обладают рядом преимуществ: требуют меньшего, по сравнению с бетоном или раствором, расхода вяжущего — просты в производстве, благодаря чему отпадает необходимость в квалифицированной рабочей силе, и допускают применение, в качестве крупного заполнителя, местных, бутовых камней.

Буто-бетонная кладка и кладка из буто-раствора получают в Армянской ССР все более широкое применение благодаря тому, что они обходятся примерно на 30—40% дешевле по сравнению с распространенными видами кладок (кладка «мидис» и кладка из легко-бетонных камней) и позволяют использовать карьерные отходы туфовых камней («хибара») в качестве крупного заполнителя — бута.

Помимо этого из всех видов кладок одинаковой прочности на сжатие буто-бетон и буто-раствор — наиболее монолитные, что весьма важно для сейсмических районов.

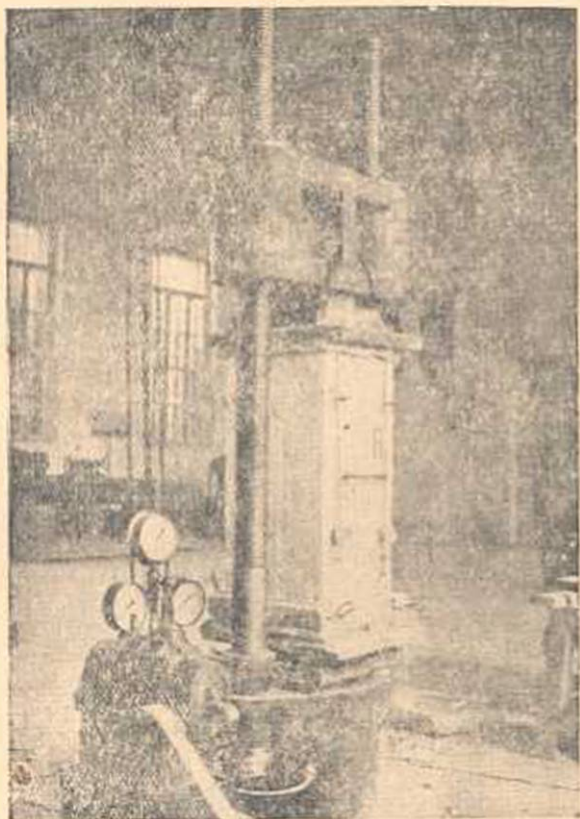
Однако физико-механические свойства буто бетона и буто-раствора до сего времени мало изучены.

В Институте Стройматериалов и Сооружений Академии Наук Арм. ССР (АИС) нами были поставлены специальные опыты над образцами из буто-раствора размерами $40 \times 40 \times 80$ см с целью установления его прочности в зависимости от прочности раствора и бута а также упругих характеристик при сжатии — модуля упругости — E , и коэффициента Пуассона — μ (фиг. 1).

В качестве вяжущего материала в образцах были применены: известково-пуццолановый цемент анийского завода как в чистом виде, так и с добавкой портландцемента — 15—30%, и известковый шлам (отходы карбидного производства), с добавкой портландцемента — 15%.

В качестве крупного отощателя применялись карьерные отходы

туфовых камней; песок для раствора был получен из тех же отходов путем дробления (на пескодробилке „Клеро“).



Фиг. 1.

На фиг. 2 -5 приведены результаты испытаний образцов:

1. Графики зависимости между сжимающими напряжениями (σ) и продольными деформациями (ϵ);

2. графики зависимости между сжимающими напряжениями и модулями упругости (E);

3. графики зависимости между сжимающими напряжениями и коэффициентами Пуассона (μ).

Обычно кривую изменения модуля упругости испытываемых образцов определяют дифференцированием осредненной, на основании опытов, кривой деформации. Такой путь может привести к весьма существенным погрешностям, поскольку если в данном интервале

две функции мало отличаются друг от друга, то это еще не означает, что в том же интервале мало отличаются также их производные. Следовательно кривая модуля упругости, полученная из осредненной кривой деформации путем дифференцирования, может весьма существенно отличаться от кривой, характеризующей действительное изменение модуля упругости испытываемого образца.

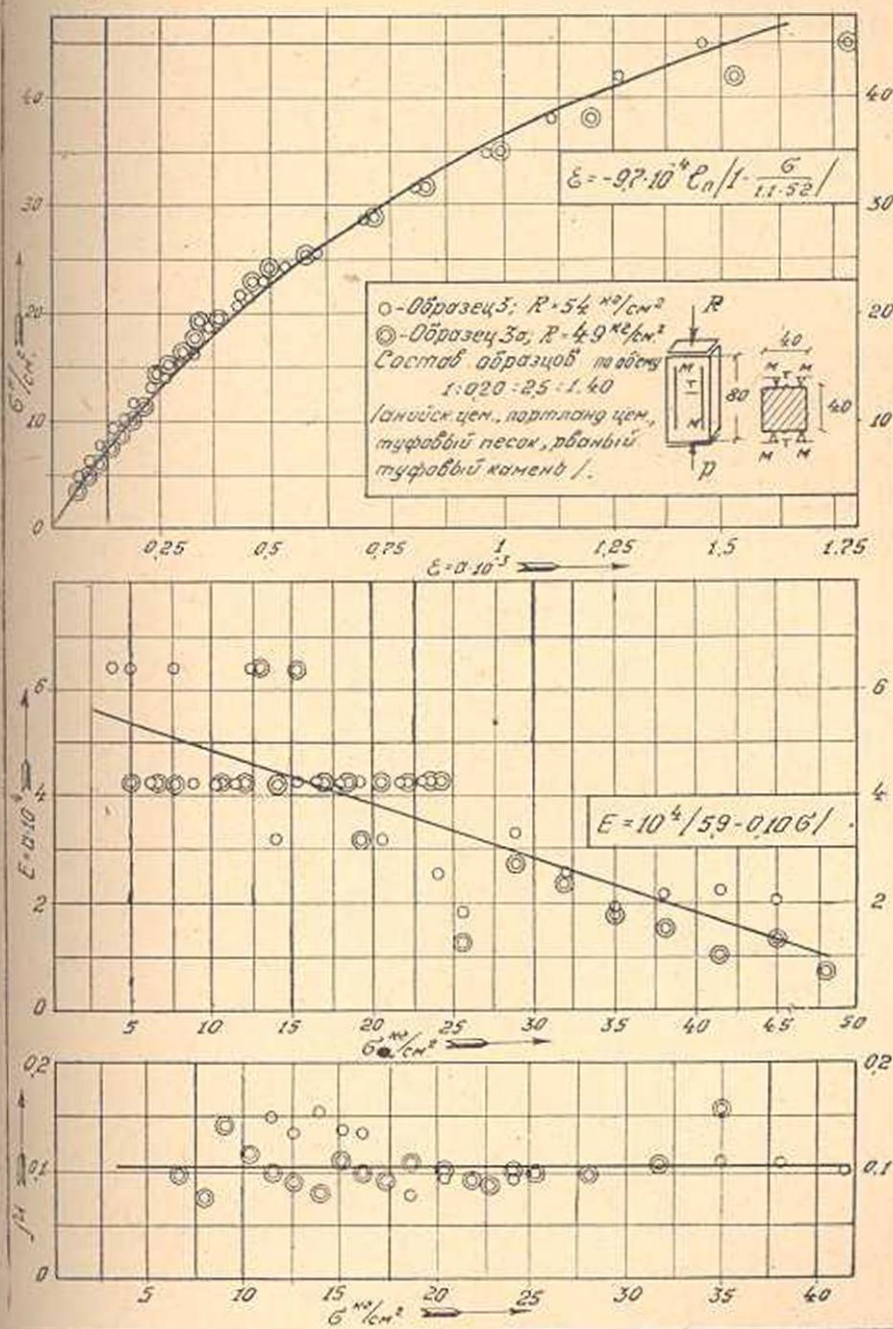
Мы выбрали обратный путь: кривые модулей упругости определили непосредственно по экспериментальным точкам и с последующим интегрированием их получили кривые деформаций. Такой путь предостерегает от ошибок, поскольку при интегрировании погрешности сглаживаются.

Опыты показывают, что зависимость между E и σ с достаточной для практических целей точностью может быть изображена прямой

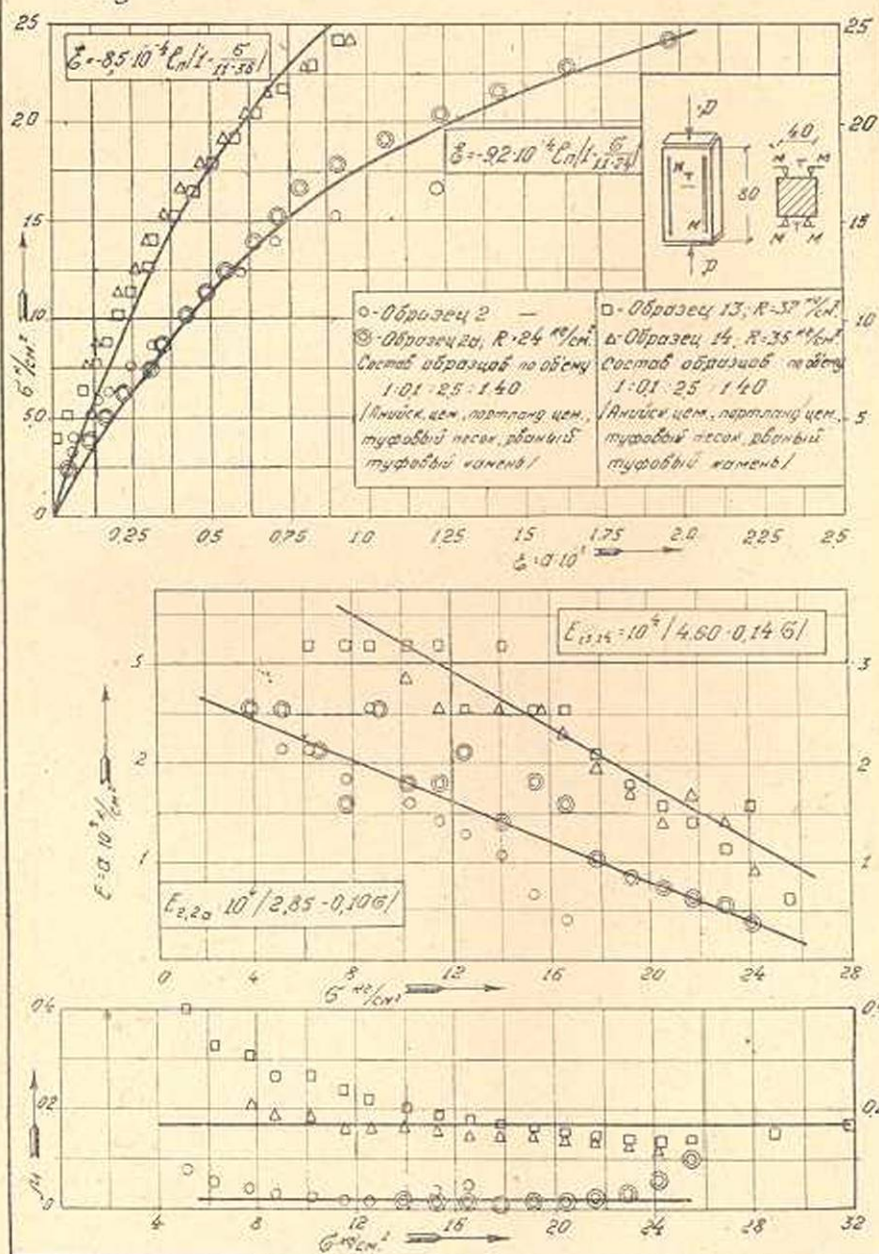
$$E = A\sigma + B, \quad (1)$$

где A и B — некоторые постоянные коэффициенты, определяемые в каж-

Результаты испытания образцов 3 и 3а

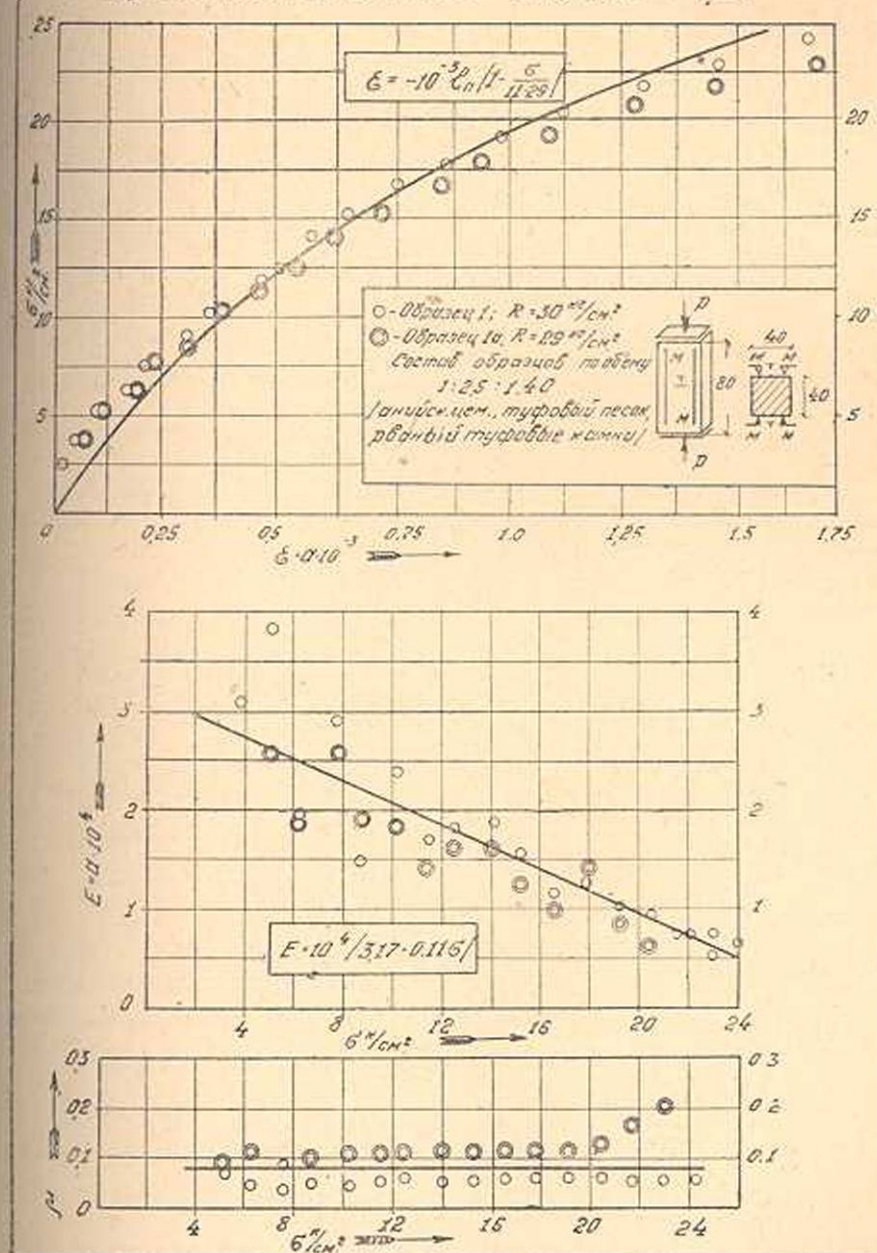


Результаты испытания образцов 2, 2а, 13 и 14

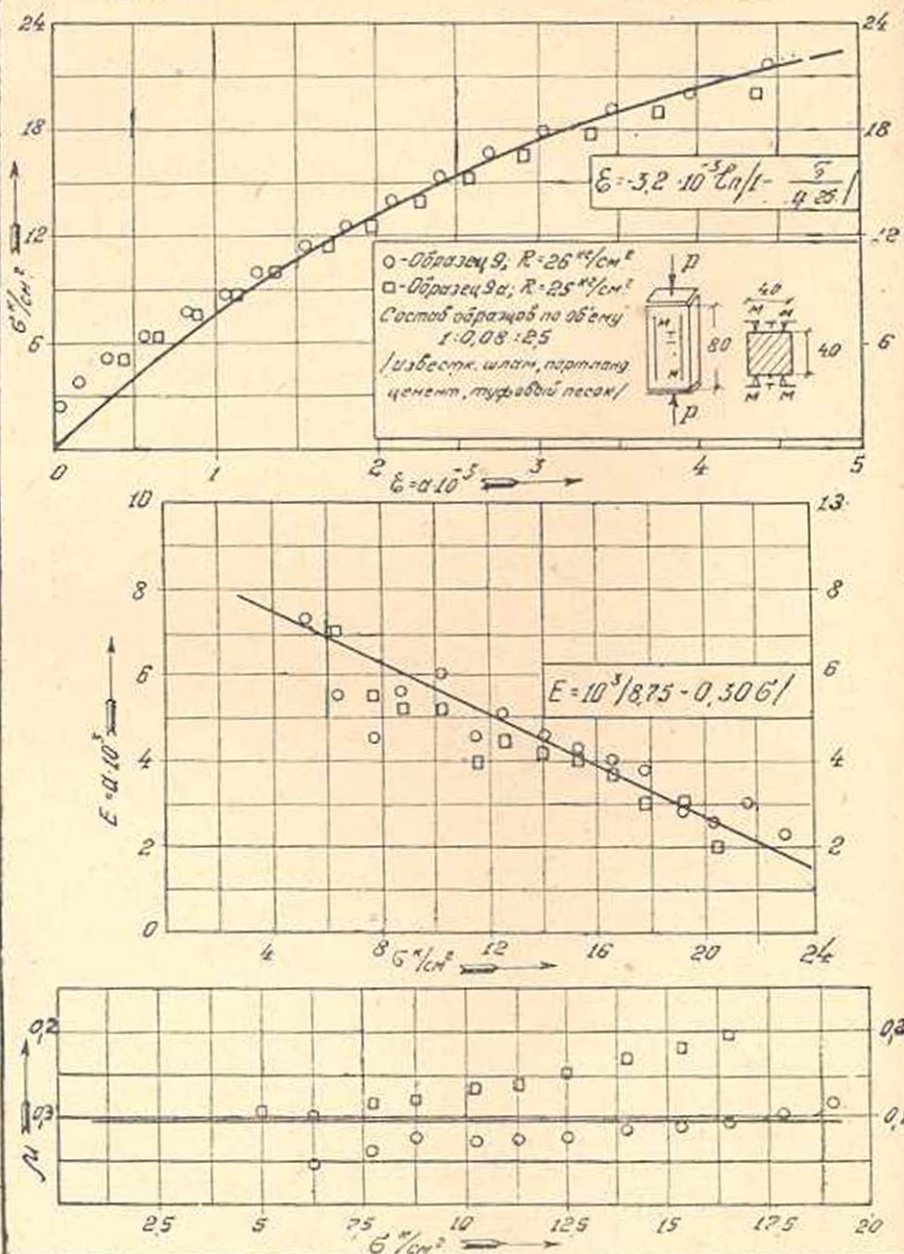


Фиг. 3.

Результаты испытания образцов 1 и 1а



Результаты испытания блоков 9 и 9а



Фиг. 5.

дом случае способом наименьших квадратов. Принимая при этом, без особой погрешности, $\frac{B}{A} = -1,1R$; $B=E_0$ и преобразуя (1), получим формулу Онищика [1,2]

$$E=E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{1,1R} \right) \quad (2)$$

где E —модуль упругости при данном напряжении,

E_0 —начальный условный модуль упругости,

σ —напряжение в кладке,

R —предел прочности кладки при сжатии.

В таблице 1 приводятся расчетные величины E и μ в зависимости от марки буто-раствора при $\sigma=0,4 R$ (коэффициент запаса кладки принят 2,5).

Таблица 1

	Буто-раствор на известковом шлаке марки		Буто-раствор на известково-пуццолановом цементе арийского завода марки		
	4—8	15—30	8	15—30	50
E	1000—2000	5000—10000	4000	10000—20000	40000
μ	0,18	0,12	0,14	0,12	0,10

Кривая зависимости ε от σ получается интегрированием (2)

$$\varepsilon = -\frac{1,1R}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{1,1R} \right) \quad (3)$$

Построенные по (3) кривые, как это видно на фиг. 2, 3, 4 и 5, достаточно хорошо совпадают с опытными данными.

Полученные заметные расхождения при малых напряжениях (в особенности для образцов со слабым вяжущим) и хорошее совпадение при больших напряжениях следует объяснить тем, что в начальной стадии нагружения образцов отсчеты с приборов снимались без предварительной трехминутной выдержки постоянной нагрузки, между тем как при больших нагрузках отсчеты снимались после трехминутной выдержки.

Формулы (1) и (2), полученные по опытам над образцами из буто-раствора, как показали наши предварительные опыты, после небольших изменений могут быть распространены также и на бето-бетон.

Прочность бето-бетонной кладки и кладки из буто-раствора зависит главным образом от прочности бетона или раствора и в меньшей, но заметной степени, от прочности заполнителя (бута).

Для определения предела прочности бето-бетонной кладки име-

ется ряд формул. Из существующих формул наиболее приемлемой следует считать эмпирическую формулу А. А. Шишкина [3].

$$R_{66} = R_2 \left(\frac{65}{45 + R_2} + 0,15 \right) \quad (4)$$

где R_{66} — призмная прочность бутто-бетона, или бутто-раствора,

R_2 — кубиковая прочность бетона или бутто-раствора.

Формула Шишкина не учитывает влияния прочности крупного заполнителя. В этом мы усматриваем ее недостаток.

На основании наших опытов (таб. 2) и имеющихся литературных данных [3, 4, 5] нами получена достаточно компактная эмпирическая формула для расчета прочности бутто-бетонной кладки, подобная формуле проф. Онищика для расчета прочности кирпичной кладки

$$R_{66} = \alpha R_2 \left(1 - \frac{0,90}{1,5 + R_3} \right) \quad (5)$$

R_2

где R_3 — кубиковая прочность бута,

$$\alpha = \frac{93}{58 + R_2}$$

R_2 — кубиковая прочность раствора или бетона.

Предел применяемости формулы (5) $R_2 \leq 90 \text{ кг/см}^2$. В формуле (5) впервые учитывается влияние прочности крупного заполнителя (бута) на прочность бутто-бетона (или бутто-раствора). Результаты испытания на сжатие образцов размерами $40 \times 40 \times 80$ приводятся в табл. 2 [8].

Таблица 2

№	Предел прочности при сжатии в кг/см ²			Предел прочности бутто-раствора при сжатии по формуле	
	Раствора	Туфового бутового камня	Бутто-раствора	(4)	(5)
1	9,5	107	9,6	12,7	12,6
2	4,5	107	8,0	8,60	6,5
3	7,0	107	8,50	9,80	9,5
4	5,0	107	5,50	7,25	7,10
5	3,5	107	4,75	5,22	5,16
6	9,50	8,50	10,50	12,70	11,90
7	4,7	42,0	29,5	39,9	26,9
8	89,5	3,0	24,0	55,5	23,10
9	42,0	130,0	35,0	37,7	31,6
10	11,0	42,0	9,0	14,4	12,2
11	17,5	42,0	12,0	20,4	16,70
12	20,0	120	19,0	23,0	21,10
13	20,0	120	22,0	23,0	21,10

ПРИМЕЧАНИЕ: Для равномерной передачи нагрузки на испытуемый образец торцы образцов заливались алебастровым раствором толщиной 2–3 см (фиг. 1). В образце № 6 бутовый камень — базальтовый. Консистенция раствора — пластичная.

Средние квадратические и средние арифметические отклонения экспериментальных величин прочности буто-бетона от величин, вычисленных по формулам (4) и (5), приводятся в таб. 3 [8].

Таблица 3

	Средние отклонения по опытным данным Шиш- кина, Митгарца и автора			Средние отклонения по опытным данным Шиш- кина и Митгарца.		
формула (4)	$\pm 32,5\%$	$\pm 10,5\%$	$-28,5\%$	$\pm 20,5\%$	$\pm 10\%$	-21%
формула (5)	$\pm 16,5\%$	$\pm 15\%$	-16%	$\pm 14\%$	$\pm 10\%$	$-12,5\%$

Из таблицы видно преимущество формулы (5) по сравнению с формулой (4), принятой Техническими Условиями и Нормами.

При применении формулы (5) встречается затруднение, связанное с экспериментальным установлением предела прочности бутового туфового камня.

Это затруднение можно обойти, определив предел прочности туфового камня косвенным путем — по его объемному весу (γ) и водопоглощаемости (W) [6,7].

Для туфов зависимость между $\frac{1}{\gamma}$ и водопоглощаемостью, а также между $\frac{1}{G-\gamma}$ (где G — удельный вес туфа) и прочностью R , можно, с достаточной для указанной цели точностью, выразить следующими формулами:

$$\frac{1}{\gamma} = aW + b \quad (6)$$

$$\frac{1}{G-\gamma} = cR + d \quad (7)$$

Величина удельного веса туфа меняется в очень узких пределах и может быть принята равной $2,52 \text{ т/м}^3$.

Принимая также $a=0,01135$; $b=0,429$; $c=0,00498$ и $d=0,658$, определенные на основании имеющегося в АИС многолетнего экспериментального материала (способом наименьших квадратов), после соответствующего преобразования получим:

$$\gamma = \frac{88}{38+W} \quad (8)$$

$$R = \frac{132(\gamma-1)}{2,52-\gamma} \quad (9)$$

Из (8) и (9) получим:

$$R = \frac{52(50-W)}{3,2+W} \quad (10)$$

Формула (8) дает хорошее совпадение с опытными данными. Формула (9) дает заметное рассеивание, но все же ее точность оказывается достаточной для указанной выше цели, т. е. для определения прочности туфового камня по объемному весу и водопоглощаемости, что намного проще непосредственного опытного его определения.

Поступило 29 XI 1948.

Институт Строительных Материалов и Сооружений
Академии Наук Армянской ССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Онищик—Каменные конструкции. 1939. Москва—Ленинград.
2. Л. И. Онищик—Прочность и устойчивость каменных конструкций. 1937. Москва—Ленинград.
3. А. А. Шишкин—Буто-бетон и его прочность. Строительная промышленность, № 1, 1940.
4. А. А. Шишкин—Прочность кладок из естественных камней по экспериментальным данным. 1938. Москва.
5. Л. Митгарц—Сравнение бутовой кладки с бетоном. Строительная промышленность, № 10, 1933.
6. А. К. Боруля—Установление связи между физическими и техническими свойствами естественных каменных материалов. Строительные материалы № 8, 1934.
7. М. Н. Ельчанинов—О зависимости между механической прочностью и объемным весом известняка. Строительная промышленность, № 11, 1940.
8. А. А. Аракелян—Опыт применения ангийского цемента в кладке. Отчет АИС 1946—47 г.

Հ. Ա. Առաքելյան

ՏՈՒՖԱՅԻՆ ԽԱՄՔԱՐԱՇԱՂԱՅԻ ՇԱՐՎԱԾՔԻ ՈՐՈՇ ՖԻԶԻԿՈՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածուժ բերված են Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի Շինարարական նյութերի և կառուցվածքների Ինստիտուտում կատարված էքսպերիմենտալ աշխատանքների արդյունքները՝ առաջին խամքարաշաղախ շարվածքի վերաբերյալ:

Հեղինակն իր փորձերի հիման վրա ապրիս է համապատասխան բանաձևեր և դործնական տվյալներ խամքարաշաղախ շարվածքի դեֆորմացիաները և առաձգականության մոդուլը որոշելու համար՝ կախված շարվածքի սեղմման լարվածությունից:

Հողվածի մեջ տրված է նոր բանաձև՝ կենտրոնական սեղմված խամքարաշաղախ կամ խամքարաբետոն շարվածքների ամրությունը հաշվելու համար: Այդ բանաձևն ավելի լավ է համընկնում փորձնական արդյունքների հետ, քան դուրսբերված ունեցող բանաձևերը:

Առաջարկված բանաձևում հեղինակի կողմից առաջին անգամ հաշվի է առնվում խամքարի ամրությունը, որն, ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, զգալի ազդեցություն ունի խամքարաշաղախ կամ խամքարաբետոն շարվածքների ամրության վրա:

Հողվածուժ բերված են նաև բանաձևեր առաջ քարի ամրությունը որոշելու համար՝ կախված նրա ծավալային քաշից կամ նրա ջրահաղեցման առկայից:

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. Аракелян

К вопросу применения анийского известково-
пуццоланового цемента в надземных
частях сооружений

Большой объем строительных работ, развернувшихся в Армянской ССР в послевоенной Сталинской пятилетке требует широкого применения, наряду с портландцементом, вяжущих из местных материалов.

Одним из таких вяжущих является анийский известково-пуццолановый цемент, изготавливаемый из джаджурской негашеной гидравлической извести и анийской пемзы, путем совместного их помола.

Применением анийского цемента в строительстве можно сэкономить большое количество дефицитного портландцемента, учитывая, что портландцемент обычно применяется не только в основных несущих конструкциях, но и в малонапряженных элементах, где он с успехом может быть заменен анийским цементом.

Следует заметить, что широкому применению в строительстве известково-пуццолановых вяжущих до сих пор препятствовало господствующее в литературе мнение об их недостаточной воздухоустойчивости, вследствие чего рекомендуется применять эти вяжущие в конструкциях, находящихся в условиях постоянной или длительной влажности, т. е. в подземных и подводных сооружениях.

Воздухонепрочность известково-пуццолановых цементов выражается в разрушающем воздействии углекислоты воздуха на кладку после ее высыхания [1].

Углекислота воздуха разлагает аморфные гидросиликаты в известково-пуццолановых цементах, вытесняет кремнезем и ослабляет связь и силу сцепления между зернами раствора, вследствие чего наблюдается прекращение роста прочности кладки и даже иногда, с течением времени, снижение сопротивляемости конструкции [1].

Для придания воздухоустойчивости известково-пуццолановым цементам необходимо устранить воздействие углекислоты воздуха на кладку. Такой цели можно достигнуть путем создания плотной, воздухонепроницаемой структуры кладки.

Гидравлическая известь, содержащая некоторое количество силикатов и алюминатов кальция, обладает способностью давать более прочные и плотные соединения, менее подверженные воздей-

ствию воздуха. Поэтому известково-пуццолановые цементы, изготовленные на базе гидравлической извести, являются сравнительно более воздухоустойчивыми [3].

За последние годы в Институте Стройматериалов и Сооружений Академии Наук Армянской ССР нами проведено изучение анийского известково-пуццоланового цемента.

Результаты проведенных лабораторных опытов, имеющих целью установить необходимые мероприятия, способствующие получению прочной и плотной кладки на анийском известково-пуццолановом цементе, приводятся в таблицах 1, 2 и 3.

Анализ данных, приведенных в таблицах, показывает следующее:

1. Из таблицы 1 видно, что образцы воздушного и влажного хранения в месячном возрасте имеют почти одинаковый предел прочности при сжатии. По сравнению с прочностью месячного возраста к 6-ти месячному возрасту нарастание прочности при сжатии для образцов воздушного хранения в 1,5—2 раза, а для образцов влажного хранения в 2—3 раза.

Нарастания предела прочности образцов (восьмерок) на растяжение, при воздушном хранении, вследствие быстрого их высыхания, не наблюдается; наоборот, имеется даже некоторое падение. Следовательно для нормального твердения известково-пуццолановых цементов, т. е. для образования соответствующих химических соединений, придающих плотность кладке, следует обеспечить влажную среду в течение длительного периода.

Содержание влаги в кубиках $7 \times 7 \times 7$ см 6-ти месячного возраста при влажном хранении составляет в среднем 8—10% по весу. Влага же внутри блоков размерами $40 \times 40 \times 80$ см при хранении их на солнце в течение 6-ти месяцев составляет 7—8,5% (табл. 3).

Поэтому, можно утверждать, что в надземной массивной кладке толщиной в 40 см и больше, в течение длительного времени может сохраняться достаточное количество влаги, необходимое для твердения растворов и бетонов на анийском цементе.

Хранению влаги в блоках в значительной мере способствует наличие в кладке пористого крупного туфового заполнителя, обладающего абсорбционной способностью.

Туфовый бут отсасывает влагу из пластичного раствора почти до полного своего насыщения и затем постепенно отдает раствору по мере его твердения.

Следует отметить, что наружные поверхности кладки, вследствие быстрого ее высыхания, обычно обладают пониженной прочностью на глубине 1,5—2 см; в некоторых случаях на практике наблюдалось крошение этого поверхностного слоя.

В случаях, когда в течение одного месяца кладка поливалась или к анийскому цементу добавлялось незначительное количество

Результаты испытания кубиков $7 \times 7 \times 7$ см и восьмерок

Таблица 1

№ Р-р-ров	Состав раствора по объему: Анийский цемент, портландцемент, туфовый песок	Основание форм при изготовле- нии кубиков	Предел прочности образцов месячного возраста в кг/см ²				Предел прочности образцов 6-ти месячного возраста				Влажность куби- ков в %	
			Воздушное хранение		Хранение во влажных опилках		Воздушное хранение		Хранение во влажных опилках		Воздуш- ное хра- нение на месяц	Хранение во влаж- ных опилках на 6-мес.
			Сжатие	Растя- жение	Сжатие	Растя- жение	Сжатие	Растя- жение	Сжатие	Растя- жение		
1	1 : 0 : 2,5	плотное	21,5	3,80	21,0	4,5	32,5	3,50	47,0	7,0	6,8	13,25
		пористое (туф)	29,0	6,70	27,8	6,90	49,0	6,0	66,0	10,0	7,5	13,25
2	1 : 0,1 : 2,5	плотное	34,0	5,5	31,5	7,0	55,8	5,0	90	12	6,5	9,5
		пористое (туф)	43,5	10,0	38,5	12,0	85,0	8,0	112	23	9,0	9,5
3	1 : 0,20 : 2,5	плотное	45,5	7,5	41,0	8,50	94	7,5	120	20	9,0	8,5
		пористое (туф)	56,0	14,0	59	14,0	106	17,0	146	27,5	8,0	8,5
4	1 : 0,1 : 2,5	плотное	21,0	2,70	23,0	4,60	—	—	—	7,0	9,0	16
		пористое (туф)	39,5	6,3	37,5	9,0	31	6,0	57,5	13,0	6,5	18

ПРИМЕЧАНИЕ: Марка портландцемента—800 кг/см²; консистенция растворов—пластичная. В составах растворов № № 1, 2, 3. марка анийского цемента 60 кг/см²; возраст цемента—1,5-месячный. В составе раствора № 4 марка анийского цемента 40 кг/см²; возраст цемента—3-х-месячный.

Объемные веса кубиков $7 \times 7 \times 7$ см. в $т/м^3$

Таблица 2

№№ растворов по таблице	Основание форм при изготовлении образцов	Среднее из 3-х образцов месячн. возраста		Среднее из 3-х образцов 6-ти месячн. возраста	
		Воздушное хранение	Хранение во влажных опилках	Воздушное хранение	Хранение во влажных опилках
1	плотное	1,67	1,10	1,78	1,90
	пористое (туф)	1,67	1,90	1,78	1,88
2	плотное	1,72	1,90	1,82	1,89
	пористое (туф)	1,75	1,93	1,85	1,91
3	плотное	1,75	1,90	1,81	1,95
	пористое (туф)	1,77	1,99	1,83	1,97
4	плотное	—	—	1,47	1,72
	пористое (туф)	1,50	1,76	1,51	1,72

Результаты испытания блоков $40 \times 40 \times 80$ см. из бутто-раствора

Таблица 3

№№ растворов по таблице 1	Состав бутто-раствора по объему: ангийский цемент, портландцемент, туфовый песок, рваный туфовый камень	Возраст блоков в сутках	Предел прочности на сжатие в $кг/см^2$		Объемный вес блоков в $т/м^3$	Влажность раств. на глуб. 4-5 см от наружн. поверхности блока в %
			отделных образцов	среднее		
1	1:0:2,5:1,4	178	30,3	29,5	1,65	8,0
		177	28,70		1,67	7,8
3	1:0,20:2,5:1,4	180	54,4	51,70	1,69	7,0
		181	49,4		1,74	7,5

ПРИМЕЧАНИЕ: Прочность и объемный вес рваного туфового камня для всех блоков одинаковы.

портландцемента, указанного выше крошения поверхностного слоя не наблюдалось.

Своевременная оштукатурка или облицовка кладки также помогает сохранности поверхностного слоя.

2. Сопоставляя объемные веса кубиков $7 \times 7 \times 7$ см, приведенных в таблице 2, можно заметить, что объемные веса (следовательно и плотность) значительно больше у образцов, изготовленных на более активном анийском цементе. Наблюдается падение прочности образцов с меньшими объемными весами при воздушном хранении (табл. 1). На основании этого можно сделать важный вывод, что для получения плотной структуры, а следовательно и для воздухоустойчивости раствора бетонов необходимо применять незалежавшийся анийский цемент.

Залежавшийся анийский цемент, как показали наши опыты, теряет свою активность в течение 2-х месяцев на 15—20%, в течение 4-х месяцев — на 30—40%.

Любопытно отметить, что водоудерживающая способность растворов на залежавшемся анийском цементе меньше, чем у растворов на активном анийском цементе.

Значительное понижение активности анийского цемента при магнезинировании следует объяснить его большой пористостью и гигроскопичностью. Поэтому анийский цемент необходимо использовать в течение 1,5—2 месяцев после его изготовления.

3. Сопоставляя результаты испытаний образцов, приведенных в таблице 1 и 3, можно заметить, что незначительная добавка портландцемента к анийскому цементу повышает плотность и в значительной степени увеличивает прочность образцов.

Проведенные многолетние опыты кандидата технических наук М. Я. Лившица [2], с полной убедительностью доказывают также что воздухоустойчивость известково-пуццолановых цементов существенно увеличивается при добавке к ним в незначительном количестве портландцемента и в течение времени (около 8 лет) падения прочности образцов при воздушном хранении не наблюдается.

Несомненно, что с применением в незначительном количестве портландцемента в качестве добавки, область применения анийского цемента в надземных частях сооружений значительно расширится.

Для сравнения укажем, что при обычных сложных растворах для получения марки „50“ и „30“ портландцемента требуется соответственно 330 кг и 265 кг на $1 м^3$ раствора, между тем для получения растворов тех же марок на анийском цементе и туфовом песке требуется портландцемента соответственно 160 кг и 80 кг.

* * *

Опыт применения анийского цемента в бето-бетонной кладке показал положительные результаты.

Построенные 3 года тому назад одноэтажные здания из бето-бе-

тона на анийском цементе в г.г. Ленинакане и Кировакане выдержали испытание в суровых климатических условиях.

На основании произведенных исследований и имеющихся литературных данных можно констатировать, что наличие активного анийского цемента и добавка портландцемента допускают рациональное применение анийского цемента в надземных сооружениях.

Исследования по вопросу применения анийского цемента в надземных сооружениях в Институте Стройматериалов и Сооружений продолжаются; намечается проведение лабораторных испытаний воздухоустойчивости растворов и бетонов на анийском цементе и дальнейших наблюдений над осуществленными сооружениями.

На основании имеющихся а настоящее время данных, для применения анийского цемента на строительстве, изданы временные „Технические условия“ на анийский известково-пуццолановый цемент („Анийский цемент“) $\frac{\text{ТУ}-4-47}{\text{А И С}}$, утвержденные Советом Министров Армянской ССР.

Институт Строительных Материалов и Сооружений
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 29 XI 1948.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Юнг.—Введение в технологию цемента. 1938. Ленинград.
2. М. Я. Лившиц—Бесцементные известковые бетоны. Баку, 1948.
3. Б. Ф. Журавлев—Свойства известково-пуццолановых цементов, изготовленных на базе гидравлической извести. Промышленность строительных материалов, № 2—3, 1939.

Հ. Ա. Առաքելյան

ԱՆԻԻ ԿՐԱ-ՓՈՒՑՑՈՒԱՆԱՅԻՆ ՑԵՄԵՆՏԸ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՎԵՐԵԿՐՅԱ
ՄԱՍԵՐՈՒՄ ԿԻՐԱՌԵԼՈՒ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հաղիմամբ բերված են Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի Շինարարական Նյութերի և Կառուցվածքների Ինստիտուտի վերջին տարիների փորձնական ուսումնասիրությունների արդյունքներն Անիի կրա-փուցցոլանային զեմենտի վերաբերյալ:

Այդ արդյունքներն, ինչպես նաև գրականության մեջ եղած տվյալները ցույց են տալիս, որ երբ գործածվում է Անիի թարմ զեմենտ (պահ-

ված ամենաշատը 1,5—2 ամիս) և երբ Անիի ցեմենտին ավելացվում է ոչ մեծ քանակությամբ պորտլանդցեմենտ, ապա Անիի ցեմենտի օգակայունությունը և ամրությունը զգալի չափով բարձրանում է:

Մյուս կողմից Անիի կրա-փուլցցյալանային ցեմենտի ամրացման համար անհրաժեշտ է, որ նրանով պատրաստված շաղախը կամ բետոնը որոշ ժամանակ դանդի խոնավ միջավայրում: Կատարված փորձերի միջոցով պույց է արված, որ կրա-փուլցցյալանային ցեմենտի համար անհրաժեշտ խոնավ միջավայրը բավականին երկար ժամանակ պահպանվում է այն վերերկրյա կառուցվածքներում, որոնց չափերը 40 սմ կամ ավելի են:

Հիշատակված է Լենինականում և Կիրովականում կատարված փորձնական շինարարությունը, որ ավել է զբաղեցրել:

Անիի կրա-փուլցցյալանային ցեմենտը շինարարության մեջ կիրառելու համար եղած փորձերի հիման վրա կազմված և հրատարակված են համապատասխան ժամանակավոր «Տեխնիկական պայմաններ»՝ հաստատված Հայկական ՍՍՌ Մինիստրների Սովետի կողմից: